УДК 624. 94. 001. 12 (075. 8) 927

на арабском языке

М — 0325-315
041(01)-73

المقدمة

يحتوى هذا الكتاب على شرح طرق تصميم وحساب الانشاءات المعدنية (الفولاذية والألمنيومية). ان الفصلين الأول والثانى مخصصان لبحث أسس تصميم الانشاءات المعدنية ونظرية حسابها مع أخذ عمل المادة (material working) في الاعتبار ، ليس في مرحلة المرونة (elastic stage) فحسب ، بل وفي مرحلة المرونة واللدونة (elastoplastic stage) أيضا . والفصول الثالث والرابع والخامس مخصصة لدراسة خواص مجموعة متنوعة من القطع الانشائية المعدنية وطرق وصلها مع بعضها ، ودراسة العمل الفعلى للوصلات وحسابها ، بالاضافة الى ذكر بعض شروط الانتاج ، التى يجب توفرها فى تصاميم الانشاءات . والفصول السادس والسابع والثامن مخصصة لدراسة القطع الأساسية للانشاءات المعدنية : كالعتبات والعوارض والجمالونات والاعمدة ، كما تحتوى هذه الفصول على معلومات عن عوارض الونش (المرفاع) وعن الاعمدة اللامركزية الانضغاط .

وقد خصص الفصلان التاسع والعاشر لدراسة تصميم الانشاءات المعدنية المؤلفة من قطع انشائية منفردة . و يستند البحث بأكمله الى أمثلة من المبانى الصناعية ومن بعض الانشاءآت الخاصة ، الواسعة الأبواع (large-span structures) والمرتفعة . أما الفصل الأخير فيتعلق ببحث أسس تصميم الانشاءات المقامة من الالواح المعدنية ، والتى تسمى كذلك بالانشاءات القشرية الفولاذية .

ان كافة الابحاث التى يتضمنها هذا الكتاب، تتفق مع مواصفات تصميم الانشاءات الفولاذية والانشاءات المقامة من السبائك الالمنيومية ، وتتفق كذلك مع المواصفات القياسية العامة للبناء فى الاتحاد السوفيتى .

الفصل الأول

مبـــــادئ التصميـــــم

ان المهمة الأساسية للقطع الانشائية المعدنية هى تحمل الاحمال المؤثرة على الانشاء . ويحدد الشكل التركيبى للانشاء باتحاد قطعه الأساسية وهى العتبات والعوارض والجمالونات والأعمدة أو الأجزاء القشرية (shells) ، التى تكون بمجموعها انشاء واحدا متكاملا . ان اختيار أفضل شكل تركيبى للانشاء وقطعه ، يتم اثناء عملية التصميم ، التى تعتبر بداية عملية خلاقة ، تتمخض عن حلول متعددة . ويجب على المصمم أن يجد لكل انشاء على انفراد ، أفضل شكل تركيبى ناجح ومعقول ، يتلائم مع المستوى الحديث لتطور العلم والتكنيك .

البند الأول — مجال استخدام القطع الانشائية المعدنية وبيان أسمائها

تستخدم القطع الانشائية الفولاذية على أوسع نطاق فى الانواع التالية من الانشاءات ، التى يمكن تقسيمها الى صنفين :

١ — الانشاءات الاطارية أو الهيكلية (frameworks)، وتضم قطعها الأساسية هى العتبات والعوارض والجمالونات والأعمدة ، وتضم الانشاءآت التالية :

أ) هياكل المبانى والانشاءآت الصناعية (وعلى الأغلب ورشات مصانع الميتالورجيا ومصانع بناء المكنات) مع ملحقاتها الانشائية الداخلية ، مثل عوارض الونش والمنصات (platforms) وغير ذلك (شكل ١ — ١ ، أ ، ب ، ح) .

ب) الجسور (القناطر) الواسعة الأنواع المشيدة فوق السكك الحديدية وفوق الطرق العامة للسيارات والجسور المدائنية (urban bridges) .

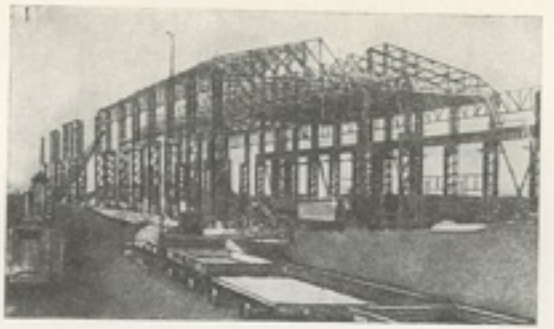
ح) المبانى (العمارات) المدنية المرتفعة (high-altitude buildings) ، (مثل المبنى المبين فى الشكل ١ — ٢) ، وأجنحة المعرض والسقوف والارضيات المختلفة والقبب وغيرها.

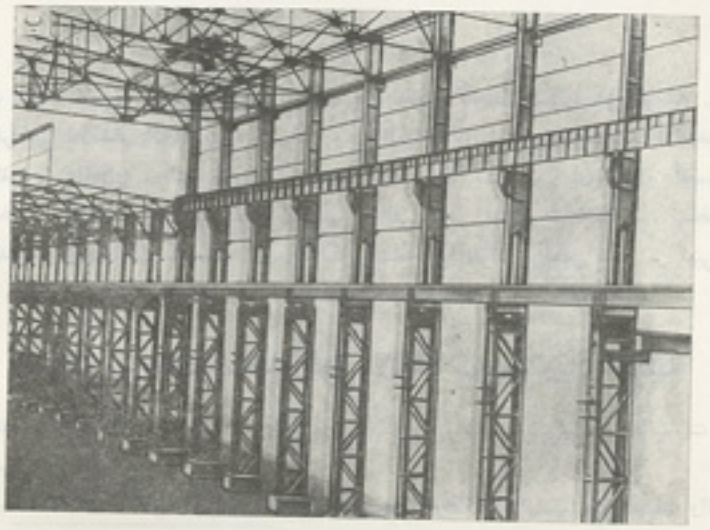
د) الانشاءآت المشيدة لاغراض معينة ، مثل الحظائر ومزالق بناء السفن وغيرها .

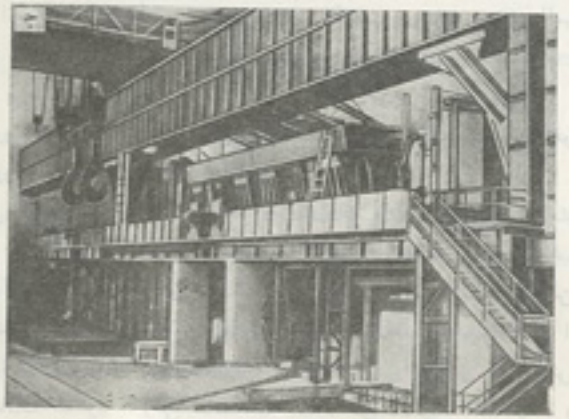
ه) انشاءآت خاصة ، مثل الأبراج والصوارى وأبراج مصاعد المناجم وأبراج البترول وانشاءآت الهندسة الايدرولية (hydraulic engineering structures) والحواسل والأوناش وغيرها .

٢ — الانشاءآت القشرية — وهى الانشاءآت المقامة من الألواح المعدنية ، وتضم الانشاءآت التالية :

أ) مستودعات الغاز لخزن وتوزيع الغازات .







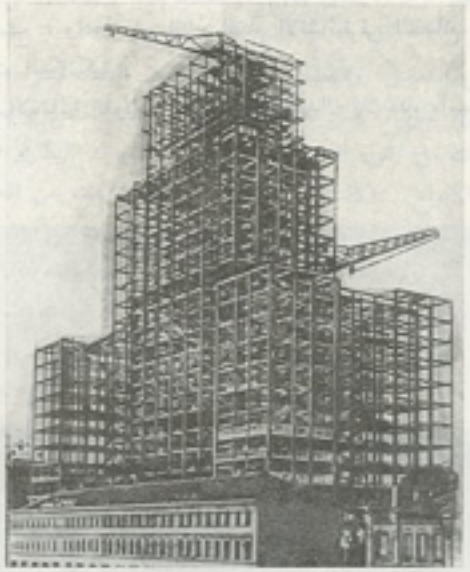
شكل (١ – ١) بناء ورشات مصانع الميتالورجيا :
أ – بناء ورشة المجمرة المكشوفة ، ب – بناء ورشة لحام المواسير بالكهرباء ، حـ – منصة وعارضة مرفاع في ورشة المجمرة المكشوفة

ب) خزانات لحفظ السوائل .

حـ) صوامع لخزن ومناولة المواد السائبة .

د) انشاءآت خاصة، مثل الافران العالية والمسخنات الهوائية وأجهزة غسل الغاز (gas scrubbers) وغيرها (شكل ١ – ٣) .

هـ) انابيب (piping) ذات أقطار كبيرة ، وتستخدم في مصانع الميتالورجيا ومصانع المنتجات الجانبية لفحم الكوك والمحطات الايدروكهربائية، وتستخدم كانابيب للبترول والغاز وغير ذلك .



شكل (١ – ٢) بناء عمارة مرتفعة في موسكو

ونظرا لقلة الوزن النوعي للقطع الانشائية المصنوعة من السبائك الالومنيومية ومقاومتها العالية للصدأ ، أصبحت تستخدم بالدرجة الأولى في الحواجز الانشائية ، بمثابة ألواح تسقيف أو أجزاء هيكلية للجدران أو أطر منزلقة للنوافذ (window sashes) وغير ذلك. وتستخدم كذلك في الصناعات البترولية والكيميائية .

وتستخدم القطع الانشائية الألومنيومية في الانشاءآت التي يكون فيها لوزن القطعة الانشائية بالذات ، أهمية جوهرية (كما في الاوناش الناقلة والجسور المتحركة والسقوف الجمالونية الواسعة الأبواع لأجنحة المعارض ، والانشاءآت المشيدة في المناطق التي يصعب الوصول اليها والمناطق المعرضة للزلازل ، وغير ذلك) .

البند الثاني – محاسن وعيوب القطع الانشائية المعدنية

ان المحاسن الاساسية للقطع الانشائية الفولاذية ، هي :

١ – قابليتها لتحمل أحمال كبيرة ، مع خفة وزن القطع الانشائية وصغر حجمها نسبيا ، وهذه القابلية ناتجة عن مقاومة الفولاذ العالية . وبغض النظر عن الوزن النوعي الكبير للفولاذ (٧,٨٥

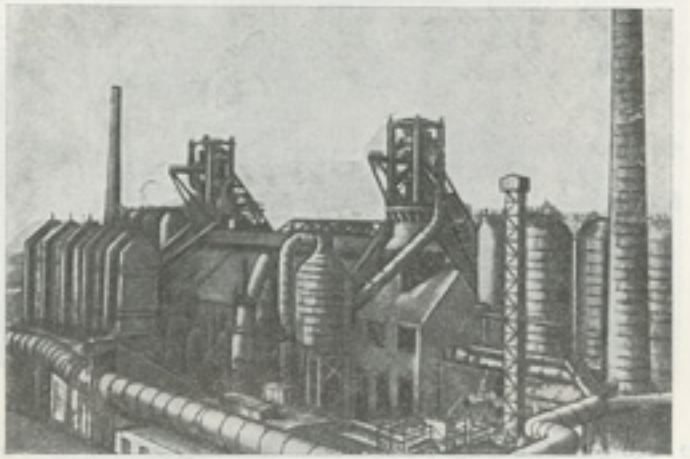
طن/م٣) ، نرى أن وزن القطع الانشائية المصنوعة من الفولاذ ، صغير بالمقارنة مع وزن القطع الانشائية المصنوعة من مواد البناء الأخرى . ونظرا لمقاومة المادة العالية ، تكون القطع الفولاذية المنتجة ، صغيرة الحجم ، مما يجعلها سهلة النقل .

٢ — عدم نفاذيتها (سدوديتها) للغاز والماء (gas-and water tightness)، الناتجة عن كثافة الفولاذ العالية .

٣ — الخدمة الطويلة الأجل التى تحددها الخواص العالية والمتجانسة لمقاومة الفولاذ وكثافته .

٤ — قابليتها للتصنيع ، وتتجلى فى انتاج القطع الانشائية فى المصانع ، وتركيبها فى موقع البناء باستخدام المعدات الميكانيكية .

٥ — قابلية القطع الانشائية الفولاذية للتفكيك والاستبدال بلا عناء ، مما يسهل امكانية تقوية أو تغيير اجزاء الانشاء .



شكل (١ — ٣) ورشة القرن العالى

ان العيب الاساسى للقطع الانشائية الفولاذية ، هو قابليتها للصدأ ، الامر الذى يجعل من الضرورى طليها بدهان أو استخدام طرق اخرى لوقايتها من الصدأ .

ومن محاسن السبائك الألومنيومية : وزنها النوعى الصغير (٢,٧ طن/م٣) مع مقاومتها العالية نسبيا ، وكذلك مقاومتها العالية للصدأ .

ومن عيوب القطع الانشائية الالومنيومية : القيمة الصغيرة نسبيا لمعامل مرونة السبائك (٧١٠٠٠٠ كجم/سم٢) ، وهى القيمة التى تحدد قابلية التشوه العالية لهذه القطع الانشائية ، بالاضافة الى انخفاض مقاومتها للنار (عندما تزيد درجة الحرارة على ١٠٠° مئوية ، تبدأ الخواص الميكانيكية للسبيكة بالانخفاض ، أما عندما تزيد درجة الحرارة على ٢٠٠° مئوية ، فيبدأ الزحف) .

الباب الثالث — نبذة تاريخية مختصرة

لقد استخدم المعدن فى البناء منذ قديم الزمان . ويظهر بأن القطع الانشائية المعدنية الأولى ، التى استخدمت فى روسيا ، هى الروافد الحديدية القاصرة (iron jack-rafters) ، الداخلة فى بناء قصر الكرملين (فى القرن السابع عشر) . وفى عام ١٧٢٥ ظهرت لأول مرة ، قطع تحميل انشائية مصنوعة من حديد الزهر ، فى سقف بلغ طول باعه ١٢ م ، وذلك فى برج معبد نيفيانسك . وبعد ذلك أصبح حديد الزهر ، الذى يقاوم الانضغاط جيدا ، يستخدم فى القطع الانشائية المقبوة ، والاعمدة .

وكانت مبانى المعامل والمصانع فى بداية القرن التاسع عشر ، بدائية نوعا ما ؛ حيث تألفت من جدران من الطوب ، ومن قطع تسقيف موحدة من الخشب والحديد .

وفى الثلاثينيات من القرن الماضى ، وبعد ظهور المحرك البخارى ، بدأت عملية بناء مصانع ذات ورشات واسعة الأبواع . وكانت الجمالونات اللازمة لها تصنع من الحديد المشكل بالحدادة ، أما الوصلات فكانت مبرشمة (عام ١٨٣٥) . وفى الستينيات من نفس القرن وبظهور صناعة تحويل حديد الزهر الى فولاذ (صلب)، وصناعة فولاذ الجمرة المكشوفة، اصبحت الورشات متعددة الأبواع (multiple-span shops) ، مع احتوائها على جمالونات مستندة على قطع انشائية فولاذية .

وفى منتصف القرن التاسع عشر ، كانت الجسور تعتبر من المشاريع الانشائية الضخمة والمعقدة للغاية ، حيث كانت عملية انشاء الجسور ، تتطلب وضع نظرية تصميم الانشاءآت ، وهى النظرية التى ساهم العلماء والمهندسون السوفييت فى تطويرها ، مساهمة جوهرية . وفى عام ١٨٥٦ وضع المهندس الروسى جورافسكى (١٨٢٢ — ١٨٩١) نظرية تصميم الجمالونات الرأسية ذات القطع المستعرضة وكان أول من أشار الى وجود اجهادات القص عند الانحناء . أما الاستاذ ياسينسكى(١٨٥٦—١٩٢٦) فقد وضع طريقة لتصميم قطع الانضغاط(compression members) فى الانشاءآت الفولاذية ، ولاتزال هذه الطريقة تستخدم بصورة جزئية فى الوقت الحاضر .

ويقترن تطور انشاء الجسور بابحاث عدد من العلماء والمهندسين الروس البارزين مثل بيليلوبسكى (١٨٤٥ — ١٩٢٢) وبروسكوريا كوف (١٨٥٧ — ١٩٢٦) وباتون (١٨٧٠ — ١٩٥٣) وبروكوفييف (١٨٧٧ — ١٩٥٨) . وستريليتسكى ، وغيرهم . ولقد أنشأ هولاء العلماء والمهندسون ، جسورا رائعة ، ذات تصاميم مبتكرة ، وطوروا نظرية تصميم الجسور وكونوا مدرسة روسية النزعة فى انشاء الجسور .

وفى نهاية القرن التاسع عشر ، طرأ على المبانى الصناعية تطور مطرد نتيجة لظهور الأونش الرحالة ، التى تتطلب انشاء طرق خاصة وهى عوارض الونش . كما شهدت تلك الفترة ، بداية انشاء هياكل معدنية خالصة للورشات ، مع سكك جاسئة للونش .

وفى نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين ، قام المهندس شوخوف (١٨٥٣ — ١٩٣٩) بتصميم العشرات من الانشاءآت الفولاذية المبتكرة والمتنوعة ، وأشرف على انشائها بنفسه . ومن اعماله المهمة جدا ، تصميم واقامة الانشاءآت (المجسمة) الفراغية ، على هيئة سطوح زائدة، مكونة من قطع مستقيمة الأضلاع.

ويبين شكل (١—٤) برجا للماء من تصميم شوخوف .

شكل (١ – ٤) برج الماء

وفى عام ١٩٣٠ ، ابتكرت طريقة جديدة لوصل القطع الانشائية الفولاذية ، واستخدمت على نطاق واسع ، وهى طريقة اللحام الكهربائى ، التى اهتدى اليها المهندسان بيناردوس و سلافيانوف فى الثمانينيات من القرن الماضى .

وقد ظهرت فى تلك السنوات ، مجموعات كبيرة من الاخصائيين العاملين فى هيئات التصميم وهيئات الأبحاث العلمية ، أدت جهودهم المشتركة الى تكوين مدرسة سوفيتية فى تصميم الانشاءآت الفولاذية .

وقد لازم التطور المطرد للانشاءآت الفولاذية بداية استخدام الفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة ، وزيادة استخدام أشكال جديدة ومنطقية من المقاطع المدلفنة والمقاطع المحنية ، وتبسيط الشكل التركيبى (التصميم) ، وتوحيد ونمذجة القطع الانشائية، ومكننة وأتمتة صناعتها .

البند الرابع – الشروط التى يجب توفرها فى القطع الانشائية المعدنية

يجب أن تكون القطع الانشائية المعدنية ، المخصصة لتحمل الأحمال الخارجية مستوفية لعدد من الشروط ، التى لا يمكن بدونها استخدام هذه القطع بصورة عادية ، ومن هذه الشروط بالذات :

أ) يجب أن تكون القطعة الانشائية ، ملائمة لغرض استخدامها ؛

ب) يجب أن تكون للقطعة الانشائية ، السعة الحملية اللازمة (load-carrying capacity) ، أى يجب أن تكون قوية وثابتة ؛

ح) يجب أن تكون للقطعة الانشائية، الجسوءة اللازمة. ان المبادئ الأساسية للمدرسة التصميمية السوفييتية ، التى تعمل على تصميم واقامة الانشاءآت المعقولة والملائمة لروح التطور، تتلخص فيما يلى :

أ) تصميم قطع انشائية بأقل وزن ممكن ؛

ب) انتاج قطع انشائية بصرف أقل ما يمكن من الجهد اللازم ؛

ح) تركيب (اقامة) الانشاء فى أقصر وقت ممكن .

ولذلك يجب أن تكون تصاميم القطع الانشائية المعدنية ، مستوفية للشروط التالية :

١ – شروط (تصميمية) عامة

يجب أن يكون شكل القطعة الانشائية وأجزائها ، متكيفا مع ظروف استخدامها ، كما يجب أن تكون القطعة ملائمة للوقاية من الصدأ وتراكم الغبار والأوساخ وغيرها .

ويجب أن يكون للقطعة الانشائية ، أفضل الابعاد المجدية ، التى يمكننا عندها الاستفادة من المادة استفادة تامة . ومن الضرورى فى هذه الحالة ، أن نسعى الى استخدام القطع الانشائية القياسية الموحدة ، على نطاق واسع .

وأخيرا يجب أن يكون الانشاء متناسقا وجميلا .

٢ – شروط الانتاج الصناعى

يجب السعى الى استخدام اكبر عدد ممكن من القطع الانشائية المتشابهة ، فى الانشاء بأجمعه . ان الطلب التجارى الخاص بالانتاج المسلسل للقطع الانشائية ، والذى على أقل عدد ممكن من ماركاتها المختلفة ، يقلل عدة مرات ، من التكاليف والجهود اللازمة لانتاج هذه القطع أو أجزائها .

وعند التصميم ، يجب أن تؤخذ فى الاعتبار ، الامكانيات الانتاجية للمصانع التى تعمل على انتاج القطع الانشائية (وجود أدلة تشغيل (jigs) وترتيبات أخرى، وخواص مكنات القطع أو التشكيل، حمولة الأوناش ، وطبيعة معدات اللحام ، وغير ذلك) .

و يجب أن تكون القطع الانشائية بسيطة الشكل ، وتتألف من أقل عدد ممكن من الاجزاء ومن الدرزات الملحومة والبرشام. ويجب أن تكون القطع الانشائية سهلة التجميع.

٣ – شروط التركيب

يجب أن تدخل أبعاد القطع الانشائية أو أجزائها ، المشحونة من المصنع (القطع المشحونة) ، فى نطاق مقاييس السكة الحديدية أو مقاييس وسائل النقل الاخرى ، التى تقوم بشحنها .

ويجب السعى الى تخفيض عدد القطع التركيبية فى الانشاء الى أقل ما يمكن ، مع رفع درجة تبادليتها (interchangeability) الى اكبر ما يمكن . كما يجب أن تكون توصيلات القطع الانشائية ، بسيطة ومريحة بالنسبة لعملية التركيب .

ويجب التفكير فى امكانية استخدام قطع كبيرة سابقة الصنع فى الانشاء . ويمكن تسمية القطع الانشائية المستوفية لجميع الشروط المذكورة أعلاه ، بالقطع العالية الجودة والمعقولة . وان أشكال القطع الانشائية ليست ثابتة على الدوام ، لأنها تتغير وتتطور تبعا للتطور العام للعلم والتكنيك.

تنظيم عملية التصميم

تتم عملية تصميم الانشاءآت ، تبعا لدرجة تعقيدها ، على مرحلتين أو ثلاث مراحل ، وهى : وضع الخطة الأولية للتصميم ، ووضع الخطة الفنية ووضع خطة العمل .

ان الغرض من وضع الخطة الأولية للتصميم ، هو معرفة واظهار الامكانية الفنية والملائمة الاقتصادية ، بالنسبة للانشاءآت المعقدة ، المقترح تشييدها .

وتعتبر الخطة الفنية ، الوثيقة التى تقرر فيها المسائل الفنية الأساسية وتكاليف الانشاء . وتحتوى هذه الخطة على الرسومات المعمارية والانشائية العامة (المساقط الأفقية والمقاطع العرضية)، مع الاشارة الى مادة القطع الانشائية وأوزانها التقريبية ، والى قائمة مواد البناء وحجم العمل والكشوف التقديرية . ويتم وضع خطة العمل على أساس الخطة الفنية المعتمدة .

وتتألف خطة العمل الخاصة بالانشاءآت المعدنية ، من مرحلتين ، حيث يتم فى المرحلة الاولى تقرير الرسم التخطيطى النهائى للانشاءآت ، مع اجراء الحساب التام للقطع الانشائية واختيار مقاطع جميع الاجزاء . ثم تجهز الرسوم العامة وتصاميم التجميعات

المعقدة، بالاضافة الى تحقيق الترابط الكلى بين القطع الانشائية و بقية النواحى الأخرى للمشروع ، مثل النواحى التكنولوجية ، والنقل أو المواصلات ، ومنابع القدرة الكهربائية ، والهندسة الصحية ، والنواحى المعمارية والانشائية وغير ذلك . وتوضع كذلك مواصفات المعدن المطلوب . أما الرسوم التشغيلية التنفيذية فى المرحلة الثانية ، وهى الرسوم التى تبين جميع تفاصيل القطع الانشائية ، فانها توضع عادة من قبل مكتب التصميم ، التابع للمصنع الذى ينتج القطع المذكورة ، على أساس المرحلة الأولى لخطة العمل . وهذه الرسوم ، هى عبارة عن رسوم الاجزاء المستقلة (المنفردة) للقطع الانشائية ، التى سيتم شحنها من المصنع وهى جاهزة تماما (القطع المشحونة والقطع القياسية) ، بالاضافة الى الرسوم التركيبية ، التى تحتوى على الترقيم المناظر .

البند الخامس – طرق حساب (تصميم) القطع الانشائية المعدنية

ان عملية تصميم الانشاءآت المعدنية ، تبدأ بوضع ومقارنة أشكال مترادفة من التصاميم الانشائية ، التى تلائم الغرض الاساسى لاستخدامها . وبعد هذا يتم اختيار ذلك التصميم ، الذى يكون مستوفيا – الى اقصى حد – لجميع الشروط التى يجب توفرها فى الانشاءات المعدنية وقطعها الانشائية .

ان الغاية من حساب القطع الانشائية، هى مراجعة كل من مقاومة وثبات وجسوءة التصميم الانشائى، الذى تم اختياره قبلا. وهذه المراجعة تساعد على ضبط ابعاد الانشاء، وضمان عوله وأقتصاديته.

ويجرى حساب (تصميم) الانشاءآت وقطعها ، على أساس نظرية مقاومة المواد ، والميكانيكا الانشائية . وان الهدف الأساسى لهذه النظرية ، هو تحديد الاجهادات الداخلية ، التى تظهر فى القطع الانشائية تحت تأثير الاحمال المسلطة .

واستنادا الى ذلك ، يوضع فى بداية الأمر المخطط التصميمى العام للانشاء (general layout)، ويتألف من قطع منفردة (العتبات والقضبان) ، بغض النظر وقتيا عن الاشكال الحقيقة لمقاطعها العرضية . وتفضى على التوصيلات السائدة للقطع ، فى هذه الحالة ، بعض الخواص النظرية المعينة (تعتبر مثلا ، مساند مفصلية أو مساند مرنة القيد ، أو مساند محكمة القيد ، والى آخره) . وبعد تحديد الاجهادات فى القطع الانشائية ، تبعا للمخطط التصميمى المتخذ ، يجرى اختبار المقاطع ، وتتم مراجعة السعة الحملية ، ثم تصمم المثبتات ، بحيث تفى بالشروط الموضوعة .

وأحيانا يكون من الضرورى استخدام طرق اكثر دقة ، لتحديد الاجهادات ، مع أخذ تطور التشوهات اللدنة فى الاعتبار . ولكن تعقد هذه الطرق من الناحية الرياضية ، غالبا ما يضطرنا الى أن نستخدم فى الصيغ عددا من المعاملات ، التى تكون قيمها مدرجة فى الجداول .

وفى السابق ، كان تصميم الانشاءآت الفولاذية يتم بطريقة الاجهادات المسموح بها أما فى الوقت الحاضر ، فتتبع طريقة اكثر كمالا ، وهى طريقة الحالات الحدية (limit design) ، التى وضعها العلماء السوفيت ، وعلى رأسهم الاستاذ ستريليتسكى . وعلى اساس هذه الطريقة ، وضعت المواصفات القياسية للبناء فى الاتحاد السوفيتى، التى خصص القسم الثانى منها لتصميم القطع الانشائية والأسس .

أما بالنسبة لعدد من الانشاءآت الخاصة (مثل الجسور وانشاءآت الهندسة الايدرولية ومصانع الافران العالية وغيرها) ، فقد وضعت مواصفات قياسية وتعليمات خاصة بعملية التصميم ، تعكس

الظروف المعينة لاستخدام (تشغيل) هذه الانشاءآت . وتوجد فى الوقت الحاضر ، انواع معينة من الانشاءآت الفولاذية ، لا تزال تحسب أو تصمم بالطريقة القديمة ، اى بطريقة الاجهادات المسموح بها .

١ – التصميم بطريقة الحالات الحدية

عند التصميم بهذه الطريقة ، تعتبر كل قطعة انشائية ، موجودة فى حالتها الحدية . والحالة الحدية للقطعة الانشائية ، هى تلك الحالة ، التى تصبح القطعة فيها ، غير مستوفية لشروط الاستخدام (التشغيل) ، التى يجب أن تتوفر فيها ، أى أنها أما تفقد قابلية مقاومة المؤثرات الخارجية ، أو تصاب بتشوه غير مسموح به ، أو بعطب موضعى .

وقد وضعت بالنسبة للقطع الانشائية المعدنية ، حالتان حديتان ، هما :

١) الحالة الحدية الاولى ، المحددة بالسعة الحملية (بالمقاومة والثبات والطاقة أو والاحتمال) . ويجب أن تكون كافة القطع الانشائية المعدنية ، مستوفية لشروط هذه الحالة الحدية .

٢) الحالة الحدية الثانية ، المحددة بتطور التشوهات المفرطة – excessive deformations (الانحناءآت – deflections ، والازاحات). وتستخدم هذه الحالة للتأكد من مقاومة القطع الانشائية ، التى يمكن لمقدار التشوهات الموجودة فيها ، أن يحدد من امكانية استخدامها (تشغيلها) .

ويعبر عن الحالة الحدية الأولى ، بالمتباينة التالية :

$$F \leqslant Q' \qquad (1-1)$$

حيث F – القوة التصميمية فى القطعة الانشائية ، الناتجة عن مجموع تأثيرات أحمال التصميم P ، فى أكثر مجموعة مؤثلة غير مفضلة (unfavourable combination) .

Q' – السعة الحملية للقطعة الانشائية ، وهى عبارة عن دالة الأبعاد الهندسية للقطعة الانشائية ، ودالة المقاومة التصميمية R للمادة .

ان القيم الكبرى للاحمال ، المسموح بها عند استخدام أو تشغيل القطع الانشائية بصورة عادية ، والمقررة بموجب المواصفات القياسية للبناء فى الاتحاد السوفييتى، تسمى بأحمال التشغيل P_s – راجع الملحق الأول ، الجدول ١ فى آخر الكتاب – . وتؤخذ أحمال التصميم ، التى تستخدم فى عملية تصميم القطعة الانشائية (بموجب الحالة الحدية الأولى) ، أكبر بقليل من أحمال التشغيل . وتستخرج قيمة حمل التصميم ، بضرب حمل التشغيل فى عامل التحميل n (وقيمته أكبر من واحد) ، الذى يأخذ فى الاعتبار خطر زيادة الأحمال على قيمها التشغيلية المعينة ، تبعا للتغير المحتمل فى مقادير الأحمال :

$$P = P_s n \qquad (1-2)$$

ان قيم العامل n مدرجة فى الجدول ١ من الملحق الأول .

وهكذا نرى بأن النظر الى عمل القطع الانشائية ، لا يكون تبعا لتأثير أحمال التشغيل ، بل تبعا لتأثير أحمال التصميم . وبالاعتماد على تأثير أحمال التصميم ، يجرى تحديد القوى التصميمية فى القطع الانشائية (القوة المحورية – F ، وعزم الانحناء – M، والى آخره) ، التى تستخرج بموجب القواعد العامة لمقاومة المواد والميكانيكا الانشائية .

ان الطرف الأيمن من المعادلة الأساسية (1—1) — أى السعة الحملية Q' للقطعة الانشائية — يعتمد على مقاومة المادة القصوى R_s لتأثيرات القوى المختلفة ، وهى المقاومة المميزة بالخواص الميكانيكية للمادة ، والمسماة بالمقاومة التشغيلية R_s ، ويعتمد بالاضافة الى ذلك على الخصائص الهندسية للمقطع العرضى (مساحة المقطع A ، ومعامل المقطع W — ، والى اخره) .

وبالنسبة للفولاذ الانشاءآت ، فان كلا من مقاومة الشد التشغيلية ومقاومة الانضغاط التشغيلية ومقاومة الانحناء التشغيلية ، تؤخذ مساوية للقيمة الصغرى لنقطة الخضوع ، المضمونة بموجب المواصفات القياسية السوفيتية (GOST) المناظرة :

$$R_s = \sigma_y$$

(وبالنسبة لاكثر أنواع فولاذ الانشاءآت انتشارا ، وهو الفولاذ ماركة BCт.3 ، تؤخذ $R_s = 2300$ كجم/سم^2) .

وفى بعض الحالات الخاصة ، عندما يكون استخدام أو تشغيل القطع الانشائية المعرضة للشد ، ممكنا حتى بعد وصول المادة الى نقطة الخضوع (مثلا ، فى الخزانات الاسطوانية وغيرها) ، وكذلك بالنسبة للمواد التى ليس لها خاصية الخضوع (مثل الاسلاك العالية المقاومة ، والمصبوبات حديد الزهر وغيرها) ، تؤخذ مقاومة الشد التشغيلية للفولاذ ، مساوية لأصغر قيمة مضمونة ، من قيم مقاومة الشد القصوى :

$$R_s = \sigma_u$$

(بالنسبة للفولاذ ماركة BCт.3 ، تؤخذ $R_s = 3800$ كجم/سم^2) .

ان كلا من مقاومة الشد التشغيلية ومقاومة الانضغاط التشغيلية ومقاومة الانحناء التشغيلية ، تؤخذ بالنسبة للسبائك الالومنيومية ، مساوية لاصغر قيمة من القيمتين التاليتين :

أ) سبعة أعشار (٠,٧) القيمة الصغرى المضمونة لمقاومة الشد القصوى ؛ أى $0.7\sigma_u$.

ب) نقطة الخضوع الاصطلاحية $\sigma_{0,2}$ المناظرة للاجهاد ، الذى يولد استطالة دائمة نسبية قدرها ٠,٢ ٪ .

وتستخرج قيمة المقاومة التصميمية R بضرب المقاومة التشغيلية فى عامل التجانس k_{hom} — (أقل من واحد) ، الذى يأخذ فى الاعتبار خطر انخفاض مقاومة المادة عن قيمتها التشغيلية ، تبعا لتغير الخواص الميكانيكية للمادة :

$$R = k_{hom} R_s^* \qquad (1—3)$$

وبالنسبة للفولاذ الكربونى العادى (عندما $\sigma_y = R_s$)، يؤخذ $k_{hom} = 0,9$. أما بالنسبة للفولاذ العالى الجودة (الفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة) وللسبائك الالومنيومية ، فيؤخذ $k_{hom} = 0,85$.

وهكذا نرى بأن المقاومة التصميمية R ، هى عبارة عن اجهاد يساوى أصغر قيمة ممكنة من قيم نقطة خضوع المادة (أو مقاومة الشد القصوى)، والتى تعتبر أيضا بمثابة مقاومة نهائية أو قصوى بالنسبة للقطعة الانشائية .

---

* ان قيم المقاومة التشغيلية وعوامل التجانس، مدرجة فى جداول خاصة ضمن « المواصفات القياسية للبناء فى الاتحاد السوفيتى » .

ولضمان سلامة الانشاء ، يجب أن تؤخذ فى الاعتبار الانحرافات المحتملة ، عن ظروف التشغيل العادية ، وكذلك مختلف الظروف الاخرى ، الناجمة عن مزايا أو خصائص اشتغال القطعة الانشائية (مثل الظروف البالغة الصعوبة لاشتغال أو استخدام عوارض الونش ، التى تحمل بعض الانواع المعينة من الأوناش الرحالة ؛ ووجود القطعة الانشائية فى وسط مؤكسد أو آكال — corroding medium، يساعد على تآكل أو صدأ المعدن ؛ و تعرض القطع الانشائية بصورة مستمرة لتأثير الاحمال الحدية القليلة التغير ، حيث يوجد احتمال كبير فى تطابق الاجهادات الناتجة عن هذه الاحمال مع القيمة الصغرى لمقاومة المادة ، وغير ذلك) .

ولأخذ جميع هذه الظروف فى الاعتبار ، يستخدم فى الحساب عامل الخدمة k_s ، الخاص بالقطع الانشائية وأجزائها ، وهو العامل الذى يقلل فى الحالات الضرورية ، من قيمة المقاومة التصميمية ، وبهذا تحصل على الصيغة التالية :

$$R = k_{hom} k_s R_s \qquad (1—4)$$

وعلى سبيل المثال ، عند حساب وتصميم عوارض الونش ، التى تحمل الاوناش الرحالة ، المتميزة بظروف العمل الصعبة والمستخدمة فى الورشات الرئيسية لمصانع الحديد والفولاذ ، يستخدم فى الصيغة عامل الخدمة $k_s = 0,9$ ، أما عند حساب وتصميم بعض الانشاءآت المعينة ، مثل الخزانات ، المعرضة لتأثير الاحمال القليلة التغير — أى الاحمال الثابتة تقريبا — ، الناتجة عن المواد التى تملأها (مع عامل تحميل قليل) ، يستخدم عامل خدمة k_s تتراوح قيمته بين ٠,٧٢ — ٠,٨٠ .

ان قيم عامل الخدمة ، الخاص بالقطع الانشائية وأجزائها k_s ، مدرجة فى الجدول الثانى من الملحق الأول ، الموجود فى آخر الكتاب ، وذلك ضمن مواصفات تصميم القطع الانشائية الفولاذية ، للمبانى والانشاءآت المختلفة . (راجع الملحق ١ ، جدول ٢) .

وفى كافة الحالات ، عندما تعين أو تحدد المقاومة التصميمية ، طبقا لمقاومة الشد القصوى (وليس طبقا لنقطة الخضوع) ، يدخل فى قيمة المقاومة التصميمية ، بصورة اضافية ، عامل خدمة المادة فى القطعة الانشائية (أقل من واحد) ، وهو العامل الذى يأخذ فى الاعتبار التوزيع غير المنتظم للاجهادات ، عند اشتغال المادة بعد تجاوز نقطة الخضوع .

وأخيرا تصحح قيم المقاومة التصميمية للوصلات (التوصيلات) الميرشمة والمربوطة بالمسامير ، بادخال عامل الخدمة ، الذى يأخذ فى الاعتبار نوع وطبيعة اشتغال الوصلة ، بالاضافة الى نوعية الثقوب .

ان قيم عامل خدمة المادة فى القطعة الانشائية وفى الوصلات ، مدرجة فى « المواصفات القياسية للبناء فى الاتحاد السوفيتى » .

وهكذا نرى بأن الصيغة التصميمية الاساسية (1—1) ، تتحول عند مراجعة المقاومة الى الشكل التالى :

$$F \leqslant AR$$

أو (1—5)

$$M \leqslant WR$$

حيث M, F تمثلان القوى المحورية التصميمية وعزوم الانحناء للاحمال التصميمية (بأخذ عوامل التحميل n بالاعتبار) .

وعند القيام بحساب وتصميم قطعة انشائية معينة ، يتم أولا اختيار مقطع ، ثم تجرى مراجعة الاجهاد الناتج عن القوى التصميمية ، وهو الاجهاد الذى يجب ألا يزيد على قيمة المقاومة التصميمية (على أن تستخدم عند الضرورة ، عوامل خدمة القطع الانشائية وأجزائها ، وعوامل تصحيح أخرى ، تضمن اشتغال الانشاء بصورة جيدة ومأمونة) .

وفى هذه الحالة ، تصبح الصيغ التصميمية (الحسابية) الأساسية لمراجعة المقاومة ، على الشكل التالى :

$$\sigma = \frac{F}{A_n} \leqslant R$$

او

$$\sigma = \frac{M}{W_n} \leqslant R \qquad (1-6)$$

حيث σ — الاجهادات التصميمية فى القطعة (الناتجة عن تأثير أحمال التصميم) ،

A_n — مساحة المقطع الصافية (مع طرح الثقوب) ،

W_n — معامل المقطع الصافى ؛

R — المقاومة التصميمية للمادة ، وتؤخذ طبقا للمواصفات القياسية للبناء .

وتوجد عدة أنواع من الاجهادات وهى : الاجهادات الرئيسية والاجهادات الموضعية والاجهادات الاضافية والاجهادات الداخلية .

الاجهادات الرئيسية : هى الاجهادات التى تتطور فى داخل القطع الانشائية ، نتيجة لتوازن تأثيرات الأحمال الخارجية . وهذه الاجهادات تؤخذ فى الاعتبار عند الحساب أو التصميم .

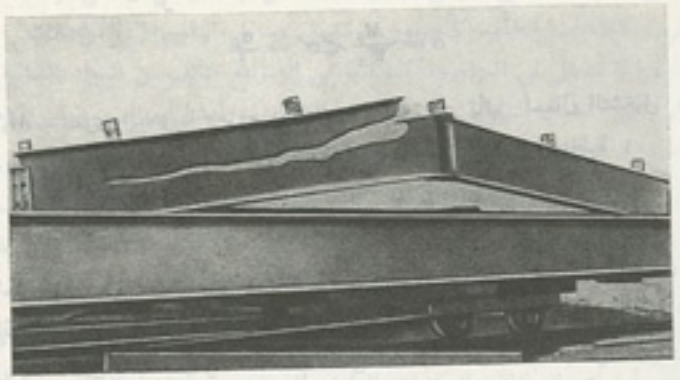
وعندما يكون توزيع مجال القوة على المقطع العرضى ، غير منتظم ، نتيجة للتغير الحاد فى المقطع أو لوجود الثقوب ، يحدث عندئذ تركيز موضعى للاجهادات . وبالنسبة للمواد اللدنة ، ومن ضمنها فولاذ الانشاءآت ، نجد أن هذه الاجهادات الموضعية المفرطة تتوازن كلما زادت الاحمال ، ولذلك فانها لاتؤخذ فى الاعتبار عند الحساب أو التصميم .

الاجهادات الاضافية : هى الاجهادات التى تظهر فى القطع الانشائية عند تسليط الاحمال الخارجية ، نتيجة لوجود مثبتات اضافية ، غير ضرورية لحفظ التوازن العام للانشاء بأجمعه (مثل تثبيت القطع فى مفاصل أو وصلات الجمالونات) . وهذه الاجهادات لا تؤثر على توازن الانشاء كمجموعة واحدة ، أما فى القطع الانشائية المصنوعة من المواد اللدنة ، فانها فى معظم الأحيان لاتؤخذ فى الاعتبار عند الحساب أو التصميم .

والاجهادات الداخلية لا تظهر نتيجة لتسليط الاحمال الخارجية ، بل نتيجة للتأثيرات الحرارية على المعدن فى حالات التشوه الحرجة أو المقيدة . وغالبا ماتطلق على هذه الاجهادات أسما أخرى ، تبعا لاسباب تشؤها او حدوثها ، ومن هذه الأسماء : الاجهادات الحرارية ؛ اجهادات الانكماش ؛ اجهادات اللحام ؛ الاجهادات المتخلفة (residual stresses) ؛ الاجهادات المتأصلة (inherent stresses) ؛ الاجهادات الابتدائية (initial stresses) ؛ وغير ذلك .

ومن أمثلة الاجهادات الداخلية ، هى الاجهادات الابتدائية الداخلية فى العتبات المدلفنة التى مقاطعها على شكل — I ، وهى الاجهادات التى تظهر نتيجة للتبريد غير المنتظم بعد الدلفنة . ان الاجهادات الداخلية لا تؤدى الى تقليل احتياطى أمان القطعة الانشائية ، نظرا لأن هذه الاجهادات متوازنة بالتبادل ، فى داخل القطعة الانشائية . ولكن يجب أخذ هذه الاجهادات فى الاعتبار ،

عندما يختل التوازن الداخلى نتيجة التعرض لأحد المؤثرات الخارجية . وعلى سبيل المثال ، نرى فى الشكل (١ — ٥) كيفية انهيار عتبة مقطعها على شكل I ، وذلك نتيجة للوضع غير الصحيح للدرزة الملحومة عند منحنى اتصال العتبة المذكورة ، الأمر الذى أدى الى الاخلال بتوازن الاجهادات الداخلية .



شكل (١ — ٥) انهيار عتبة مقطعها على شكل I ، نتيجة لوضع اللحام (الدرزة الملحومة) بصورة غير صحيحة .

وتتطلب الحالة الحدية الثانية للقطعة الانشائية ، المميزة بظهور تشوهات زائدة أو مفرطة (انحناءآت) ، أن تكون القطعة الانشائية صلبة الى حد كاف ، لكى لا تزيد قيمة وحدة الانفعال — $\left(\frac{\delta}{L} = \frac{\text{الانحناء}}{\text{الباع}} \text{ أو } \frac{\delta}{h} = \frac{\text{الانحناء}}{\text{الارتفاع}}\right)$ فى ظروف التشغيل العادية، على قيمة وحدة الانفعال المسموح بها $\frac{1}{r_0}$ ، والمقررة بموجب المواصفات بالنسبة لمختلف أنواع القطع الانشائية (راجع الجدولين ٣ و ٤ من الملحق الأول) .

وهكذا يجب ان تكون العلاقة كما يلى :

$$\frac{\delta}{L} \leqslant \frac{1}{r_0} \qquad (1-7)$$

وعند تحديد التشوهات (الانحناءآت) ، لا يستخدم حمل التصميم ، بل يستخدم حمل التشغيل ، أى دون أخذ عامل الأمان فى الاعتبار .

٢ — التصميم بطريقة الاجهادات المسموح بها

عند التصميم بطريقة الاجهادات المسموح بها ، تعتبر القطعة الانشائية موجودة فى حالة الشغل تحت تأثير الاحمال المسموح بها عند التشغيل العادى للانشاء ؛ أى أحمال التشغيل .

ولتأمين المقاومة الكافية للقطعة الانشائية ، يجب ألا تزيد قيمة الاجهادات الموجودة فى القطعة ، والناتجة عن تأثير أحمال التشغيل ، على قيمة الاجهادات المسموح بها ، المقررة بموجب المواصفات القياسية ، والمساوية لجزء معين من الاجهادات القصوى للمادة التى تؤخذ بالنسبة لفولاذ

الانشاءآت ، بحيث تكون مساوية لنقطة الخضوع σ_y . ويكون شكل الصيغ الرئيسية لمراجعة مقاومة القطعة الانشائية ، كما يلى :

$$\sigma = \frac{F_s}{A_n} \leqslant \sigma' = \frac{\sigma_y}{f}$$

أو

$$\sigma = \frac{M_s}{W_n} \leqslant \sigma' = \frac{\sigma_y}{f} \qquad (1-8)$$

حيث F_s و M_s — القوى المحورية وعزوم الانحناء ، الناتجة عن تأثير أحمال التشغيل ؛

σ' — الاجهاد المسموح به ، المقرر بموجب المواصفات القياسية المناظرة ؛

σ_y — نقطة خضوع الفولاذ ؛

f — عامل الأمان .

لقد استخدم عامل الأمان هنا ، وذلك لأنه من المحتمل أن تختلف الأحمال الفعلية عن الأحمال النظرية ، المستخدمة فى التصميم ، وأن يختلف تصميم القطعة الانشائية الفعلية عن تصميمها النظرى . وبالاضافة الى ذلك ، يعود استخدام عامل الامان ، الى عدم تجانس الخواص الميكانيكية للمادة . ويتم تجاوز هذه الاختلافات (الانحرافات) المحتملة ، باستخدام عامل أمان (يبلغ فى المتوسط ١,٥ تقريبا)، يربط بين الافتراضات التصميمية للقطعة الانشائية ، وبين شغلها الفعلى أثناء عملية استخدامها أو تشغيلها .

وعند مقارنة طريقة التصميم الجديدة ، وهى طريقة الحالات الحدية ، بالطريقة القديمة — طريقة الاجهادات المسموح بها الصيغتان [(6—1) و (8—1)] ، نجد بأن أساليب الحساب أو التصميم متشابهة ؛ ولكن الاجهادات فى القطعة الانشائية ، ناتجة فى الحالة الأولى عن أحمال التصميم (مع أخذ عوامل التحميل فى الاعتبار) ، وقد قورنت هذه الاجهادات بالمقاومة التصميمية . أما فى الحالة الثانية ، فان الاجهادات ناتجة عن أحمال التشغيل ، وقد قورنت بالاجهاد المسموح به .

والميزة الاساسية لطريقة التصميم الجديدة ، تتلخص فى اعتبار القطعة الانشائية ليست موجودة فى حالة الشغل ، بل فى الحالة الحدية . وقد تطلب هذا الاعتبار ، صياغة أكثر دقة ، للحالات الحدية المؤدية الى انهيار القطعة الانشائية ، وتطلب كذلك دراسة طبيعة عامل الأمان ، الأمر الذى أدى الى استبدال عامل أمان واحد مشترك f ، بثلاثة عوامل متفاضلة ، وهى n ، k_{hom} ، k_s. وفى الواقع اصبحت للقطع الانشائية المصممة بطريقة الاجهادات المسموح بها، بادخال عامل أمان واحد ، وبغض النظر عن ظروف التشغيل المختلفة وعن تأثير الاحمال المختلفة (تغير الاحمال) ، إحتياطيات إمان مختلفة .

ان ادخال ثلاثة عوامل ، وأهمها عامل التحميل n ، يجعل من الممكن تقدير تأثير نسبة الاحمال أيضا ، بالاضافة الى تقدير قيمها المطلقة . وهذا يؤدى الى ايجاد انشاءآت ، تكون جميع قطعها متساوية المقاومة بالنسبة لأحمال التشغيل . والطريقة الجديدة توحد طرق الحساب والتصميم ، وهى مبنية على بارامترات فيزيائية ، وتجعل من الممكن بسهولة أن نأخذ فى الاعتبار أيضا ، مرحلة المرونة واللدونة لاشتغال المادة ، بالاضافة الى مرحلة المرونة . وتخضع عوامل التحميل والتجانس ، لقوانين التوزيع الاستاتيكية ، ويمكن التحكم فيها أيضا . وهكذا تم وضع الأسس العلمية لطرق حساب وتصميم القطع الانشائية .

الباب السادس — الأحمال

ان المهمة الأساسية لأى انشاء فولاذى ، هى تحمل مختلف أحمال التشغيل (الاحمال النافعة، المؤثرة عليه . وتتألف هذه الاحمال فى المبانى الصناعية ، من الأوناش الرحالة وغيرها ، والمعدات التكنيكية، والى آخره ؛ اما فى المبانى المدنية فتتألف من جماهير الناس التى ترتادها ، وغير ذلك ، وفى المبانى والانشاءات الخاصة كالجسور ، تشمل وسائل النقل أو المواصلات ؛ وفى انشاءآت الهندسة الايدرولية تتمثل فى المياه ؛ كما انها فى الصوامع تتألف من المواد السائبة ، والى آخره . وبالاضافة الى تأثير أحمال التشغيل على الانشاء ، تؤثر عليه أيضا أحمال ومؤثرات طبيعية (مثل الثلج والريح والمؤثرات الحرارية) ، ويؤثر كذلك وزن القطع الانشائية نفسها .

وتقسم الأحمال ، تبعا لمدة تأثيرها ، الى ما يلى :

١) الأحمال الساكنة أو الدائمة مثل وزن القطع الانشائية نفسها ، ووزن السقوف ومواد التسقيف والجدران ، ووزن وضغط التربة ، والى آخره .

٢) الاحمال القابلة للتحرك أحمال وقتية تؤثر لمدة طويلة ، مثل وزن المعدات الواقفة ، والأحمال الموضوعة على أرضيات المخازن والمكتبات العامة والمسارح ؛ وضغط الغازات والسوائل والمواد السائبة ، الموجودة فى داخل الصهاريج والمستودعات ؛ والتأثيرات الحرارية المستمرة للمعدات الميكانيكية .

٣) الاحمال المتحركة : وهى عبارة عن أحمال فى حالة حركة ، تؤثر لمدة قصيرة ، مثل الأوناش ومعدات الرفع والنقل الأخرى ، وأحمال الناس الموجودين فى داخل المبانى والانشاءآت ، وأحمال الثلج والريح ، والمؤثرات المناخية الحرارية ، وأحمال التركيب وغيرها .

٤) الاحمال الخاصة : مثل الاحمال الناجمة عن حدوث الزلازل وعن الحوادث المفاجئة ، وعن هبوط الاسس (settlement of foundations)، والى آخره .

وكقاعدة عامة، لا يؤثر على المبنى أو الانشاء حمل معين واحد ، بل تؤثر عليه مجموعات مختلفة من الأحمال . ان احتمال تعرض الانشاء للانطباق الآنى للتأثيرات الكبرى ، الناتجة عن كافة انواع الاحمال الممكنة ، هو أحتمال ضئيل جدا . ولا بد أن يكون للانشاء المصمم لتحمل مثل هذه المجموعة المؤتلفة من الأحمال ، احتياطى أمان زائد . ان قيم أحمال التشغيل وعوامل التحميل ، التى تصادفنا فى أغلب الاحيان ، وكذلك المجموعات المؤتلفة للاحمال ، التى يجب أن تؤخذ فى الاعتبار عند حساب وتصميم الانشاءآت والقطع الانشائية ، مقررة بموجب المواصفات القياسية للبناء . وتتطرق هذه المواصفات القياسية ، الى الأنواع الثلاثة التالية ، من المجموعات المؤتلفة للاحمال :

١) المجموعات المؤتلفة الأساسية ، وقوامها الأحمال الساكنة (الدائمة) ، والأحمال القابلة للتحرك ، والاحمال المتحركة — وهى من أهم الاحمال فى هذه المجموعات ؛

٢) المجموعات المؤتلفة الاضافية ، وقوامها الاحمال الساكنة ، والأحمال القابلة للتحرك وجميع الأحمال المتحركة الأخرى ؛

٣) المجموعات المؤتلفة الخاصة ، وقوامها الأحمال الساكنة ، والأحمال القابلة للتحرك ، والاحمال المتحركة المحتملة ونوع واحد من الأحمال الخاصة .

وعند بحث المجموعات المؤتلفة المذكورة ، تعتبر الاحمال الرأسية والاحمال الأفقية الناتجة عن الاوناش الرحالة ، بمثابة حمل متحرك واحد .

ويمكن فى الحالات الاستثنائية ، أن يدخل ضمن المجموعة المؤتلفة الأساسية ، التأثير الموحد لحمل الثلج ، ولونش واحد أو ونشين رحالين (باستثناء الأوناش التى تنجز شغلا سهلا أو متوسطا) .

وعند حساب وتصميم القطع الانشائية ، تبعا للمجموعات المؤتلفة الاضافية للاحمال ، يجب أن تضرب قيم أحمال التصميم المتحركة (أو الاجهادات المناظرة لها ، فى القطع الانشائية) ، فى عامل المجموعة المؤتلفة للاحمال $c=0,9$ ؛ أما عند الحساب والتصميم تبعا للمجموعات المؤتلفة الخاصة ، فيجب أن تضرب القيم المذكورة ، فى العامل $c=0,8$.

وبالنسبة للانشاءآت والمبانى الخاصة (مثل الجسور وانشاءآت الهندسة الايدرولية والاوناش الخاصة وغيرها) ، تقرر الاحمال ومجموعاتها المؤتلفة ، بموجب وثائق أو تعليمات فنية خاصة .

ان وزن القطع الانشائية الفولاذية ، لا يمثل عادة الا جزءا صغيرا من الحمل الكلى ، ويمكن استخراجه سلفا ، على أساس الحساب التقريبى أو على قياس الانشاءآت المشيدة عمليا (راجع مثلا ، الجدول ٩ — ٣) .

وأحمال التشغيل المتحركة ، معينة فى حدود المواصفات القياسية للبناء ، على اختلاف أنواعها .

ولا يعتبر حمل الريح ، هو الحمل الناتج عن ضغط الريح الفعال على وجه الجدار المقابل للريح فقط ، بل كذلك يعتبر تأثير المص (suction) على السقف وعلى الوجه الداخلى للجدار المقابل ، بمثابة حمل الريح . وتعتبر الأحمال الناتجة عن الأوناش الرحالة ، بمثابة أحمال تشغيل متحركة أيضا . وعند تأثير الاحمال الدينامية ، التى تحدث دفعا وأهتزازا فى الانشاء (الأوناش والقطارات) ، يجرى الحساب والتصميم تبعا لنفس أحمال التشغيل السابقة ، ولكن بعد أن تضرب فى العامل الدينامى الخاص ، بالاضافة الى ضربها فى عامل التحميل .

الفصل الثانى

المواد وطبيعة سلوكها فى القطع الانشائية

البند السابع — المواد المستخدمة فى القطع الانشائية المعدنية

١ — الفولاذ الكربونى والفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة

يقسم الفولاذ الكربونى ، تبعا لكمية الكربون الموجودة فيه ، الى الانواع الثلاثة التالية :

أ) فولاذ منخفض الكربون ، ويحتوى على كمية من الكربون تتراوح بين ٠,٠٩ — ٠,٢٢ ٪ ، ويستخدم بصورة رئيسية فى الانشاءآت ؛

ب) فولاذ متوسط الكربون ، ويحتوى على كمية من الكربون تتراوح بين ٠,٢٥ — ٠,٥٠ ٪ ، ويستخدم بصورة رئيسية فى صناعة المكنات ؛

ح) فولاذ عالى الكربون ، ويحتوى على كمية من الكربون تتراوح بين ٠,٦ — ١,٢ ٪ ، ويستخدم فى صناعة الأدوات أو العدد .

ويحتوى الفولاذ دائما ، على شوائب من المنجنيز والسليكون والفوسفور والكبريت ، لا يزيد مجموعها عادة على ١ ٪ . ويعتبر كل من الفوسفور والكبريت من الشوائب الضارة ، ولكن لا يمكن التخلص منهما نهائيا ، اثناء عملية صهر أو سبك الفولاذ . ان وجود الفوسفور بكمية تزيد على ٠,٠٤٥ ٪ ، يجعل الفولاذ قصيفا عند درجات الحرارة المنخفضة (أى يجعل الفولاذ لا يقبل التشغيل على البارد) . أما وجود الكبريت بكمية تزيد على ٠,٠٥٥ ٪ ، فيجعل الفولاذ لا يقبل التشغيل على الساخن ، أى يساعد على تكون الشدوخ أو الصدوع فى الحالة الساخنة .

ويصنع القسم الاكبر من الفولاذ فى أفران المجمرة المكشوفة . وحتى وقت غير بعيد ، كان فولاذ المحولات — (فولاذ « بسمر » و « توماس ») ، يحتوى عادة على كمية من الشوائب الضارة ، تزيد قليلا عن الكمية الموجودة فى فولاذ المجمرة المكشوفة . وكان فولاذ المحولات يحتوى أحيانا على غازات مذابة (مثل النتروجين والاكسيجين وغيرهما) ، تعتبر بدورها شوائب ضارة أيضا .

وفى الوقت الحاضر ، ونظرا لتحسن وتطور طرق صناعة فولاذ المحولات (نفخ الاكسيجين من الأعلى) ، أصبح فى الامكان استخدام هذا النوع من الفولاذ ، فى الانشاءات على نطاق واسع .

وباضافة بعض عناصر الاشابة الى الفولاذ ، مثل المنجنيز والنيكل والكروم وغيرها ، يمكن الحصول على فولاذ سبائكى عالى المقاومة وهذا النوع من الفولاذ لا يستخدم فى الانشاءات العادية الا نادرا ، وذلك لأنه يكلف غاليا . ولتشييد الانشاءات الكبيرة والمهمة ، يستخدم فى كثير من الأحيان ، فولاذ سبائكى منخفض الاشابة .

ان فولاذ الانشاءآت الاساسى ، هو الفولاذ المنخفض الكربون ، الذى يصنع بطريقة المجمرة

المكشوفة أو بطريقة المحولات الجديدة ، والفولاذ الحفافى * (rimming steel)، والفولاذ المخمد ** (killed steel) ، أو الفولاذ نصف المخمد والخواص المميزة لهذا الفولاذ ، هى التصليد أو الاصلاد الردى ، واللدونة العالية والالتحامية الجيدة .

ويتميز الفولاذ المخمد عن الفولاذ الحفافى ، بميزة مفيدة ، وهى أن عملية تبريده فى قوالب الصب، تتم بصورة هادئة، بدون نشوء عنيف للغازات الموجودة فى الفولاذ بكميات كبيرة . ويمكن التوصل الى ذلك ، باستخدام عوامل مختزلة ، مثل السليكون والالمنيوم وغيرهما ، تعمل على تقييد الغازات (تخمد الفولاذ) ، مكونة بذلك الخبث . وفى هذه الحالة ، يقل احتمال تكون الفقاعات الغازية فى الفولاذ ، وهى الفقاعات التى يمكن أن تتركز حولها التضمنات اللامعدنية ومن بينها مركبات الكبريت المختلفة ، التى تحدث أثرا ضارا عند الدلفنة (القشر — exfoliation) واللحام ، وخاصة فى الألواح الثخينة . ان الفولاذ المخمد أغلى من الفولاذ الحفافى ، ولذلك يجب استخدامه فى بعض أنواع الانشاءآت المهمة فقط ، وخاصة الانشاءآت الملحومة .

ويوجد كذلك الفولاذ نصف المخمد ، الذى لم يختزل تماما ، ويمكن الحصول عليه فى قوالب صب خاصة .

ان الانواع المذكورة من الفولاذ الكربونى ، تستخدم فى القطع الانشائية (الانشاءآت) الملحومة ، كما يلى :

أ) الفولاذ المخمد — ويستخدم فى القطع الانشائية المصممة لغرض الاشتغال فى درجة حرارة تقل عن ٣٠° مئوية، وكذلك (بغض النظر عن درجة حرارة التشغيل) فى القطع الانشائية، التى تشتغل فى ظروف صعبة للغاية — تحت تأثير الأحمال الدينامية والأحمال الاهتزازية .

ب) الفولاذ نصف المخمد (ورمزه *nc*) — يستخدم فى القطع الحاملة الرئيسية ، للسقوف والأرضيات (مثل الجمالونات وعتبات الاطر والعتبات العادية) .

ح) الفولاذ الحفافى (ورمزه *kn*) — يستخدم فى بقية الحالات الانشائية الأخرى .

وبالنسبة للقطع الانشائية الخالية من الوصلات الملحومة ، توجد عدة شروط اكثر بساطة ، لاختيار نوع الفولاذ المستخدم فيها .

ويقوم الخبراء العاملون فى مصانع الحديد والفولاذ ، بتقديم معلومات وافية عن التركيب الكيميائى لكل صهير أو صهارة (melt) من الفولاذ ، وتدرج هذه المعلومات فى وثيقة خاصة تسمى بالشهادة . ان المقادير الكبرى للعناصر الكيميائية ، الموجودة فى الفولاذ ، مقررة فى الاتحاد السوفييتى بموجب المواصفات القياسية الخاصة بتوريد الفولاذ الكربونى ، من النوع العادى (GOST 380-60) . وتوجد ماركات مختلفة من الفولاذ المستخدم فى الانشاءآت ، وذلك تبعا لكمية العناصر الموجودة فيها (جدول ٢—١) .

ان فولاذ الانشاءآت الرئيسى ، هو الفولاذ ماركة Cr.3 . ولهذا النوع من الفولاذ قابلية جيدة للحام ، وذلك لان نسبة الكربون الموجود فيه (وهى عادة أقل من ٠,٢٢ ٪) ، ونسبة السيليكون (أقل من ٠,٣ ٪) ، هما نسبتان قليلتان نوعا ما .

والفولاذ ماركة Cr. O ، لاينتج بصورة خاصة، بل يتم الحصول عليه نتيجة للتخلص من ماركات

---

* وهو فولاذ غير تام الاختزال ويحترى على فقاقيع غازية — المترجم .

** وهو فولاذ مختزل الاكسيد قبل الصب - المترجم .

جدول ٢—١

التركيب الكيميائى لماركات فولاذ الانشاءآت (المنتجة فى مصانع المجمرة المكشوفة) — بموجب المواصفات القياسية السوفييتية (GOST 380—60) .

ماركة الفولاذ	نسبة العناصر الموجودة فيها ٪				
	الكربون	السيليكون	المنجنيز	الفوسفور	الكبريت
				لا اكثر من	
Cr-0	لا اكثر من ٠,٢٣	—	—	٠,٠٧	٠,٠٦
Cr-2кп.	٠,٠٩—٠,١٥	لا اكثر من ٠,٠٧	٠,٢٥—٠,٥٠	٠,٠٤٥	٠,٠٥٥
Cr.3кп.	٠,١٤—٠,٢٢	لا اكثر من ٠,٠٧	٠,٣٠—٠,٦٠	٠,٠٤٥	٠,٠٥٥
Cr.3пс.	٠,١٤—٠,٢٢	لا اكثر من ٠,١٧	٠,٤٠—٠,٦٥	٠,٠٤٥	٠,٠٥٥
Cr.3	٠,١٤—٠,٢٢	٠,١٢—٠,٣٠	٠,٤٠—٠,٦٥	٠,٠٤٥	٠,٠٥٥
Cr.4кп.	٠,١٨—٠,٢٧	لا اكثر من ٠,٠٧	٠,٤٠—٠,٧٠	٠,٠٤٥	٠,٠٥٥
Cr.4	٠,١٨—٠,٢٧	٠,١٢—٠,٣٠	٠,٤٠—٠,٧٠	٠,٠٤٥	٠,٠٥٥
Cr.5	٠,٢٨—٠,٣٧	٠,١٥—٠,٣٥	٠,٥٠—٠,٨٠	٠,٠٤٥	٠,٠٥٥

الفولاذ الأخرى ، لأسباب كيميائية وميكانيكية ، ولهذا لا يسمح باستخدامه الا فى القطع الانشائية التى ليس لها تصميم خاص .

ان توريد فولاذ المجمرة المكشوفة ، يتم فى الاتحاد السوفييتى طبقا للمواصفات القياسية (GOST 380-60)، بينما يتم توريد فولاذ المحولات ، طبقا للمواصفات القياسية (GOST 9543-60) ؛ مع تقسيمه الى ثلاث فئات أو مجموعات ، وهى : المجموعة А — وتكون خواصها الميكانيكية مضمونة سلفا ، والمجموعة Б — ويكون تركيبها الكيميائى مضمونا ، والمجموعة В — وتكون كل من خواصها الميكانيكية وتركيبها الكيميائى ، مضمونة معا .

ونظرا لأن الخواص الميكانيكية المضمونة . وكذلك المقاومات التصميمية ، تكون كقاعدة ، متشابهة فى مجموعات معينة من ماركات الفولاذ الكربونى ، لذا فلسهولة البحث فيما بعد ، ستطلق على هذه المجموعات ، الاسماء التالية : «الفولاذ — ٣» و«الفولاذ — ٤» و«الفولاذ — ٥» ، وهذه الاسماء تشمل كافة ماركات الفولاذ المناسب .

ولما كانت القطع الانشائية تتطلب وجود ضمانات معينة فيما يتعلق بالخواص الميكانيكية للفولاذ ، مع تحديد المركب الكيميائى فى نفس الوقت ، لذا يكون الفولاذ المصنف فى المجموعة *B* ، هو الفولاذ الرئيسى الذى يجب استخدامه فى القطع الانشائية .

ويتم توريد الفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة، بموجب المواصفات القياسية (GOST 5058-57)، وتبعا لمواصفات فنية خاصة، ويستخدم بصورة رئيسية فى القطع الانشائية الثقيلة، وكذلك فى القطع الانشائية ، التى يتم تشغيلها (استخدامها) عند درجات الحرارة المنخفضة .

ان رمز ماركات الفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة ، الذى يتألف من حروف وأرقام معينة ، يميز فى الاساس ، التركيب الكيميائى للفولاذ . فالارقام الموجودة الى يسار الرمز ، تشير الى

النسبة المئوية لمتوسط المحتوى الكربوني ، مقاسة بأجزاء من المئة ، أما الى يمين هذه الارقام ، فقد وضعت حروف روسية ، لتكون بمثابة اسماء اصطلاحية للمركبات ، كما يلي : Г — منجنيز ، C — سليكون ، X — كروم ، H — نيكل ، Д — نحاس ، T — تيتانيوم ، M — موليبدنوم ؛ والى آخره . والارقام التي تلي هذه الحروف ، تشير الى النسبة المئوية التقريبية لكمية العنصر ، الموجودة في الفولاذ (باعداد صحيحة) ، والتي تزيد على ١ ٪ . أما كمية المركبات الموجودة في الفولاذ ، التي تقل عن ١,٥ ٪ ، فلا يشار اليها .

ومن ماركات الفولاذ السبائكي المنخفض الاشابة ، التي تستخدم في الانشاءآت ، هما الماركتان 15XCHД و 10XCHД (من الفولاذ المشاب طبيعيا ، الذي يستخرج من مكامن أورسك — خليلوف في الاتحاد السوفييتي) .

ومن انواع الفولاذ الخالي من النيكل ، وهي الاكثر رخصا ، تستخدم الماركات التالية : 14Г2 ، 10Г2С1 ، 09Г2 ، 15ГФ ، 10Г2АФ وغيرها .

ان استخدام الفولاذ السبائكي المنخفض الاشابة ، يؤدي الى تقليل وزن القطع الانشائية بمقدار ١٥ ٪ تقريبا ، ولكن تكاليفها تبقى ثابتة على وجه التقريب . ويمكن الحصول على أقتصاد أكبر نسبيا ، في الفولاذ المستخدم في الانشاءآت والقطع الانشائية ، وذلك باستخدام الفولاذ السبائكي المنخفض الاشابة أو الفولاذ المنخفض الكربون ، بعد معاملتهما بالحرارة وفي هذين النوعين من الفولاذ ، تتحسن خواص المقاومة — نقطة الخضوع والمقاومة القصوى — تحسنا ملموسا ، مع انخفاض اللدونة الى حد كبير . وتتلخص المعاملة الحرارية في تسخين الفولاذ الى درجة حرارة تتراوح بين ٩٠٠ — ٩٣٠ مئوية (فوق النقطة الحرجة العليا) ، وتصليده في الماء ، بدون أن يعقب ذلك تطبيع الفولاذ أو مع تطبيعه .

وسوف تنتج قريبا في الاتحاد السوفييتي ، ماركات من الفولاذ المعامل حراريا ، وهي T30 ، T45 ، T60 و T75 (تشير الارقام هنا الى القيمة الصغرى لنقطة خضوع الفولاذ) . أما في الوقت الراهن ، فان المواصفات القياسية (GOST 9458-60) ، معدة لتوريد الفولاذ ماركة T30 فقط ، وهو الفولاذ المنتج على أساس الفولاذ — ٣ الحفافي المنخفض الكربون . ان الاسراع في استخدام الانواع الاخرى من الفولاذ المعامل حراريا ، الذي يؤدي الى تقليل وزن القطع الانشائية الى حد كبير ، والى اقتصاد عام في التكاليف يتراوح بين ٢٥ — ٣٠ ٪ ، يعتبر أمرا مهما للغاية .

٢ — السبائك الالومنيومية

تستخدم في القطع الانشائية سبائك الومنيومية ، تحتوي على عناصر اشابة مختلفة — مثل المغنسيوم والمنجنيز والسليكون والنحاس وغيرها . ولاجل الاختصار سنسمي القطع الانشائية المصنوعة أو المنتجة من السبائك الالومنيومية ، بالقطع الألومنيومية .

تقسم السبائك الالومنيومية الى نوعين : سبائك مصبوبة ، تستخدم في صناعة المكنات ، وسبائك مشكلة بالحدادة (مشكلة بالضغط — أي بالكبس والبثق والدلفنة والختم وغير ذلك) ، وتستخدم في الانشاءآت .

وتتم تقوية السبائك ليس عن طريق اضافة عناصر الاشابة فقط ، بل وبواسطة التأثير (الفعل) الميكانيكي أيضا ، بطريقة تشويه الكتل المدلفنة على البارد (التشغيل على البارد والسحب على البارد).

أما بالنسبة لبعض هذه السبائك ، فتتم التقوية بواسطة المعاملة الحرارية أيضا (التصليد ، والاصلاد بالزمن — ageing/أي تغيير الخواص بالزمن/ ؛ وغير ذلك) .

ويجرى تصنيف السبائك الى ماركات مختلفة ، تبعا لعناصر الاشابة ، كما يلي :

AMr — تعني سبائك الومنيومية — مغنسيومية (وفي الماركة AMr6 ، يشير الرقم 6 الى أن السبيكة تحتوي على حوالي ٦ ٪ من المغنسيوم) ؛

AMц — تعني سبائك الومنيومية — منجنيزية ؛

АД, AB — تعني سبائك من الالمنيوم والمغنسيوم والسليكون ؛

Д1, Д16 وغيرها — تعني سبائك الديورالومين (وتشير الاعداد الى رقم السبيكة) ، والمركبات الاساسية لهذه السبائك ، هي الالمنيوم والمغنسيوم والنحاس ؛

B — تعني سبائك عالية المقاومة (B65 و B92 وغيرها) ، تتألف بصورة رئيسية من الالومنيوم والمغنسيوم والنحاس والزنك ، وتعتبر من السبائك الغالية نوعا ما .

والسبائك المشار اليها بالحرفين АД ، تعتبر من السبائك الالومنيومية ، وبالحرف (А) تعتبر من السبائك المشكلة بالحدادة ؛ وبالحرف (Д) تعتبر من السبائك القياسية الدولية ؛ أما الاعداد الموضوعة الى يمين الحروف ، فتشير الى رقم السبيكة ، مثل (АД33 و АД31) . ويشار الى حالة المادة عند توريدها ، بالحروف أيضا ، كما يلي : М — تعني بأن المادة ملدنة أو طرية ؛ Т — تعني بأن المادة مصلدة ومعتقة بصورة طبيعية (Т1 — معتقة اصطناعيا) ؛ Н — تعني بأن المادة مشغلة على البارد ؛ П — تعني نصف مشغلة على البارد .

ويمكن بواسطة المعاملة الحرارية ، رفع مقاومة السبيكة بمقدار يتراوح بين ١,٣ — ١,٥ مرة ، ولكن عند ذلك ستقل الاستطالة النسبية للسبيكة . ومن السبائك التي تقوى بواسطة المعاملة الحرارية ، هي سبائك الديورالومين والسبائك ماركة AB والسبائك العالية المقاومة . ان سبيكة الديورالومين ماركة Д16Т ، تعتبر من السبائك القوية ، وينصح باستخدامها في القطع الانشائية المبرشمة ؛ ولكن لحامها صعب ، لذلك يتم تلدين منطقة اللحام ، الأمر الذي يؤدي احيانا الى تكون أو ظهور الصدوع . وسبائك الديورالومين ، أقل مقاومة للصدأ ، من غيرها .

ويمكن استخدام السبائك AB و АД ، المعاملة حراريا ، في القطع الملحومة أيضا ، على شرط أن تعقب اللحام معاملة حرارية أخرى ، وهذا أمر ضروري لرفع مقاومة الوصلة الملحومة ، وذلك لأنه بعد اللحام تصل مقاومة الدرزة الملحومة الى ٦٠ ٪ من مقاومة المعدن الأساسي .

والسبائك AMr و AMц ، لا تقوى بالمعاملة الحرارية . والسبائك AMr6 و АД33 ، جيدة القابلية للحام ، ولها خواص ميكانيكية جيدة نوعا ما ؛ ولذلك فانها تستخدم على أوسع نطاق في القطع الانشائية الملحومة ؛ ولهذه السبائك أيضا ، مقاومة للصدأ جيدة نوعا ما . وللسبيكة AMц مقاومة منخفضة ، ولكن مقاومتها للصدأ جيدة ، وقابلة للحام ، ورخيصة نوعا ما . ويمكن استخدامها في الحواجز الانشائية أو السياجات .

البند الثامن — الخواص الميكانيكية الرئيسية للفولاذ.

سلوك الفولاذ عند تعرضه للشد . قصافة الفولاذ

ان الخواص الميكانيكية الرئيسية للفولاذ ، هي المقاومة والمرونة واللدونة ، التي تتميز بواسطة الاجهادات والاستطالات ، بالاضافة الى ميل الفولاذ الى التصدع أو الانهيار بطريقة قصيفة

(brittle destruction)). ويحدد مدى التصدع المذكور بطريقة غير مباشرة ، بواسطة مقاومة الصدم (impact strength). وتحدد مقاومة الفولاذ ، بدرجة مقاومته للمؤثرات الخارجية ، كالقوى والاحمال وغيرها. وتعرف المرونة بأنها قابلية المادة لاستعادة شكلها الابتدائي (الأصلي) بعد ازالة الاحمال الخارجية عنها. أما اللدونة فتعرف بأنها قابلية المادة لعدم استعادة شكلها الابتدائي بعد ازالة الأحمال الخارجية ، اى قابلية المادة لاكتساب التشوهات الدائمة (الباقية) . والقصافة هي تصدع أو انهيار المادة ، في حالة تعرضها الى تشوهات قليلة .

وتحدد العلاقات بين الاجهادات والتشوهات ، لمختلف أنواع المواد ، عن طريق التجربة . ومن أسهل الاختبارات وأكثرها ضمانا ، هو اختبار الشد للعينات ، الذى تحدد بواسطته مقاومة الفولاذ ، وتحدد كذلك خواص اللدونة والمرونة فيه .

ومن خواص الفولاذ الأخرى ، بالاضافة الى ما سبق ، هي مقاومة الصدم (راجع الصفحة) ، وكذلك الزاوية الناتجة عند اختبار الانحناء في الحالة الباردة ، وهو الاختبار الذى يميز حالة السطح ، ويعتبر بمثابة أختبار بسيط في موقع العمل لمراجعة لدونة المادة ومطيليتها .

١ – سلوك الفولاذ عند تعرضه للشد

اذا عرضنا عينة من الفولاذ للشد ، مع زيادة الحمل P تدريجيا ؛ وقسنا في هذه الحالة مقدار الاستطالة الحاصلة ΔL ، فسوف نتمكن عندئذ من تخطيط رسم بياني تجاربي للشد ، بوضع الاستطالة في دالة الحمل . ولسهولة المقارنة ، يخطط هذا الرسم البياني بدلالة الاجهادات والاستطالات النسبية :

$$\sigma = \frac{P}{A}\ kg/cm^2 \qquad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}\ 100\% \qquad (2-1)$$

حيث σ – الاجهاد المتعامد (normal stress)،

A – المساحة الأصلية للمقطع العرضي للعينة ؛

ε – الاستطالة النسبية (٪) ؛

L_0 – الطول الأصلي للعينة .

ويعتمد مقدار الاستطالة النسبية على طول العينة ومساحة مقطعها العرضي .

تحتوى المواصفات القياسية (GOST 1497-61) على نوعين من العينات – طويلة و قصيرة .

ويبين الشكل (٢ – ١ ، أ) الرسم البياني التجاربي للفولاذ – ٣ الكربوني .

ان العلاقة بين الاجهادات والاستطالات النسبية ، تحدد بقانون الخط المستقيم ؛ أى أن الاجهادات والاستطالات النسبية ، متناسبة مع بعضها . ويعبر عن هذا التناسب بالمعادلة الخطية التالية (قانون هوك) :

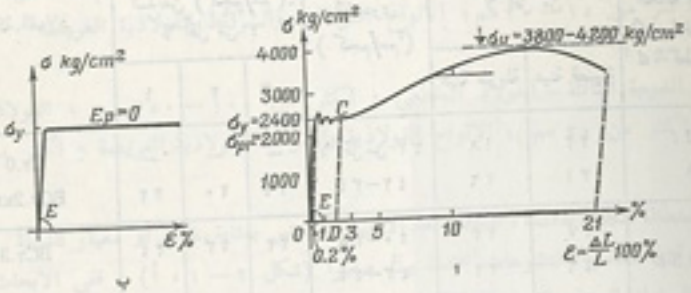
$$\sigma = E\varepsilon\ kg/cm^2 \qquad (2-2)$$

حيث E – عامل ثابت للتناسب ، يسمى بمعامل المرونة عند الشد ؛ أو معامل المرونة في حالة التحميل المحوري * . وقيمة هذا المعامل بالنسبة للفولاذ ، هي $E = ٢١٠٠٠٠٠$ كجم/سم٢ .

* ويطلق على هذا المعامل أيضا ، اسم معامل « يونج » – المترجم .

ان الاجهاد الاقصى في المادة ، الذى تبدأ عنده العلاقة الخطية بين الاجهاد والاستطالة النسبية ، بالتحول الى علاقة غير خطية ، يسمى بحد التناسب σ_{pr} (شكل ٢ – ١ ، أ) . والى الأعلى قليلا من هذه النقطة ، يقع حد المرونة σ_e ، المتاظر للتشوه الأقصى ، الذى يزول كليا بعد ازالة الحمل .

وعند تحميل الفولاذ المنخفض الكربون ، الى ما فوق حد التناسب ، يحيد منحنى الرسم البياني للشد ، عن الخط المستقيم ، وبعد أن يرتفع الى الأعلى بسلاسة ، يقفز قفزة واحدة (مكونا عند سرع التحميل العالية ، « سنا » مميزة) ، لا يلبث بعدها أن يسير ، بتراوحات قليلا ، بموازاة



شكل (٢ – ١) ، الرسم البياني للشد ، للفولاذ – ٣

المحور الافقي ، أى محور السينات (شكل ٢ – ١ ، أ) . وهنا تستطيل العينة بدون زيادة الحمل ، وتبدأ المادة بالخضوع . ان الاجهاد المتعامد ، الثابت عمليا ، الذى يبدأ عنده خضوع المادة ، يسمى بنقطة الخضوع σ_y .

ان القسم الافقي من الرسم البياني ، وهو القسم المسمى بمنطقة الخضوع ، يقع بالنسبة للفولاذ المنخفض الكربون ، في حدود استطالات نسبية تتراوح بين ٠,٢ ٪ – ٢,٥ ٪ . ان وجود منطقة خضوع في المادة ، يعتبر عاملا ايجابيا في سلوك القطع الانشائية الفولاذية عند تعرضها للأحمال .

أما بالنسبة لبقية أنواع الفولاذ ، غير المنخفض الكربون ، فان الانتقال الى مرحلة اللدونة ، يتم بصورة تدريجية ، وهكذا فان حد المرونة في الانواع المذكورة من الفولاذ ، لا يختلف من الناحية المبدئية ، عن نقطة الخضوع . وتؤخذ نقطة الخضوع في هذه الانواع من الفولاذ ، بصورة اصطلاحية ، بحيث تكون مساوية للاجهاد الذى يحدث في المادة تشوها دائما يصل مقداره الى ٠,٢ ٪ .

وعند ازالة الحمل عن العينة التي حصلت فيها تشوهات لدنة ، فان الرسم البياني لازالة الحمل يتبع الخط المستقيم C – D ، الموازى لمستقيم التحميل المرن (شكل ٢ – ١ ، أ) .

وعندما تصل الاستطالة النسبية الى مقدار معين (حوالى ٢,٥ ٪ للفولاذ – ٣) ، تتوقف المادة عن الخضوع ، وتستعيد قابلية المقاومة من جديد . ويحدث ذلك ، كما لو كانت المادة قد اكتسبت مقاومة جديدة ، بصورة ذاتية . وفي هذه الحالة ، نجد بأن العلاقة بين الاجهادات والتشوهات ، تتبع قانون الخط المنحني ، مع زيادة التشوهات بسرعة . وهنا يتكون في العينة عنق ، وبالتالي تنهار (تتصدع) العينة تماما .

ان قابلية المقاومة القصوى للمادة ، التي تبين خصائص مقاومتها الحقيقية ، تحدد بالاجهاد الاصطلاحي الأقصى أثناء عملية الانهيار (وهو الاجهاد العائد الى المساحة الأصلية لمقطع العينة) . ويسمى هذا الاجهاد بالمقاومة القصوى σ_u (مقاومة الشد القصوى) .

جدول ٢–٢

الخواص الميكانيكية لفولاذ الانشاءآت ، حسب المواصفات القياسية

(GOST 5058–57, GOST 380–60)

نوع الفولاذ	ماركة الفولاذ	نقطة الخضوع ، حسب درجات تخن الفولاذ المدلفن (كجم/سم²). لا أقل من : ١	٢	٣	مقاومة الشد القصوى (كجم/سم²)	الاستطالة النسبية (٪) لا أقل من : عينة طويلة	عينة قصيرة	اختبار الانحناء على زاوية ١٨٠°، في الحالة الباردة . (t – تخن العينة ؛ d – قطر الشياق)
فولاذ كربوني	Ст.0	–	–	–	لا أقل من ٣٢	١٨	٢٢	$d=2t$
	ВСт.2кп	٢٢	٢٠	١٩	٤٢–٣٤	٢٦	٣١	$d=0$
	ВСт.3	٢٤	٢٣	٢٢	٤٠–٣٨	٢٣	٢٧	$d=0.5t$
					٤٣–٤١	٢٢	٢٦	
	ВСт.3кп	٢٤	٢٣	٢١	٤٧–٤٤	٢١	٢٥	
	ВСт.4	٢٦	٢٥	٢٤	٤٤–٤٢	٢١	٢٥	$d=2t$
	ВСт.4кп				٤٨–٤٥	٢٠	٢٤	
					٥٢–٤٩	١٩	٢٣	
	ВСт.5	٢٨	٢٧	٢٦	٥٣–٥٠	١٧	٢١	$d=3t$
					٥٧–٥٤	١٦	٢٠	
					٦٢–٥٨	١٥	١٩	
فولاذ سبائكي منخفض الاضافة		تخن الفولاذ المدلفن	نقطة الخضوع					
	14Г2	٤–١٠	٣٤		٤٨	١٨	–	$d=2t$
		١١–٢٠	٣٣		٤٧	١٨	–	
	15ГС	٤–١٠	٣٥		٥٠	١٨	–	$d=2t$
		١١–٢٠	٣٤		٤٨	١٨	–	
	10Г2С1 (10Г2СД(МК)	٤–٣٢	٣٥		٥٠	١٨	–	$d=2t$
	15ХСНД (НЛ12)	٤–٣٢	٣٥		٥٢	١٨	–	$d=2t$
	10ХСНД	٤–٣٢	٤٠		٥٤	١٦	–	$d=2t$
		٣٣–٤٠	٣٧		٥١	١٥	–	

ملحوظة : ان درجات تخن الفولاذ المدلفن ، هي كما يلي :

أ) الدرجة الأولى – الفولاذ المقطعي (الزوايا والقضبان المسطحة والقضبان المدورة أو المبرومة) – الى حد ٤٠ مم شاملة ، والفولاذ المشكل الجانبية (مقاطع شكل – I ومقاطع على شكل مجرى ⊏) – الى حد ١٥ مم شاملة . أما تخن الوترة ، فيتراوح في الالواح الفولاذية والشرائط الفولاذية العريضة بين ٤ – ٢٠ مم شاملة ؛

ب) الدرجة الثانية – الفولاذ المقطعي : أكثر من ٤٠ – ١٠٠ مم ؛ الفولاذ المشكل الجانبية : أكثر من ١٥ – ٢٠ مم ؛ الألواح الفولاذية والشرائط الفولاذية العريضة : أكثر من ٢٠ – ٤٠ مم ؛

ح) الدرجة الثالثة – الفولاذ المقطعي : أكثر من ١٠٠ – ٢٥٠ مم ؛ الفولاذ المشكل الجانبية : أكثر من ٢٠ مم ؛ الالواح الفولاذية والشرائط الفولاذية العريضة : أكثر من ٤٠ – ٦٠ مم .

والاستطالة الكلية الدائمة ، المقاسة بعد الانهيار ، تعتبر بمثابة مقياس أو معيار لمدونة الفولاذ .

ولما كان معامل التشوهات اللدنة E_p صغيرا (شكل ٢ – ١ ، أ) ، ففي الابحاث النظرية عند دراسة السلوك المرن واللدن للفولاذ ، غالبا ما يؤخذ مساويا للصفر ؛ كما يتخذ بالنسبة لجميع انواع الفولاذ رسما بيانيا مثاليا للشد ، لمادة مرنة ولدنة مثالية (شكل ٢ – ١ ، ب – الرسم البياني لبراندتل Prandtel) .

وهكذا نجد بأن أهم الخواص الميكانيكية ، التي تميز سلوك الفولاذ ، هي : نقطة الخضوع ، والمقاومة القصوى والاستطالة النسبية . وهذه الخواص تبين مثلما يبين التركيب الكيميائي ، في الشهادات التي ترفق بكل دفعة (ارسالية) من الفولاذ .

ان المواصفات القياسية السوفييتية وبعض الوثائق الفنية الخاصة بتوريد فولاذ الانشاءآت ، تضمن الخواص الميكانيكية للفولاذ ، المبينة في الجدول (٢ – ٢) .

٢ – بنية الفولاذ وظاهرة الخضوع (التصبب – flow)

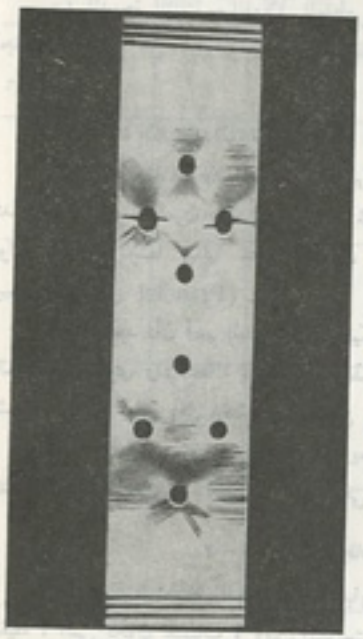
ان الفولاذ المنخفض الكربون هو عبارة عن مادة بلورية متجانسة ، تتألف من بلورات الفريت الدقيقة ، التي تكون حبيبات ، ومن البيرليت (خليط من السمنتيت Fe_3C والفريت) ، الذي يكون بصورة رئيسية ، واقعا على امتداد مفاصل الحبيبات الفريتية ، ومكونا ما يشبه « الشبكة » أو الانتشارات بين الحبيبات (شكل ٢ – ٢ ، الخطوط الداكنة) . ان البيرليت أصلد من الفريت بكثير وأكثر منه قصافة . وعند حدوث التشوه المرن ، تحت تأثير الأحمال المسلطة من الخارج ، تتغير قوى الفعل المتبادل بين ذرات البلورات ، الأمر الذي يؤدي الى تغير شكل الذرات . وبعد ازالة الأحمال تعود الذرات الى شكلها الأصلي . وفي حالة التشوهات اللدنة لعينات الشد من الفولاذ المنخفض الكربون ، تظهر على العينات بوضوح ، خطوط مميزة ، تسمى بخطوط التصبب (خطوط تشيرنوف – لودرس)، التي تمتد في اتجاه يصنع زاوية قدرها ٤٥° مع خط تأثير قوى الشد (شكل ٢ – ٣) . وهذه الخطوط الظاهرة للعين ، هي عبارة عن آثار الازاحات اللدنة لطبقات المعدن ، التي تبقى بعد ازالة الأحمال. واتجاه هذه الخطوط ، ينطبق في الاساس مع اتجاه اجهادات القص القصوى.

وهناك فرضية علمية مقادها ، أنه في الفولاذ المنخفض الكربون ، يكون البيرليت الواقع عند حافات الحبيبات على هيئة طبقة رقيقة نسبيا ، أصلد من الفريت ، لذا فانه في بداية الأمر يوقف

أو يمنع التشوهات اللدنة للفريت . ولكن فى المواضع المعرضة للضغط الاقصى لبلورات الفريت أثناء حركتها واستدارتها ، عندما تزيد الأحمال على حد المرونة ، يمكن فى هذه الحالة حدوث تصدعات موضعية فى البيرليت القصيف ؛ وعندئذ ، ستؤدى الطاقة التى ركمها الفريت اللدن ، الى حدوث ازاحة زائدة فى الفريت بالذات . وعندما تنزاح مجموعات أو أعداد كبيرة من الحبيبات ، تظهر ازاحات لدنة واضحة ؛ وهذا ما يفسر ظهور « السن » ووجود منطقة الخضوع على الرسم البيانى للشد .

وهكذا فان منطقة الخضوع ، تتكون نتيجة للطاقة المحررة ، المتراكمة فى حبيبات الفريت ، والتى كانت مقيدة أو محصورة بشبكة البيرليت . ونتيجة لوجود كمية كبيرة من البلورات المختلفة الاتجاهات ، يمكن أعتبار الفولاذ مادة متجانسة ، بغض النظر عن عدم تجانس بنيته الدقيقة .

وعند تحميل العينة الى ما فوق نقطة الخضوع ، فى حالة استخدام منطقة الخضوع بأكملها (أى عندما تستنفذ الطاقة المتراكمة فى حبيبات الفريت) ، تكتسب المادة قابلية جديدة للمقاومة ، ويتحول الرسم البيانى للشد ، الى خط منحن ، يعبر عن التطور المنتظم للتشوهات اللدنة فى الكتلة المعدنية بأكملها ، حتى لحظة التصدع أو الانهيار .



شكل (٢ – ٢) خطوط التصب فى شريط معدنى موتر (مسطوط)

شكل (٢ – ٢) بنية الفولاذ – ٣

ويحدث الانهيار نتيجة لتراكم انفعالات القص اللدنة الكبيرة ، وتطور اجهادات القص الموضعية ، التى تمزق الرباطات الذرية . ويمكن أن نلاحظ فى الكسر (موضع الانهيار) ، بنية بلورية دقيقة الحبيبات . وفى حالة تكون بنية ذات بلورات ماكروسكوبية ، أى بلورات كبيرة (مثلا ، عند تسخين المعدن الى درجة حرارة معينة) ، تصغر منطقة الخضوع وتنخفض نقطة الخضوع ، وهذا يفسر بتقليل الطول الكلى للتلامس على امتداد حافات الحبيبات ، بالمقارنة مع الطول الذى هو عليه فى البنية الدقيقة الحبيبات .

وفى الفولاذ السبائكى والفولاذ الذى يحتوى على كمية من الكربون تزيد على ٠,٣ ٪ ، يكون حجم أو أبعاد شوائب البيرليت أكبر ولا تكون بمثابة شبكة تحيط بحبيبات الفريت . ولهذا السبب

تحدث التشوهات بصورة أكثر سلاسة ، ولا يظهر « السن » على الرسم البيانى للشد ، وتتضاءل أو تختفى منطقة الخضوع ، ويصبح الفولاذ أكثر جسوة (صلادة) . وهكذا فان منطقة الخضوع الواسعة ، هى صفة مميزة للفولاذ المنخفض الكربون ، الذى يحتوى على كمية من الكربون تتراوح بين ٠,١ — ٠,٣ ٪ .

٣ – سلوك الفولاذ عند تعرضه للاجهادات الموحدة

عند اجراء اختبار الشد بالنسبة للعينة ، يتم تحديد قيمة نقطة الخضوع σ_y فى حالة تعرض العينة للاجهاد الأحادى المحور أما فى حالة تعرض العينة للاجهاد الموحد (مثلا ، عند التأثير الموحد للاجهادات المتعامدة واجهادات القص ، فى حالة الانحناء) ، فان التحول الى الحالة اللدنة طبقا لنظرية الطاقة الخاصة بالمقاومة ، يتميز بالقيمة النهائية لوحدة الشغل ، الناتج عن تشوه الجسم (وذلك عندما يتغير شكل الجسم فقط ، دون حجمه ، تحت تأثير ازاحة البلورات) .

وعادة يعبر عن هذا التحول الى الحالة اللدنة ، عن طريق الاجهاد المكافئ ، وذلك بمساواته مع نقطة الخضوع ، التى تم الحصول عليها فى حالة الشد البسيط .

ويتم استنتاج شرط اللدونة حسب نظرية الطاقة ، انطلاقا من أنه فى حالة الاجهاد الموحد ، يجب ألا تزيد طاقة الانفعال الكامنة لوحدة حجم الجسم ، على طاقة الانفعال الكامنة ، فى حالة الشد الاحادى المحور .

ويمكن التعبير عن وحدة الشغل الناتج عن تشوه الجسم ، فى حالة الشد الاحادى المحور ، بنسبة الشغل المرن المبذول فى حالة الشد (ويساوى نصف حاصل ضرب القيمة النهائية للقوة ، فى الاستطالة النهائية) ، الى حجم الجسم :

$$u = \frac{U}{AL} = \frac{0.5\,P\Delta L}{AL} = \frac{0.5\,P\,\frac{PL}{EA}}{AL} = \frac{P^2}{2A^2E} = \frac{\sigma^2}{2E} \qquad (2—3)$$

ويعبر عن وحدة الشغل أو الطاقة — فى حالة الاجهاد الحجمى الموحد — الخارجة من جسم على شكل متوازى سطوح أولى ، أبعاده مساوية للوحدة ، ولا توجد فى سطوحه الرئيسية أية اجهادات قص ، مع وجود الاجهادات المتعامدة الرئيسية $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ، فى أطرافه أو أضلاعه ؛ بالصيغة التالية :

$$u_c = \frac{1}{2}\sigma_1\varepsilon_1 + \frac{1}{2}\sigma_2\varepsilon_2 + \frac{1}{2}\sigma_3\varepsilon_3$$

حيث $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ — الاستطالات النسبية (الانفعالات) المناظرة .

ولما كانت $\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} - \frac{\mu\sigma_2}{E} - \frac{\mu\sigma_3}{E}$ ؛ حيث μ — معامل الانفعال الجانبى (نسبة بواسون Poisson) ، ويؤخذ بالنسبة للفولاذ مساويا لـ ٠,٣ (ويعبر عن $\varepsilon_2, \varepsilon_3$ بنفس الصيغة المناظرة) ؛ فبالتعويض عن هذه القيم ، نحصل على الصيغة التالية :

$$u_c = \frac{1}{2E}\left[(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2) - 2\mu\,(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_2\sigma_3)\right] \qquad (2—4)$$

والآن نعزل ذلك القسم أو الجزء من الطاقة ، الذى يناظر فقط ، تغير شكل الجسم ، الذى يعتبر صفة مميزة للانفعال (التشوه) اللدن (التصب اللدن) . ولهذا الغرض ، كما هو معلوم ،

يجب أن تؤخذ القيمة $\mu=0.5$. ويعبر عن وحدة الطاقة — فى حالة الاجهاد الحجمى الموحد — الميذولة لغرض تغيير شكل الجسم فقط $u_{c.l}$ ، بواسطة الصيغة (4—2) ، مع التعويض عن μ بـ 0.5 .

ويمكن التعبير عن شرط اللدونة ، فى حالة الاجهاد الموحد ، بمساواة وحدات الشغل (الطاقة) مع بعضها ؛ أى $u=u_{c.l}$. ويمكن التعبير عن هذا الشرط ، على هيئة اجهاد مكافئ ، اذا أستخرجنا الجذر التربيعى لطرفى الصيغتين (3—2) و (4—2) مع التعويض عن μ بـ 0.5 ، كما يلى :

$$\sigma_{eq}=\sqrt{\sigma_1^2+\sigma_2^2+\sigma_3^2-(\sigma_1\sigma_2+\sigma_1\sigma_3+\sigma_2\sigma_3)}=\sigma_y \qquad (2-5)$$

وهكذا فان الاجهاد المكافئ ، هو الاجهاد فى احدى حالات الاجهاد الأحادى المحور ، التى تناظر حالة الاجهاد الموحد المعينة ، من حيث شرط التحول الى الحالة اللدنة ؛ وبعبارة أخرى ، ان الاجهاد المكافئ ، هو مقدار مكافئ لنقطة الخضوع ، فى حالة الاجهاد الأحادى المحور .

وفى حالة الاجهاد المستوى او الثنائى المحور مثلا ، فى قطعة مقتطعة من انشاء قشرى ، حيث تتطور الاجهادات المتعامدة σ_1 و σ_2 فى اتجاهين متعامدين مع بعضهما ، يعبر عن الحالة الحدية بواسطة الاجهاد المكافئ التالى ($\sigma_3=0$) :

$$\sigma_{eq}=\sqrt{\sigma_1^2+\sigma_2^2-\sigma_1\sigma_2}<R \qquad (2-6)$$

وفى حالة الانحناء البسيط ، عند وجود مركبتين لحالة الاجهاد ، وهما الاجهاد المتعامد واجهاد القص ، مثلا فى عتبة بسيطة ، اجهاداتها هى $\sigma_x=\frac{M_x}{W_x}$ و $\tau_{xy}=\frac{QS_x}{I_x t}$ ، فان الاجهادات الرئيسية σ_1 و σ_2 ، كما هو معلوم ، تساوى :

$$\sigma_1=\frac{\sigma_x}{2}+\sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2+\tau_{xy}^2}$$
$$\sigma_2=\frac{\sigma_x}{2}-\sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2+\tau_{xy}^2} \qquad (2-7)$$

وبتعويض هاتين الصيغتين فى الصيغة (6—2) ، نحصل على الاجهاد المكافئ للانحناء المستعرض (cross bending) :

$$\sigma_{eq}=\sqrt{\sigma_x^2+3\tau_{xy}^2}<R \qquad (2-8)$$

ويمكن الحصول من هذه الصيغة ، على شرط الخضوع للقيم الكبرى المحتملة لاجهادات القص ، فى حالة القص البحت ؛ أى عند $\sigma_x=0$ (على فرض أن $R=\sigma_y$) :

$$\tau_y=\frac{\sigma_y}{\sqrt{3}}=0.577\,\sigma_y\approx 0.6\,\sigma_y \qquad (2-9)$$

ان معامل مرونة القص (معامل القص) G ، يؤخذ بالنسبة للفولاذ ، مساويا ٨٤٠٠٠٠ كجم/سم٢ .

وفى حالة الاجهاد الثنائى المحور ، عند وجود ثلاث مركبات لحالة الاجهاد (وهى σ_x، σ_y، τ_{xy}) ، نحصل على الاجهاد المكافئ من الصيغة التالية :

$$\sigma_{eq}=\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2-\sigma_x\sigma_y+3\tau_{xy}^2}<R \qquad (2-10)$$

وفى حالة الاجهاد الثنائى المحور ، اذا وصل الاجهاد فى لوح فولاذى ، فى اتجاه واحد ، الى نقطة خضوع الشد (مثلا ، $\sigma_1=+\sigma_y$) ، فمن الناحية العملية ، تكون المادة ، فى الاتجاه الثانى ، غير قادرة على تحمل اجهادات الانضغاط أو اجهادات الشد ($\sigma_2=0$) . ولكى يصبح فى الامكان تشغيل المادة ($\sigma_2\neq 0$) ، لابد من تقليل الاجهاد σ_1 ، أى يجب أن يكون $\sigma_1<\sigma_y$.

واذا كان الاجهاد فى اللوح ، فى اتجاه واحد ، يصل الى نقطة خضوع الانضغاط ($\sigma_1=-\sigma_y$) ، يكون اللوح قادرا بعد ، على تحمل اجهادات انضغاط كبيرة فى الاتجاه الثانى ($-\sigma_2$) ، ولكنه من الناحية العملية ، لا يكون قادرا على تحمل قوى الشد ($\sigma_2=0+$) .

٤ — ظاهرة القصافة فى الفولاذ

تتميز القصافة بانهيار المادة عند تشوهات قليلة ، فى حدود سلوكها المرن . وفى هذه الحالة ، يتم الانهيار عن طريق التمزق أو الانقصام ، ويكون الرسم البيانى للشد ، كما هو مبين فى الشكل (٢ — ٤ ، أ) ، بدون منطقة خضوع أو مرحلة لدونة .

ويمكن ظهور القصافة فى الفولاذ ، ليس نتيجة لاختلاف أنواعه تبعا للتركيب الكيميائى والمعاملة الحرارية أو الميكانيكية فحسب ، بل وكذلك نتيجة لوجود بعض ظروف التشغيل الخاصة ، المتميزة بتوزيع مجال القوة ، الذى يؤدى الى حدوث حالة من الاجهاد الموحد ، تعتمد على شكل الجسم (شكل ٢ — ٥ ، د) . ومن الظواهر التى تساعد على وجود القصافة ، هى تلك التى تودى الى حدوث الاصلاد الانفعالى (strain hardening) والاصلاد بالزمن وعدم تجانس توزيع الاجهادات ، وكذلك مختلف التغيرات فى درجات الحرارة .

ان حالة القصافة فى المادة ، تساعد كثيرا على ظهور الصدوع أو الشدوخ ، وتؤدى الى انهيار القطعة الانشائية . ولهذا السبب ، يجب على المصمم أن يتفادى خلق مثل هذه الظروف ، التى يمكنها أن تؤدى الى تصدع القطع الانشائية بطريقة قصيفة .

أ — الاصلاد الانفعالى

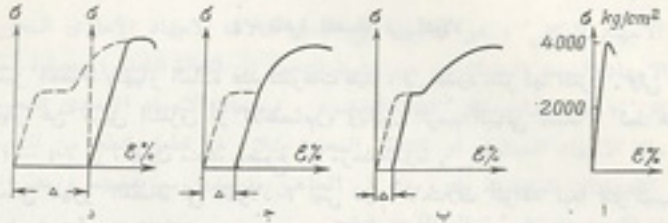
اذا تعرض الفولاذ للشد حتى وصوله الى الحالة اللدنة ، ثم أزيل عنه الحمل بعد ذلك ، فسوف تظهر فيه تشوهات دائمة (شكل ٢ — ٤ ، ب) . وعند اعادة تحميل العينة بعد فترة معينة من « استراحة » * المادة ، يعود الفولاذ من جديد الى سلوكه المرن ، ويتبع نفس الخط البيانى المستقيم لازالة التحميل ، وبعد ذلك يتبع الطريق العادى للرسم البيانى للشد ، الذى يتم الحصول عليه فى حالة التحميل مرة واحدة . وسوف يحدث نفس الشئ أيضا اذا بدأنا بازالة التحميل ، بعد أن تصبح منطقة الخضوع بأكملها ، مستهلكة تماما (شكل ٢ — ٤ ، هـ) . ومن الواضح انه فى هذه الحالة ، عند اعادة التحميل ، سوف لا تكون للمادة منطقة خضوع . ويبين الشكل (٢ — ٤ ، د) الرسم البيانى لاحدى الحالات ، التى تعرضت فيها العينة المشدودة سابقا ، لتشوهات دائمة كبيرة من نفس العلامة ، وتم انهيارها أو تصدعها فى حدود سلوكها المرن تقريبا ، عند وجود انفعالات صغيرة . ان مثل هذه الزيادة فى مدى السلوك المرن ، نتيجة للتشوه اللدن السابق ، تسمى بالاصلاد

* فى حالة التغير السريع للحمل المتغير فيما وراء حدود المرونة ، بدون « استراحة » المادة ، نرى ان عمليتى ازالة التحميل والتحميل ، لا تمثلان بخط مستقيم واحد على الرسم البيانى ، بل تمثلان انشوطات صغيرة .

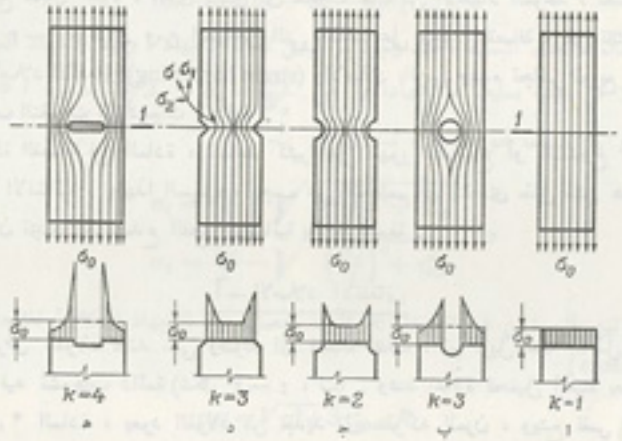
الانفعالى . والاصلاد الانفعالى يساعد على زيادة القصالة ، الأمر الذى لا يمكن اعتباره خاصية ايجابية ، بالنسبة للقطع الانشائية الفولاذية .

وفى بعض الحالات ، عندما لا تكون لقلة الاستطالة أهمية كبيرة ، يستخدم الاصلاد الانفعالى لزيادة نقطة الخضوع والمقاومة (مثلا ، فى اسلاك التسليح الرفيعة المستخدمة فى القطع الانشائية السابقة الاجهاد) .

ويحدث الاصلاد الانفعالى عند حنى أو ثنى القطع ، على امتداد حافات الثقوب المحفورة ، اثناء عملية القص بالمقصات وغير ذلك .



شكل (٢ — ٤) الرسم البيانى للشد (Δ — التشوهات الدائمة)



شكل (٢ — ٥) خطوط مرور الاجهادات (k — عامل التركز)

ب — الاصلاد بالزمن

يطلق على عملية تغير خواص المادة بمرور الزمن ، مع عدم حصول تغير جوهرى فى بنيتها الدقيقة ، أسم الاصلاد بالزمن .

وعند حدوث الاصلاد بالزمن ، تتقوى (تتصلد) المادة ، مع انخفاض لدونتها ومطيليتها وأرتفاع قصالتها ، فى وقت واحد . ويوجد نوعان من الاصلاد بالزمن ، وهما : الاصلاد الحرارى بالزمن (الاصلاد بالترسب) ، والاصلاد الانفعالى بالزمن. ان الاصلاد الحرارى بالزمن ، يحدث بعد تسخين المادة الى درجات حرارة عالية نسبيا (الاصلاد الاصطناعى بالزمن) ويسمى أيضا — التصليد بالتطبيع ،

أو يحدث (كما فى السبائك) عند درجة الحرارة المحيطة (الاصلاد الطبيعى بالزمن) ويحدث الاصلاد الانفعالى بالزمن ، بعد التشوه الدن عند درجات حرارة ، تقل عن درجة حرارة اعادة التبلور .

ان الظاهرة التى تحدث اثناء عملية الاصلاد بالزمن ، تتلخص فى المحاولة التدريجية لتحول من بنية معينة ، أقل ثباتا ، لمحلول جامد مشبع باقراط (supersaturated) ، الى بنية اكثر ثباتا .

وبمرور الزمن ، ينفصل المركب الزائد ، عن المحلول الجامد المشبع باقراط ، على هيئة حبيبات دقيقة للغاية (فى حالة تشتت) . وعلى سبيل المثال ، فى الفولاذ المنخفض الكربون ، تنفصل شوائب السمنتيت والنتريدات ، أى مركبات الحديد مع النتروجين ، التى تمنع ازاحة (انزلاج) بلورات الفريت . ونتيجة لذلك ، تنقلص منطقة الخضوع ، ومع أن خواص مرونة الفولاذ تتحسن ، الا أن استطالته تقل كثيرا ، وهكذا فان قصافته تزداد . وتعتمد عملية الاصلاد بالزمن ، على تركيب الفولاذ وتكنولوجية صناعته . وتستخدم عملية الاصلاد الحرارى بالزمن ، لتقوية (تصليد) السبائك الالومنيومية .

ج — التوزيع غير المنتظم للاجهادات

لقد تم أعلاه بحث سلوك العينات الملساء ، ذات الأشكال المنتظمة ، حيث تكون الاجهادات فى جميع المقاطع البعيدة عن موضع تسليط الحمل ، موزعة بانتظام .

ويرسم خطوط مرور الاجهادات المتساوية ، نحصل على مجال قوة ذى خطوط مستقيمة ، فى داخل العينة (شكل ٢ — ٥ ، أ) ، وهذا المجال يحدد حالة الاجهادات الاحادية المحور ، المستقيمة .

واذا عملنا ثقبا فى عينة مسطحة ، أو ثلمنا جوانبها (شكل ٢ — ٥ ب ، حـ ، ء ، ه) ، فسوف تنحرف خطوط القوة ، وتمر حول الحدود الجديدة للجوانب .

ان تركز خطوط القوة ، يميز زيادة الاجهادات ، أما انحراف هذه الخطوط عن طريقها المستقيم ، فيدل على وجود اجهادات توتر فى اتجاهين ، وتحرف الخطوط عن طريقها (شكل ٢ — ٥ ، د) . وهنا تتكون لدينا حالة الاجهاد الثنائى المحور ، التى تظهر نتيجة لتغير الحدود الانشائية للجوانب ، لا غير . وكما هو معلوم من موضوع مقاومة المواد ، فانه فى حالة الاجهاد الثنائى المحور ، يكون اجهاد القص الأقصى ، مساويا لنصف الفرق بين الاجهادات الرئيسية :

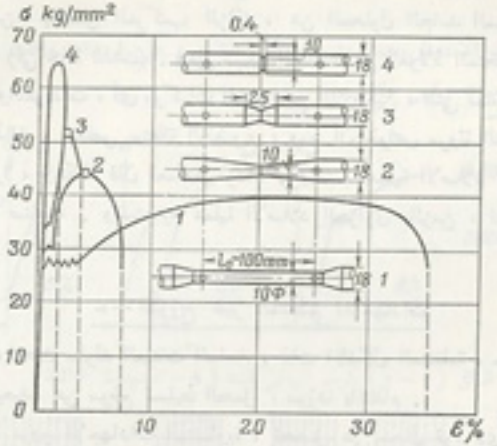
$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$$

واذا كان الفرق بين الاجهادين الرئيسيين أقل من الصفر أو مساويا له (عند $\sigma_2 = \sigma_1$)، فسوف يكون اجهاد القص أقل من الصفر أو مساويا له .

ان خضوع المادة ، يعتبر الى درجة كبيرة ، نتيجة حتمية ، للازاحات التى تحدث تحت تأثير اجهادات القص ، ولهذا السبب عندما تكون قيم τ صغيرة ، وقيم σ_1 ، σ_2 كبيرة ، نجد بأن نقطة خضوع المادة تزداد بحدة . أما عندما تكون τ مساوية للصفر ، فان نقطة الخضوع تختفى تماما ، ويتم الانهيار عن طريق التمزق أو الانفصام فى حدود الانفعالات المرنة ، أى على هيئة كسر بطريقة قصيفة . وهكذا فكلما زادت حدة الثلم ، قلت الدونة (الاستطالة) بحدة ، وزادت المقاومة القصوى (شكل ٢ — ٦) .

ويحدث نفس الشئ عند شد عينة مسطحة بقوتين متساويتين ، فى اتجاهين مختلفين (قطعة من قطع الغلاية ، أو مستودع الغاز ، أو قطعة فى داخل الكفاف المقفل لدرزة اللحام ، مشدودة نتيجة لانكماش درزة اللحام عندما تبرد) .

وعند حساب وتصميم القطع الانشائية ، لا تحدر الاجهادات الموضعية عادة ، وذلك لأن الأهمية الرئيسية تعطى الى المقاومة القصوى للمادة ككل، وهى المقاومة المحددة بمتوسط الاجهادات الموزعة بانتظام . ولكن عند تصميم الأجزاء ، وخاصة فى القطع الانشائية الملحومة ، يجب أخذ



شكل (٢ — ٦) رسم بيانى يوضح سلوك العينات المتلوة

الاجهادات الموضعية فى الاعتبار . ويمكن اغفال الاجهادات الموضعية ، التى تنتسب الى طبقة الاجهادات الرئيسية ، فى حالة استخدام الفولاذ اللدن (plastic steel) فقط ، حيث يؤمن تعادل الاجهادات .

د — تأثير درجة الحرارة

ان الخواص الميكانيكية للفولاذ المنخفض الكربون ، عند تسخينه الى درجة حرارة تتراوح بين ٢٠٠ — ٢٥٠° مئوية ، تتغير قليلا نسبيا ، أما عند تسخينه الى درجه حرارة تتراوح بين ٣٠٠ — ٣٢٠° مئوية ، فانه يكتسب فى موضع الكسر ، بنية خشنة الحبيبات ، ويصبح أكثر قصافة (القصافة الزرقاء) . وعند درجة الحرارة هذه ، لا ينصح بتغيير شكل الفولاذ أو تعريضه للطرق . وعند ارتفاع درجة الحرارة الى أكثر من ذلك ، تزول هذه الخاصية ، ولكن تهبط نقطة الخضوع والمقاومة القصوى ، تبدأ بالتناقص السريع . مثلا ، بالنسبة للفولاذ — ٣ ، عند درجة حرارة قدرها ٥٠٠ مئوية تقريبا ، يكون لدينا :

$$\sigma_y = ١٤٠٠ \text{ كجم/سم}^2 ؛$$
$$\sigma_u = ٢٥٠٠ \text{ كجم/سم}^2 ،$$

وعند درجة حرارة قدرها ٦٠٠° مئوية تقريبا ، يكون لدينا :

$$\sigma_y = ٤٠٠ \text{ كجم/سم}^2 ؛$$
$$\sigma_u = ١٥٠٠ \text{ كجم/سم}^2 ،$$

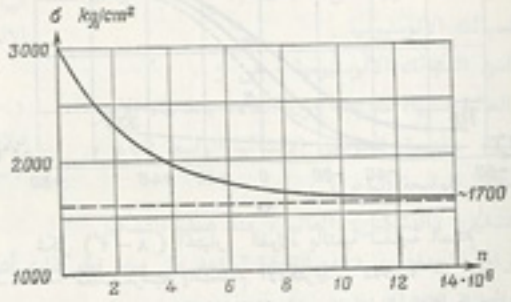
أى أن قيمة نقطة الخضوع تقترب بسرعة من الصفر . وعند درجة حرارة تتراوح تقريبا بين ٦٠٠ — ٦٥٠° مئوية ، تظهر الدونة الحرارية ان التسخين لمدة طويلة ، عند درجة حرارة تزيد على ٧٠٠° مئوية (لون أحمر الكرز) ، يساعد على نمو البلورات وتكوين البنية الخشنة الحبيبات . وتسمى هذه الظاهرة بالتسخين المفرط أو تجاوز حد التسخين وتكون مقترنة بتردى الخواص الميكانيكية للمعدن .

وعند التسخين لمدة طويلة فى الهواء الى درجة حرارة ، قريبة من درجة حرارة الانصهار (اللون الأبيض — الأصفر الساطع) ، يحتمل حدوث احتراق مفرط (overburning) فى المعدن . ويعتبر المعدن المسخن بافراط ، غير صالح للاستخدام ، أى يعتبر معيبا .

ان درجات الحرارة المنخفضة تحت الصفر ، تزيد من مقاومة الفولاذ قليلا ، ولكنها تزيد من قصافته فى نفس الوقت . وعند درجات حرارة تقل عن — ١٠° مئوية تحت الصفر ، تبدأ لدونة الفولاذ بالانخفاض بصورة واضحة ، وعند درجات حرارة تقل عن — ٤٥° مئوية تحت الصفر (للفولاذ — ٣) ، وعن — ٦٠° مئوية تحت الصفر (للفولاذ السيانكى المنخفض الاشابة) ، يصبح الفولاذ قصفا .

ه — كلال المعدن

ان كلال المعدن هو انهياره (تصدعه) تحت تأثير الاحمال المتناوبة العكسية أو الأحمال المتناوبة المكررة (عدة ملايين من المرات) ، عندما تكون قيم الاجهادات أقل من المقاومة القصوى (مثل انقصام السلك عند اعادة ثنيه عدة مرات متكررة) . ان قابلية المعدن لمقاومة مثل هذا الانقصام (الانهيار) ، تسمى بالاطاقة أو الاحتمال ، أما الاجهاد الذى يؤدى الى انقصام او انهيار المعدن ، فيسمى بمقاومة الكلال أو مقاومة الاهتزاز σ_r . ويبين الشكل (٢ — ٧) منحنى مقاومة



شكل (٢ — ٧) منحنى مقاومة (الكلال) الاهتزاز .

الاهتزاز للفولاذ ماركة Cr. 3 عند دورات تحميل متناوبة كاملة ، تبعا لعدد الدورات n . وعند عدد كبير من الدورات ، يقترب منحنى مقاومة الاهتزاز ، من حد معين ، يسمى بحد الاحتمال (endurance limit) أو حد الكلال (fatigue limit) . وتبلغ قيمته حوالى ٠,٤ قيمة نقطة الخضوع ، أى :

$$\sigma_{en} \approx 0.4\,\sigma_u \qquad (2-11)$$

ومن العوامل التى تقلل من مقاومة اهتزاز المادة ، هى وجود الأثلام والتغيرات الحادة فى المقاطع ، وبعض تركزات الاجهادات ، التى تؤدى الى تكوين حالة من الاجهاد الموحد . وكقاعدة ،

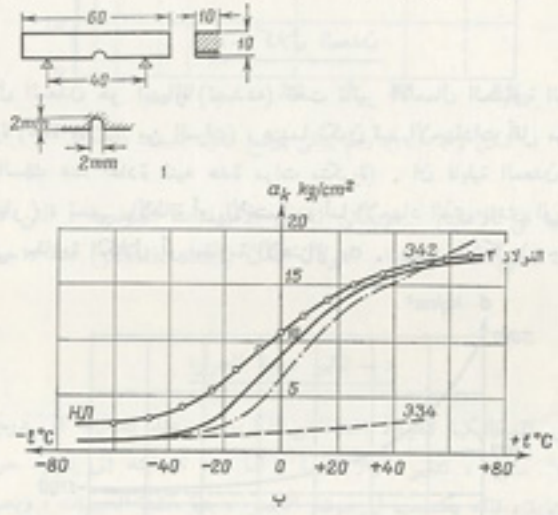
عند انهيار (تصدع) الفولاذ بسبب الكلال ، يحدث الكسر بطريقة قصيفة ، الأمر الذى يسمح لنا ان نفترض بأن الانهيار يبدأ بظهور بعض الصدوع أو الشدوخ الدقيقة .

والمواصفات القياسية للانشاء تلزم المصممين بتخفيض المقاومات التصميمية للقطع الانشائية والوصلات ، المعرضة لتأثير الاحمال المتناوبة أو الاهتزازية بادخال العامل (γ) الذى تقل قيمته عن الواحد (راجع الصيغة 41—2)، وكذلك تعطى أهمية خاصة لضرورة استخدام تصاميم ، لا يمكن أن تؤدى الى حدوث تركزات كبيرة فى الاجهادات .

٩ — اختبار الفولاذ بالنسبة لمقاومة الصدم

نظرا للتأثير الضار الذى تحدثه القصافة فى الفولاذ ، ذلك التأثير الذى يساعد على ظهور الصدوع او الشدوخ ، لابد أن تتوفر امكانية وضع تقدير نسبى ، يمكن بموجبه الحكم على مدى مقاومة الفولاذ ، لعملية التحول الى الحالة القصيفة .

ويمكن اعتبار مقاومة الفولاذ للصدم ، بمثابة ذلك التقدير المطلوب . ان مدى مقاومة الفولاذ للحمل الصدمى ، لا يقاس بالقوة المسببة للانهيار او الاجهاد المسبب للانهيار ، بل



شكل (٢ — ٨) اختبار الفولاذ بالنسبة لمقاومة الصدم

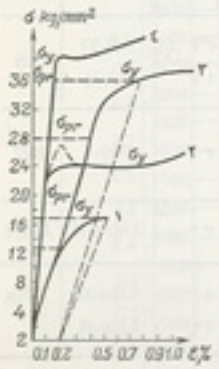
— الفولاذ — ٣ ، —•—•— معدن مرسب باستخدام الالكترودات 342 ، — — — معدن مرسب باستخدام الالكترودات 334 ؛ —o—o— الفولاذ H/I (اى الفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة)

بمقدار الشغل اللازم لجعل العينة تنهار . ان وحدة الشغل ، أى الشغل المبذول لتحقيق الانهيار الصدمى (destruction impact) لعينة قياسية مثلومة (شكل ٢ — ٨ ، أ) ، بالنسبة لمساحة المقطع العرضى (كجم — متر على ١ سم٢) ، تسمى بمقاومة الصدم . وفى الفولاذ اللدن ، تكون المطيلية ، هى الصفة المميزة للطاقة الممتصة من قبل وحدة حجم المادة ، اثناء التشوه المرن . ان مقاومة الصدم هى عبارة عن خاصية نسبية .

ان للفولاذ المنخفض الكربون ، عند درجة الحرارة العادية ، مقاومة صدم يتراوح مقدارها بين ٧ — ١٠ كجم/سم٢ . ويبين الشكل (٢ — ٨ ، ب) ، العلاقة بين مقاومة الصدم ودرجة الحرارة .

البند التاسع — الخواص الميكانيكية الاساسية للسبائك الالومنيومية

ان الخواص الميكانيكية للسبائك الالومنيومية ، لا تعتمد على التركيب الكيميائى فحسب ، بل وتعتمد كذلك على ظروف تشغيلها (تشكيلها) بالمكنات . ان الفرق الاساسى بين سلوك السبائك الالومنيومية وسلوك الفولاذ ، يتلخص فى أن السبائك الالومنيومية اكثر قابلية للتشوه ، أى انها اقل جسؤة . ان معامل مرونة الشد ، فى السبائك الالومنيومية هو $E = ٧١٠٠٠٠$ كجم/سم٢ ، اما معامل مرونة القص فهو $G = ٢٧٠٠٠٠$ كجم/سم٢ ، أى أقل من القيمتين المناظرتين للفولاذ بحوالى ٣ مرات . ولهذا السبب ، عند تساوى الاجهادات ، تكون انحناءآت القطع الالومنيومية ، اكبر من انحناءآت القطع الفولاذية بحوالى ٣ مرات ، وقيمة نسبة « بواسون » هى $\mu = ٠,٣$ للالومنيوم . ولا توجد منطقة خضوع على الرسم البيانى للشد ، الخاص بالسبائك الالومنيومية (شكل ٢ — ٩) . وتؤخذ نقطة الخضوع اصطلاحيا ، بحيث تكون مساوية للاجهاد ، الذى يولد انفعالا متخلفا قدره $\varepsilon = ٠,٢\%$. وعند درجات حرارة تزيد على ١٠٠° مئوية ، يلاحظ بعض الانتقاص فى خواص المقاومة ، وابتداء من ٢٠٠° مئوية تقريبا، يبدأ الزحف . ان معامل التمدد الحرارى للالومنيوم ، يساوى ٠,٠٠٠٠٢٣ ، وهو اكبر من معامل التمدد الحرارى للفولاذ ، بمرتين . وعند درجات الحرارة المنخفضة ، تتحسن جميع الخواص الميكانيكية للسبائك الالومنيومية . ان مقاومة الصدم فى السبائك ، عند درجات الحرارة العادية ، أقل مما هى فى الفولاذ (حوالى ٣ كجم/سم٢) ، وهى لا تنقص تقريبا ، عند درجات الحرارة المنخفضة تحت الصفر . وقد ادرجت فى الجدول (٢ — ٣) الخواص الميكانيكية لبعض السبائك الالومنيومية .



شكل (٢ — ٩) الرسم البيانى للشد ، للسبائك الالومنيومية ، بالمقارنة مع الفولاذ :

١ — سبيكة AMr6 ، ٢ — فولاذ — ٣ ، ٣ — سبيكة Д16—Т ، ٤ — فولاذ 15ХСНД.

ان أهم محاسن السبائك الالومنيومية ، هى :

١) المقاومة العالية نسبيا، مع خفة وزن المادة بالذات، الامر الذى له أهمية كبيرة بالنسبة للحواجز الانشائية الواسعة الباع ، والقطع الانشائية المتنقلة الواسعة الباع ،

٢) قابلية التشغيل (التشكيل) العالية ، عند عملية التشكيل بالكبس او بالدلفنة او بالحدادة ، وهذه القابلية تساعد على صنع قطع ذات أشكال معقدة ،

٣) المقاومة العالية للصدأ ،

٤) المحافظة على الخواص الميكانيكية الجيدة ، عند درجات الحرارة المنخفضة تحت الصفر ،

٥) عدم حدوث الشرر اثناء الطرق .

ان عيوب السبائك الالومنيومية ، هى :

١) قلة معامل المرونة نسبيا ،

٢) زيادة معامل التمدد الحرارى نسبيا ،

٣) الصعوبة النسبية فى انتاج الوصلات ،

٤) قلة المادة المنتجة وأرتفاع اسعارها حتى الوقت الحاضر ،

٥) انخفاض مقاومة الصهر نسبيا .

جدول ٢–٣

الخواص الميكانيكية للسبائك الالومنيوية

ماركة السبيكة	حالة التوريد	المقاومة القصوى (كجم/مم²)	نقطة الخضوع (كجم/مم²)	الاستطالة النسبية (٪)	مقاومة القص القصوى (كجم/مم²)	حد الاطاقة اوالاحتمال (كجم/مم²)	رقم الصلادة البريتيلية (كجم/مم²)	المواصفات القياسية
Д1	Д1-Т	٣٦	٢٢	١٢	–	–	–	GOST 4977—52
Д16	Д16-Т Д16-М	٤٩–٤٠ ٢١	٣٠ ١١	١٠ ١٨	٢٨ ١٣		١٠٥ ٤٢	GOST 4977—52
АВ	АВ-Т1 АВ-М	٣٣ ١٥	٢٨ –	١٠ ٢٠	٢٠ –	٩,٨ ٤,٥	٩٥ ٣٠	АМТУ258-55 АМТУ252-57
В92	В92-Т	٣٦	٢٠	٢٠	–	–	–	АМТУ258-55 АМТУ252-57
АМг6	АМг6-М	٣٢	١٦	١٥	–	–	٧٠	АМТУ443-59
АМц	АМц-М АМц-П	١٣ ١٦	٥ ١٣	٢٠ ١٦		٥,٥ ٦,٥	٣٠ ٤٠	АМТУ252-57

البند العاشر – سلوك المادة عند تعرضها للانضغاط . مسألة الاستقرار

١ – سلوك الفولاذ عند تعرضه للانضغاط

عندما يتعرض الفولاذ للانضغاط ، فى القطع القصيرة ، فانه يسلك نفس السلوك الذى سلكه عند تعرضه ، للشد . وتقيم نقطة الخضوع ومنطقة الخضوع ومعامل المرونة ، تساوى نفس القيم المناظرة ، التى يتم الحصول عليها فى حالة الشد .

ولكن لا يمكن استخدام الانضغاط لتحطيم العينات القصيرة ، المصنوعة من الفولاذ اللدن ، وتعيين المقاومة القصوى للمادة بهذه الطريقة ، وذلك لان العينات المذكورة تتفلطح او تتسطح .

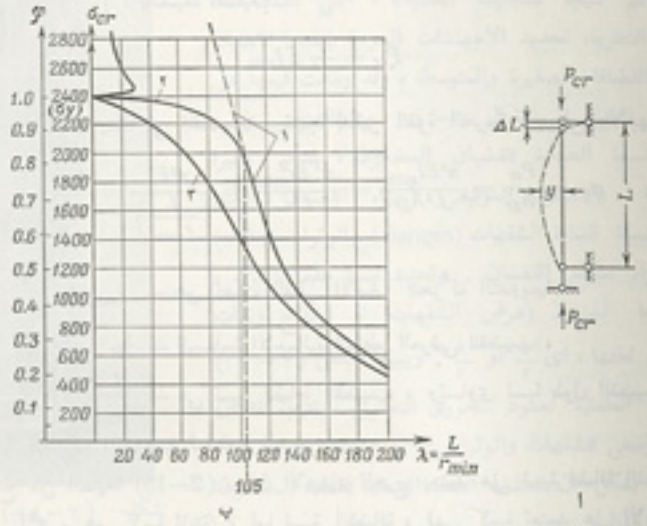
ونحصل على حالة مختلفة تماما ، بالنسبة للقطع الطويلة المنضغطة ، التى يكون طولها اكبر من عرض مقطعها العرضى بعدة مرات (القطع القابله للانثناء او القضيفة). وفى هذه الحالة ، يمكن ان تفقد القطعة سعتها الحملية ، اى تفقد قابلية مقاومة المؤثرات (الاحمال) الخارجية ، ليس نتيجة لانهيار او تصدع المادة، بل نتيجة لفقدان الاستقرار (الانحناء الجانبى او التحدب).

٢ – مسألة الاستقرار

ان لمسألة الاستقرار اهمية كبيرة جدا ، بالنسبة للقطع الانشائية الفولاذية . ان عدم اعطاء هذه المسألة ، الاهمية اللازمة او بخس تقديرها ، يمكن ان يؤدى الى عواقب وخيمة .

اذا سلطنا على قضيب مستقيم ، قوة انضغاط محورية P ، فانه سيبقى فى البداية مستقيما ، وستكون حالة التوازن هذه ، مستقرة . ان حالة التوازن المستقرة لقضيب قابل للانثناء او قصيف ،

تتميز بان القضيب المنضغط ، الذى يحتمل ان ينحنى قليلا بعد ذلك ، لسبب من الاسباب ، يعود الى حالته الابتدائية عند زوال ذلك السبب ، بعد ان يصنع ذبذبات صغيرة متضائلة . ويحدث ذلك لان قوة الضاغطة الخارجية ، لا يمكنها التغلب على مقاومة القضيب لذلك الانحناء البسيط ، الذى يتعرض له عند انحراف محوره ، اى لان الشغل الداخلى المرن للتشوه ، عند انحناء القضيب ، الحاصل نتيجة لانحراف المحور (طاقة وضع الانحناء ΔV) ، اكبر من الشغل الخارجى (ΔW) ، الذى انتجه القوة الضاغطة ، نتيجة لاقتراب طرفى القضيب من بعضهما ، عند الانحناء: $\Delta V > \Delta W$ (شكل ٢ – ١٠ ، أ) . وعند زيادة القوة الضاغطة الى اكثر من ذلك ، يمكن ان تصل الى قيمة ،



ب أ

شكل (٢ – ١٠) تحدب القضبان المحورية الانضغاط :

أ – الحالة الاساسية ، ب – منحنيات الاجهادات الحرجة وعامل تحدب الفولاذ – ٣ ، ١ – منحنى « اويلر »

٢ – منحنى الاجهادات الحرجة مع اخذ سلوك المادة المرن فى الاعتبار ، ٣ – منحنى عامل التحدب ♦

يصبح عندها الشغل الناتج عنها ، مساويا لشغل التشوه عند الانحناء ، الذى يسببه اى عامل اضطراب صغير . وفى هذه الحالة يكون لدينا $\Delta V = \Delta W$ ، وتصل القوة الضاغطة الى قيمتها الحرجة P_{cr} . وهكذا يكون للقضيب المستقيم عند تحميله بالقوة الضاغطة الى الحالة الحرجة ، شكل مستقيم فى حالة التوازن المستقرة . وعند وصول القوة الى القيمة الحرجة ، لا يمكن اعتبار شكله المستقيم فى حالة التوازن ، مستقرا ، ويمكن ان ينحنى او يتحدب القضيب فى المستوى الاقل جسؤة ، ويصبح له فى هذه المرة ، شكل منحن فى حالة التوازن المستقرة .

ان قيمة القوة ، التى يتحول عندها الشكل الابتدائى (الاصلى) المستقر للقضيب ، فى حالة التوازن ، الى شكل غير مستقر ، تسمى بقيمة القوة الحرجة .

وعند وجود انحناء ابتدائى صغير فى القضيب (او لا تمركزية قليلة فى موضع تسليط القوة الضاغطة) ، فانه عند زيادة الحمل ، سينحرف مباشرة عن وضعه المستقيم . ولكن هذا الانحراف (الانحناء) يكون فى البداية قليلا ، ولا يصبح كبيرا الا عندما تقترب القوة الضاغطة من قيمتها الحرجة فقط (التى تختلف عن القيمة الاصلية بما لا يزيد على ١ ٪) ، الامر الذى يعنى التحول (الانتقال)

الى الحالة غير المستقرة . وهكذا نرى بان حالة التوازن غير المستقرة ، تتميز بانه عند زيادة القوة قليلا ، تحدث ازاحات كبيرة . ان زيادة القوة الضاغطة الى اكثر من ذلك ، بحيث تصبح اكبر من قيمتها الحرجة ، يؤدى الى انحرافات (انحنادات) اخرى متزايدة ، ويفقد القضيب سعته الحملية . ويجدر بالذكر هنا ، ان المثبتات الطرفية المختلفة للقضبان ، تصمم بحيث تلائم (تناظر) القيم المختلفة للقوة الحرجة .

ان القوة الحرجة (الحمل الحرج) بالنسبة للقضيب المحورى الانضغاط (شكل ٢ — ١٠ ، أ) ، ذى المثبتات الطرفية المفصلية (الحالة الاساسية) ، قد حددت من قبل العالم الرياضى الكبير ايلر (Euler) فى عام ١٧٤٤ ، بالصيغة التالية :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2}{L^2} EI_{\min} \qquad (2-12)$$

والاجهاد الذى ينشأ فى القضيب ، نتيجة لتأثير القوة الحرجة ، يسمى بالاجهاد الحرج :

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A_{gr}} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{L^2 A_{gr}} = \frac{\pi^2 Er^2_{\min}}{L^2} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L}{r_{\min}}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \qquad (2-13)$$

حيث $r_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A_{gr}}}$ — هو نصف القطر الاصغر للحركة التدويمية ،

A_{gr} — المساحة الاجمالية للمقطع العرضى للقضيب ،

$\frac{L}{r_{\min}} = \lambda$ — هى نسبة قضاة القضيب ، وتساوى نسبة طول القضيب الى نصف القطر الاصغر للحركة التدويمية لمقطعه العرضى .

ويتضح من الصيغة (13—2) ، بان الاجهاد الحرج يعتمد على نسبة قضاة القضيب (وذلك لان المقدار $\pi^2 E$ ، هو كمية ثابتة) ، اما نسبة القضاة ، فهى كمية تعتمد على الابعاد الهندسية للقضيب فقط . وهكذا فان امكانية زيادة الاجهاد الحرج بتغيير نسبة قضاة القضيب (وبصورة اساسية على حساب زيادة نصف قطر الحركة التدويمية للمقطع العرضى) ، هى فى متناول أيدى المصممين ، ويجب عليهم الاستفادة من هذه الامكانية ، استفادة معقولة .

ويتضح من ذلك ، بانه يمكن اعتبار الاجهاد الحرج كذلك ، بمثابة بارامتر يبين مدى فائدة مقطع القطعة الانشائية ، المعين حسب الاختيار ، والمصمم لتحمل القوى الضاغطة (الاحمال الضاغطة) .

ان الرسم البيانى لصيغة ايلر (13—2) ، يكون على هيئة قطع زائد (شكل ٢ — ١٠ ، أ المنحنى ١) .

والاجهادات الحرجة ، المستخرجة بموجب صيغة « ايلر » ، تكون صحيحة عندما يكون معامل المرونة E ثابتا فقط ، اى فى حدود المرونة (والاصح ضمن الحدود التناسبية) ، وهذا لا يحدث الا بوجود نسب قضاة عالية ، ($\lambda > 105$) ، الامر الذى يمكن استنتاجه من المعادلة او الصيغة (13—2) :

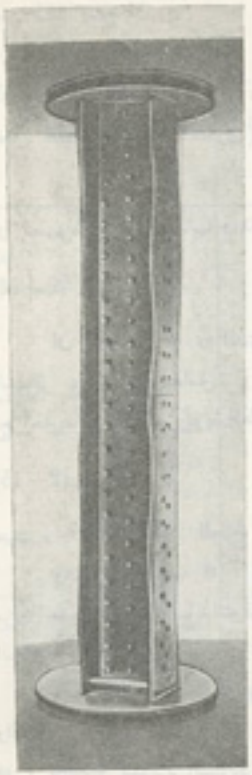
$$\lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{pr}}} = 3.14 \sqrt{\frac{2.100.000}{2000}} = 105$$

حيث $\sigma_{pr} = ٢٠٠٠$ كجم/سم^2 ، هو الحد التناسبى للفولاذ — ٣ .

وتكون الاجهادات الحرجة بالنسبة للقضبان والاعمدة ، ذات نسب القضاة الصغيرة ($\lambda < 30$) ، والمتوسطة ($30 < \lambda < 100$) ، فوق الحد التناسبى ، وبطبيعة الحال تحت نقطة الخضوع . ان التحديد النظرى للاجهادات الحرجة فى مثل هذه القضبان ، هو شئ معقد جدا ، وذلك لان ظاهرة فقدان او انعدام الاستقرار ، تحدث عند التطور الجزئى للتشوهات اللدنة ، مع وجود معامل مرونة متغير .

وقد تم نتيجة للتجارب العديدة ، التى اثبتت صحة الاستنتاجات النظرية، تحديد الاجهادات الحرجة بالنسبة للقضبان ذات نسب القضاة الصغيرة والمتوسطة ، وقد وضعت قيمها على هيئة المنحنى المبين فى الشكل ٢ — ١٠ ، ب (المنحنى ٢) .

ان السعة الحملية للقضبان المضغوطة ، تتأثر تأثيرا ملحوظا ايضا ، بالاستقرار الموضعى لاجزاء القضبان ، الذى يعتمد على نسبة قضاة الشفهات (flanges) والوترات (webs) او بقية اجزاء مقاطع القضبان . وتحدد نسبة هذه الاجزاء ، بنسبة ابعادها المميزة (عرض الشفهات او ارتفاع وترات المقطع) ، الى ثخنها ، اى $\frac{b}{t}$ او $\frac{h}{t}$. ويبين الشكل (٢ — ١١) فقدان السعة الحملية لعمود محورى التحميل ، نتيجة لفقدان الاستقرار الموضعى للشفهات والوترات * .



شكل (٢ — ١١) اختبار الانضغط لاحد نماذج الاعمدة، فقدان الاستقرار الموضعى للشفهات والوترات

وهكذا يمكن ان تستنفذ السعة الحملية للقطعة المضغوطة نتيجة للسببين التاليين :

١) نتيجة لوصول الاجهاد فى القطعة الانشائية ، الى نقطة الخضوع (فقدان المقاومة) ،

٢) نتيجة لوصول الاجهاد فى القطعة الانشائية ، الى القيمة الحرجة (فقدان الاستقرار) .

ولا يجب الخلط بين هذين السببين ، المختلفين تماما من حيث طبيعتهما .

ان الحالات الحدية للقضبان المضغوطة ، بالنسبة للمقاومة والاستقرار ، تتعين من الشرط الذى يقضى بان الاجهادات فى القطعة الانشائية ، يجب تكون كما يلى :

$$1)\ \sigma \leqslant \sigma_y$$
$$2)\ \sigma \leqslant \sigma_{cr}$$

حيث σ — الاجهادات فى القطعة الانشائية ، الناتجة عن احمال التصميم .

واذا رمزنا الى النسبة بين الاجهادين الحديين او النهائيين ، بالرمز (المعامل) التالى :

$$\varphi = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y}$$

* سوف نأتى على بحث فقدان الاستقرار الموضعى لاجزاء المقاطع ، الناجم عن تأثير الاجهادات المتعامدة او اجهادات القص ، وذلك فى البندين ٢٩ و ٣٢ .

ومن ذلك ينتج ان :

$$\sigma_{cr} = \varphi \sigma_y$$

فان المراجعة الثانية للاستقرار ، يمكن ان تاخذ الصيغة التالية (مع اعتبار ان المقاومة التصميمية R ، تمثل نقطة الخضوع الصغرى) :

$$\sigma \leqslant \varphi R$$

او لسهولة اجراء الحساب ومقارنة النتائج ، تكتب على هيئة صيغة عملية (working formula) :

$$\sigma = \frac{F}{\varphi A_{gr}} \leqslant R \qquad (2-14)$$

ان المعامل φ ، الذى يقلل قيمة المقاومة التصميمية الى الحد الذى يضمن التوازن المستقر ، يسمى بمعامل او عامل التحدب . وقد حددت المواصفات القياسية قيم العامل φ ، مع أخذ تأثير اللاتمركزية الطارئة ، فى الاعتبار :

$$\varphi = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} \times \frac{\sigma_{cr.e}}{\sigma_{cr}} = \frac{\sigma_{cr.e}}{\sigma_y} \qquad (2-15)$$

حيث $\sigma_{cr.e}$ — الاجهاد الحرج للقضيب ، المضغوط بقوة مسلطة بلاتمركزية طارئة محتملة ، هى e .

وعامل التحدب φ ، يهم المصممين فى حالة واحدة فقط ، وهى عندما تكون قيمته أقل من واحد ، لانه خلاف ذلك نرى بأن $\sigma_{cr} > \sigma_y$ ، وتصبح حالة فقدان السعة الحملية ، بسبب عجز المقاومة ، خطرة .

ولما كان العامل φ يميز الاجهاد الحرج ، اذن يمكن اعتباره دالة لنسبة قضافة القضيب . والمنحنى ٣ فى الشكل (٢ — ١٠ ، ب) ، يبين خواص عامل التحدب φ . ان قيم عامل التحدب φ ، بالنسبة للفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة ، مدرجة فى الجدول ١ من الملحق الثانى فى آخر الكتاب .

ان حساب او تصميم القضبان المصنوعة من السبائك الالومنيومية ، فى حالة الانضغاط ، يشبه حساب او تصميم القضبان الفولاذية . وقيم عامل التحدب φ ، بالنسبة للسبائك الالومنيومية ، مدرجة فى الجدول ٢ من الملحق الثانى .

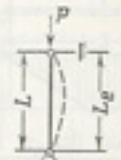
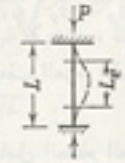
ان قيم الاجهادات الحرجة ، وبالتالى قيم عامل التحدب φ ، تعتمد الى درجة كبيرة جدا ، على طريقة (كيفية) تثبيت أطراف القضبان . وقيم عامل التحدب φ ، المدرجة فى الجداول المذكورة ، محددة بالنسبة للحالة الاساسية لتحدب القضبان ، التى تتصل اطرافها بمفصلات . اما بالنسبة للطرق الاخرى لتثبيت اطراف القضبان، فان شكل منحنى التحدب يتغير ، ولكن يمكن تحويله الى الحالة الاساسية، وذلك بالتعويض عن الطول الحقيقى L ، بالطول الفعال L_e (او الطول المكافئ*). ولهذا الغرض يجب ضرب طول القضيب فى معامل التحويل k . وعندئذ يتم تعيين او تحديد نسبة قضافة القضيب ، مهما كانت طريقة تثبيت طرفيه ، بموجب الصيغة التالية :

$$\lambda = \frac{L_e}{r} = \frac{kL}{r} \qquad (2-16)$$

ان طريقة حساب التحدب هذه ، باستخدام الطول المكافئ* او الفعال ، وضعت من قبل العالم الروسى الاستاذ ياسينسكى (١٨٩٤) ، الذى عكف على دراسة مسائل التحدب ، مدة طويلة من الزمن . وقد ادرجت فى الجدول (٢ — ٤) ، بعض قيم معامل تحويل الطول k .

جدول ٢—٤

الاطوال الفعالة للقضبان المضغوطة

طريقة تثبيت طرفى القضيب	مخطط تصميم طرفى القضيب	معامل تحويل الطول k	الطول الفعال للقضيب $L_e = kL$	ملاحظات
١ — تثبيت كلا طرفى القضيب تثبيتا مفصليا		1	$L_e = L$	يمكن دوران كلا الطرفين ولكن لا يمكن ازاحتهما افقيا
٢ — تثبيت الطرف السفلى تثبيتا مفصليا، وابقاء الطرف العلوى طليقا		2	$L_e = 2L$	يمكن ازاحة الطرف العلوى افقيا ، كما يمكن دورانه ايضا
٣ — تثبيت الطرف السفلى تثبيتا جاسئا ، وتثبيت الطرف العلوى ، تثبيتا مفصليا		0.7	$L_e = 0.7L$	يمكن دوران الطرف العلوى ،ولا يمكن ازاحة كلا الطرفين افقيا
٤ — تثبيت كلا طرفى القضيب تثبيتا جاسئا		0.5	$L_e = 0.5L$	لا يمكن دوران كلا الطرفين او ازاحتهما افقيا

البند الحادى عشر — سلوك المادة عند الانحناء والالتواء

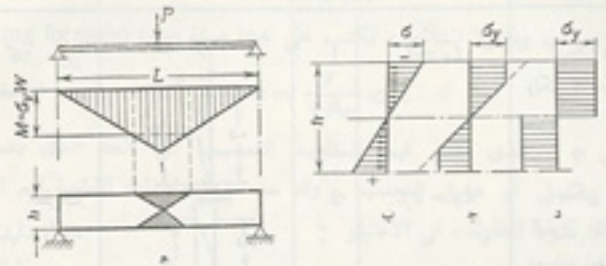
١ — الحالة الحدية للعتبات الفولاذية المعرضة للانحناء عند حساب مقاومتها

عند تعرض العتبة للانحناء (شكل ٢ — ١٢ ، أ) فى حدود المرونة ، تحصل على رسم بيانى مثلث الشكل ، للاجهادات المتعامدة فى مقاطع العتبة (شكل ٢ — ١٢ ، ب) . والقيمة القصوى لهذه الاجهادات ، الموجودة فى الالياف الطرفية ، تحدد بالصيغة التالية :

$$\sigma_x = \pm \frac{M}{W_x} \qquad (2-17)$$

وعند زيادة الحمل ، تصل الالياف الطرفية ، قبل غيرها ، الى نقطة الخضوع ، حيث تتوقف زيادة الاجهادات فيها بعد ذلك (مع استمرار زيادة الانفعالات) . وينتشر خضوع المادة على طول ارتفاع المقطع ، ويبقى فى هذه الحالة ، قلب مرن فى وسط المقطع (شكل ٢ — ١٢ ، حـ) ، ويصبح المقطع فى حالة المرونة والليونة. ان زيادة الحمل ، تجعل جميع الالياف فى المقاطع العرضية ،

المحملة الى اقصى حد ، تصل الى نقطة الخضوع ، وهى الحالة المتميزة برسم بيانى مستطيل الشكل للاجهادات (شكل ٢ — ١٢ ، د) ، وعند محور التعادل ، فى موضع تأثير العزم الاقصى ، يتكون ما يسمى بالمفصلة اللدنة . ان انتشار الخضوع على طول العتبة ، مبين فى المساحة المظللة من الشكل (٢ — ١٢ ، ه) . وتحت تأثير مثل هذا الفعل ، تحدث فى موضع المفصلة اللدنة ، زيادة كبيرة فى الانفعالات ، وترتخى العتبة بزاوية معينة (angle of sagging) ، ولكنها لاتنهار . وعادة ، تفقد



شكل (٢ — ١٢) تتابع تطور الاجهادات عند سلوك العتبة اللدن فى حالة الانحناء

العتبة فى هذه الحالة ، اما استقرارها الكلى ، او الاستقرار الموضعى لبعض اقسامها (سيأتى بحث موضوع فقدان الاستقرار الكلى والموضعى للعتبات المعرضة للانحناء ، فى البند التاسع والعشرين) . ان ظهور المفصلة اللدنة ، يحول العتبة البسيطة الى نظام انشائى قابل للتغيير ويمكن تحديد العزم الاقصى ، المناظر للمفصلة اللدنة بواسطة الصيغة التالية :

$$M_p = \sigma_y \int_A y\, dA = \sigma_y 2S = \sigma_y W_p \qquad (2-18)$$

حيث W_p — معامل المقطع اللدن ، الذى يساوى ضعف العزم الاستاتيكى لنصف مساحة المقطع ، حول المحور المار بمركز الثقل .

ان معامل المقطع اللدن W_p، اكبر قليلا من معامل المقطع العادى W_e (اى اكبر من معامل المقطع المرن) . وهكذا فانه بالنسبة للمقطع المستطيل ، يكون لدينا $W_p = \frac{bh^2}{4}$ ، وبالنسبة للمقاطع المدلفنة $W_p = cW_e$ (ان قيم المعامل c مدرجة فى الجدول ٢ — ه) .

والمواصفات القياسية تسمح بان يؤخذ فى الاعتبار ، تطور الانفعالات اللدنة فى العتبات البسيطة المدلفنة (عتبات على شكل — I وعلى شكل مجرى ب) ، المثبتة الاطراف لمنع فقدان الاستقرار ، والمحملة بحمل استاتيكى . ان قيم معامل المقطع اللدن ، تؤخذ فى هذه الحالة ، مساوية لما يلى : $W_p = 1.2\,W_e$ عند الانحنا" فى مستوى الوترة ، $W_p = 1.12\,W_e$ عند الانحنا" بموازاة الشفهات (ولا تؤخذ القيم $1.5\,W_e$ او $1.8\,W_e$ ، كما مبين فى الجدول ٢ — ه) ، وذلك لغرض تقليل الانفعالات الحافية .

وتسمح المواصفات القياسية بأخذ تطور الانفعالات اللدنة فى الاعتبار ايضا ، بالنسبة للعتبات الملحومة ، الثابتة المقطع ، عندما تكون النسبة بين عرض الجز" المتدلى او الناتئ" (overhang) من الشفة المضغوطة ، وثخن الشفة ، كما يلى : $\frac{b}{t} \leqslant 10$ ، والنسبة بين ارتفاع الوترة وثخنها ، كما يلى : $\frac{h}{t} \leqslant 80$ (للفولاذ — ٣) .

جدول ٢—ه

قيم المعامل c للمقاطع المدلفنة

عند الانحناء فى مستوى :	مقاطع على شكل — I (GOST 8239—56)	مقاطع على شكل مجرى (⟍) (GOST 8240—56)
الوترة	١,١٢	١,١٣
الشفة	١,٥	١,٨

وفى مواضع عزوم الانحناء القصوى ، لا يسمح بوجود اجهادات قص كبيرة ، ويجب ان تكون الاجهادات موافقة للمتباينة التالية : $\tau \leqslant 0.3\,R$.

وعند وجود منطقة واسعة للانحناء البحت، فان معامل المقطع المناظر — لغرض تجنب الانفعالات المفرطة — يؤخذ مساويا لنصف مجموع معاملى المقطع المرن واللدن ، اى $0.5(W_e + W_p)$.

وفى العتبات المتواصلة (continuous beams) ، يعتبر تكون او ظهور المفصلات اللدنة ، بمثابة الحالة الحدية ، ولكن بشرط الحفاظ على نظام ثباتها . وعند حساب وتصميم العتبات المتواصلة (المدلفنة والملحومة) ، التى تنطبق عليها كافة التحذيرات المذكورة اعلاه ، الخاصة بالعتبات البسيطة، تسمح المواصفات القياسية بتحديد عزوم الانحناء التصميمية ، انطلاقا من تعادل او تساوى عزوم المساند وعزوم الابواع (على شرط ان لا يزيد التباين بين الابواع المتجاورة على ٢٠٪) .

وفى هذه الحالة ، تؤخذ قيم العزم التصميمى ، مساوية لما يلى :

أ) فى العتبات المتواصلة ، ذات الاطراف المحمولة بحرية تؤخذ اكبر القيمتين

$$M = \frac{M_{01}}{1 + D/L}$$

او

$$M = \frac{1}{2} M_{02}$$

حيث M_{01}، M_{02} — عزوم الانحناء القصوى فى كل من الابواع الطرفية والمتوسطة على التوالى ، المحسوبة كما فى العتبة البسيطة المحمولة بحرية ،

D — المسافة من المقطع المناظر للعزم M_{01} ، الى المسند الطرفى ،

L — الباع الطرفى .

ب) فى العتبات الوحيدة الباع (البسيطة) والعتبات المتواصلة ، الثابتة الاطراف :

$$M = 0.5\,M_0$$

حيث M_0 — اكبر العزوم ، المحسوبة كما فى العتبة المربوطة بمسندين مفصليين .

وفى جميع الحالات ، التى تحدد فيها العزوم التصميمية طبقا لافتراض تطور الانفعالات اللدنة (تعادل العزوم) ، يجب مراجعة مقاومة العتبة ، بواسطة الصيغة (17—2) ، باستخدام معامل المقطع المرن . وعند حساب وتصميم العتبات المصنوعة من السبائك الالمنيومية ، لا يؤخذ تطور الانفعالات اللدنة فى الاعتبار .

٢ – حساب مقاومة العتبات الفولاذية القابلة للانحناء ، بواسطة الحالة الحدية ، عند تعرض العتبات المذكورة لتأثير العزوم وقوى القص في نفس الوقت

عندما تتعرض العتبة القابلة للانحناء ، لتأثير الاجهادات المتعامدة واجهادات القص ، σ و τ ، في نفس الوقت ، يعبر عن انتقال او تحول العتبة الى الحالة اللدنة ، كما في الفقرة ٣ من البند الثامن ، بواسطة الاجهاد المكافئ ، الذي يحدد العلاقة بين σ و τ في لحظة ظهور الخضوع في النقطة الطرفية للمقطع او في اية نقطة اخرى منه .

ولكن يمكن قبل الوصول الى المفصلة اللدنة ، تحميل العتبة القابلة للانحناء باحمال اضافية اخرى . وعندئذ ، في حالة ظهور اجهادات قص كبيرة ($\tau > 0.4\,R$) ، يبدأ الخضوع بالانتشار في المقطع ، اسرع مما لو اثرت على العتبة ، الاجهادات المتعامدة وحدها . ومن الواضح انه في حالة زيادة اجهاد القص τ ، يجب ان يقل الاجهاد المتعامد σ ، وذلك لان الاجهاد المكافئ لا يجب ان يزيد على المقاومة التصميمية R . ان العلاقة او النسبة بين σ و τ او بين M و Q ، والمناظرين لهما المؤثرين في نفس الوقت ، والذي يتم عند تأثيرهما ظهور المفصلة اللدنة ، هي نسبة غير محددة بالضبط ، بالنسبة لمختلف انواع المقاطع . وفي نفس الوقت ، فان الخط الفاصل بين حالة المرونة واللدونة وحالة اللدونة في مستوى الاحداثيات $\tau - \sigma$ ، يمكن ان يؤخذ على منحنى محدب (او مستوى محدب ، في حالة وجود عدة مركبات لحالة الاجهاد) . ان كل نقطة من هذا الخط او السطح ، تعتبر نقطة ظهور المفصلة اللدنة ، والنقطة القصوى لحالة المرونة واللدونة ، ولذلك فان مماس هذا الخط ، سيقع خارجه . ولسهولة وضع الرموز ، نعبر عن احداثيات الخط (السطح) الفاصل ، للانتقال الى الحالة اللدنة ، بمقادير او قيم غير محددة :

$$s = \frac{M^Q}{M_p} < 1$$

و

$$t = \frac{Q^M}{Q_p} < 1$$

حيث M^Q – العزم الاقصى (الاكبر) عند تكون المفصلة اللدنة ، في حالة تأثير قوة القص Q في نفس الوقت ،

M_p – العزم الاقصى عند تكون المفصلة اللدنة ، في حالة تأثير العزم وحده ،

Q^M – قوة القص الكبرى ، عند تكون المفصلة اللدنة ، في حالة تأثير العزم M في نفس الوقت ،

Q_p – قوة القص الكبرى ، عند تكون المفصلة اللدنة ، مع تأثير قوة القص وحدها .

ومن الواضح ، انه عند التأثير الموحد للعزم M وقوة القص Q ، يتم تكون (ظهور) المفصلة اللدنة ، عند قوى معينة ، اصغر قيما مما هي عليه في حالة تأثير كل من العزم وقوة القص بصورة منفردة.

وبنتيجة الابحاث التي اجراها العالم برودي (Broude) ، اتضح بان معادلة المنحنى الفاصل ، تكون على الشكل التالي :

$$s^2 + t^2 + as^2t^2 = 1 \qquad (2-19)$$

حيث a – معامل تتراوح قيمته بين ($-0{,}8$) و ($-0{,}9$)، بالنسبة للمقاطع التي على شكل – I .

واذا اخذنا $M^Q = \sigma W$ ، واعتبرنا بان قوة القص تؤثر بالدرجة الاساسية في وترة العتبة ، نحصل على المعادلات (الصيغ) التالية ، بالنسبة للعتبات التي مقاطعها على شكل – I :

$$s = \frac{M^Q}{M_p} = \frac{\sigma W}{\sigma_y W_p} = 0.89\,\frac{\sigma}{\sigma_y}$$

$$t = \frac{Q^M}{Q_p} = \frac{\tau_m A_w}{\frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} A_w} = \frac{\tau_m \sqrt{3}}{\sigma_y}$$

وبتعويض هذه القيم في المعادلة (19—2) ، نحصل على ما يلي :

$$\frac{\sigma^2}{\sigma_y^2}(0.89)^2 + \frac{3\tau_m^2}{\sigma_y^2} - a\,\frac{3\tau_m^2\sigma^2(0.89)^2}{\sigma_y^4} = 1$$

ومنها، بعد ان نفرض بان $\sigma_y = R$ ، نستطيع ان نحدد بشئ من التقريب في قيمة احتياطي الامان ، مقدار الاجهاد المكافئ الاقصى في العتبة ، المناظر للعزم الذي تتكون عنده المفصلة اللدنة :

$$\sigma_{h.eq} = \sqrt{\frac{3}{4}\sigma^2 + 3\tau^2\left(1 - \frac{\sigma^2}{R^2}\right)} < R \qquad (2-20)$$

حيث σ – القيمة المطلقة الكبرى للاجهاد الحاقي في وترة العتبة ، في حالة السلوك المرن للمادة ،

$\tau = \frac{Q}{h_w t}$ – متوسط اجهاد القص في وترة العتبة .

ويجب مراجعة الاجهاد المكافئ في وترات العتبات ، بواسطة الصيغة (20—2) ، عندما تكون $\tau > 0.4\,R$.

٣ – سلوك المادة في حالة الالتواء

يمكن ظهور الالتواء في القطع الانشائية المعدنية ، عند تسليط حمل يؤدي الى التواء القطعة الانشائية ، خارج المستوى المار بمحور تماثل المقطع . ان مقاومة التواء بعض الاجزاء المعينة من القطع الانشائية المعدنية ، قليلة جدا ، ولهذا السبب يجب الابتعاد عن الحلول التصميمية ، التي تسمح بوجود الالتواء .

واذا فرضنا بان لدينا عتبة غير متماثلة بالنسبة للمحور الراسي ، ذات مقطع على شكل مجرى (ـــ) ، وقد سلطنا عليها حملا في الاتجاه العمودي على محورها ، وخارج مركزها الى يسار او يمين الوترة ، كما في الشكل (٢ — ١٣ ، أ) ، سنرى بان العتبة ستلتوي الى اليسار او اليمين . وبالتالي فعند انتقال مستوى تأثير الحمل من اليسار الى اليمين ، سنعثر على موضع من المواضع ، لا يكون قد تعرض الا للانحناء فقط (بدون التواء) . ان مستوى تأثير القوة هذا ، العمودي على محور العتبة ، يقطع محور التماثل ، بمقاطع متشابهة بالنسبة لمحورها الافقي ، في نقطة تسمى بمركز الانحناء (شكل ٢ — ١٣ ، ب) .

والاجهادات والانفعالات عند تعرض القطعة الانشائية للالتواء ، تعتمد – خلافا لحالة الشد – على شكل المقطع العرضي للقطعة . ومن المعروف انه في الجسم الصلب ، المعرض لتأثير عزم الالتواء ، تتطور اجهادات القص فقط ، الموزعة على مساحة المقطع ، بموجب الرسم البياني المثلث (شكل ٢ — ١٣ ، حـ). وفي هذه الحالة ، نجد بان هناك مقطعين عرضيين ، عندما يستدير كل منهما

نحو الاخر ، يبقيان مستويين وعموديين على المحور . وهنا سوف تكون اجهادات القص القصوى ، مساوية لما يلى :

$$\tau_{max} = \frac{M_t}{W_p} = \frac{M_t r}{I}$$

حيث M_t – عزم الالتواء ،

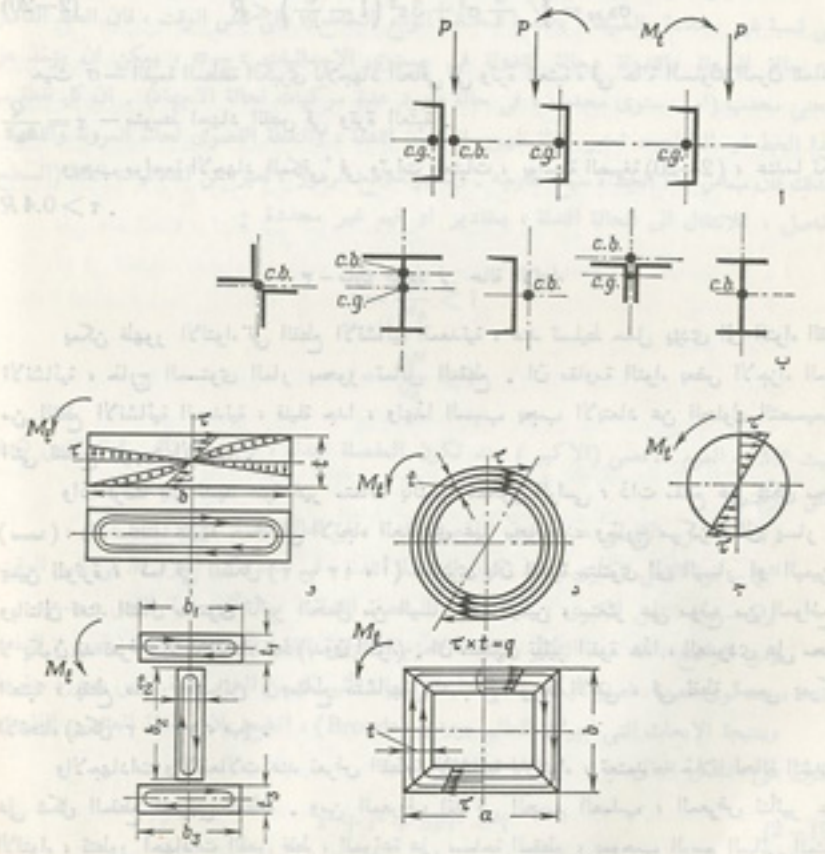
$W_p \approx 0.2\, d^3$ – معامل المقطع القطبى ،

$I \approx 0.1\, d^4$ – عزم القصور القطبى ،

r – نصف قطر القضيب المدور ،

d – قطر القضيب المدور .

وفى الانبوب او الماسورة ، يمكن تقريبا اعتبار اجهادات القص ، موزعة بانتظام (شكل ٢ – ١٣ ، د) . وفى الانابيب او المواسير الرقيقة الجدران ، التى تكون فيها النسبة بين القطر وثخن الجدار هى $\frac{d}{t} > 5$ ، يمكن – بخطأ يقل عن ٥٪ – ان تؤخذ القيم التالية : $W = 2\pi r^2 t$ و $I = 2\pi r^3 t$ ، حيث t ثخن الانبوب او الماسورة .



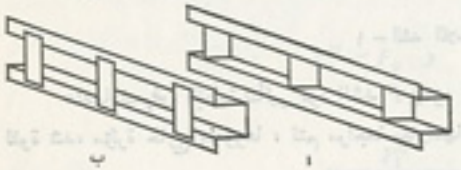
شكل (٢ – ١٣) التواء المقاطع العرضية .

وفى الشريط المعدنى المستطيل ، ذى المقطع الصلب او المصمت (شكل ٢ – ١٣ ، و) ، عندما تكون النسبة $\frac{b}{t}$ اكبر من ٨ الى ١٠ ، اى $\frac{b}{t} > 8-10$ ، فان اجهادات القص فى حالة الالتواء ، لا تتوزع بانتظام ، وتكون لها اقصى قيمة فى الحافات ، عند منتصف الضلع الطويل للمقطع ، وتصل هذه القيمة القصوى الى :

$$\tau_{max} = \frac{M_t t}{I_t} \qquad (2-21)$$

حيث $I_t = \frac{bt^3}{3}$ هو عزم قصور المقطع عند الالتواء . وفى هذه الحالة ، بعد حدوث الالتواء ، لا تبقى المقاطع العرضية مستوية .

وفى المقاطع الصندوقية المستطيلة ، المؤلفة من الواح (صفائح) ، تكون اجهادات القص ، كما هى الحال فى المقاطع المدورة ، موزعة على امتداد المحيط ، توزيعا منتظما بحسب ثخن اللوح ، ويكون مركزها واقعا فى منتصف المحيط وليس فى مركز كل لوح (شكل ٢ – ١٣ ، هـ) . ان مثل هذه المقاطع ذات الكفاف (المحيط) المقفل ، تكون ذات مقاومة للتواء عالية .



شكل (٢-١٤) تقوية المقاطع المفتوحة بوضع حواجز او شرائح معدنية (خوص) مستعرضة .

ولكن ما أن تقطع هذا الكفاف (contour) المقفل ، الا ونجد بان مقاومته للالتواء قد أصبحت مساوية لمقاومة اللوح غير المطوى .

ان الاجهادات فى مثل هذه المقاطع ، تحدد بموجب الصيغة (2–21) ، وتؤخذ عزم القصور عند الالتواء ، مساويا لما يلى :

$$I_t = \alpha \sum \frac{bt^3}{3} \qquad (2-22)$$

وبالنسبة للمقطع شكل – I ، تؤخذ هنا $\alpha = 1.3$ ، وبالنسبة للمجرى (ـــ) ، تؤخذ $\alpha = 1.12$ ، وبالنسبة للزوايا تؤخذ $\alpha = 1$ ، وللعتبات الملحومة ، التى تحتوى على أضلاع تقوية ملحومة مع الشفهات ، تؤخذ $\alpha = 1.5$ ، وللعتبات المبرشمة ، تؤخذ $\alpha = 0.5$.

وهكذا على سبيل المثال ، نرى انه بالنسبة للمقطع – I (شكل ٢ – ١٣ ، ز) ، يكون لدينا :

$$I_t = \alpha \sum \frac{bt^3}{3} = \frac{1.3}{3}\left(b_1 t_1^3 + b_2 t_2^3 + b_3 t_3^3\right)$$

وتؤدى وضع الحواجز المستعرضة (شكل ٢ – ١٤ ، أ) ، وخاصة الشرائح المعدنية (الخوص) المستعرضة (شكل ٢ – ١٤ ، ب) ، التى تسد المقطع المفتوح فى مواضع معينة ، الى مضاعفة مقاومة التواء المادة ، عدة مرات .

وفى المقطع المقفل ، الرقيق الجدران ، تكون وحدة قوة القص ، الناتجة عن تأثير اجهادات القص التى تظهر عند الالتواء ، ثابتة المقدار فى المقطع باجمعه :

$$q_{sh} = \tau t \ \ kg/cm \qquad (2-23)$$

ويتعادل عزم الالتواء الخارجى مع العزم الداخلى ، المساوى لمجموع حواصل ضرب القوى الموزعة على وحدات الطول ΔL ، فى الذراع r ، وذلك على طول المحيط باجمعه :

$$M_t = q_{sh} \sum r \Delta L = q_{sh} A_c \qquad (2-24)$$

حيث $A_t = \sum r\Delta L$ تمثل المساحة المضاعفة لمحيط (كفاف) المقطع .

ومنها ينتج ما يلى :

$$q_{sh} = \frac{M_t}{A_t}$$

و (2—25)

$$\tau = \frac{q_{sh}}{t} = \frac{M_t}{A_t t}$$

وبالنسبة للمقاطع المقفلة ، المستطيلة والمدورة (شكل ٢ — ١٣ ، هـ ، د) ، يكون لدينا تبعا لذلك :

$$\tau = \frac{M_t}{2\,abt}\,kg/cm^2 \quad \text{و} \quad \tau = \frac{M_t}{2\,\pi\,r^2 t}\,kg/cm^2$$

البند الثانى عشر — سلوك المادة عند تعرضها للشد والانضغاط اللامركزين (اللامحورين)

١ — الشد اللامركزى

عندما تتعرض القطعة لتأثير قوة الشد F وعزم الانحناء M ، فى نفس الوقت ، او عندما تتعرض لقوة شد ، مؤثرة خارج محورها ، تتم مراجعة مقاومتها فى مرحلة المرونة ، بموجب الصيغة التالية :

$$\sigma = \frac{F}{A_n} + \frac{M_x}{W_{n.x}} = \frac{F}{A_n}\left(1 + \frac{e_x}{\rho_x}\right) = \sigma_\alpha\,(1 + m_x) \leqslant R \qquad (2-26)$$

حيث A_n — مساحة المقطع الصافية (سم٢) ،

$W_{n.x}$ — معامل المقطع الصافى (سم٣) ،

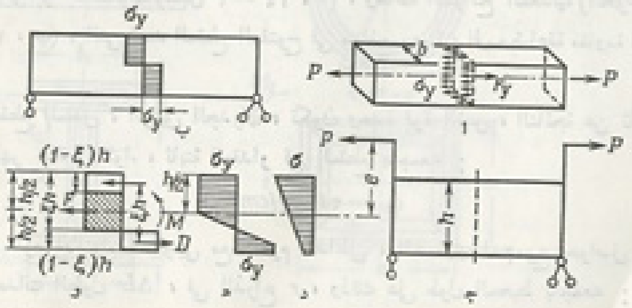
$e_x = \frac{M_x}{F}$ — لا تمركزية تسليط القوة (سم) ،

$\rho_x = \frac{W_x}{A}$ — نصف قطر قلب المقطع (سم) ،

$\sigma_\alpha = \frac{F}{A_n}$ — الاجهاد المحورى الناتج عن القوة الطولية ،

$m_x = \frac{e_x}{\rho_x} = \frac{M_x}{F}\,\frac{A}{W_x}$ — اللاتمركزية النسبية .

وعندما يؤخذ فى الاعتبار ، سلوك المادة فى مرحلة اللدونة (وهو الامر الذى تسمح به المواصفات القياسية ، بالنسبة للاجزاء الملحومة والمدلفنة من القطع الانشائية الفولاذية ، غير المعرضة للتأثير المباشر للاحمال الديناميكية) ، تكون السعة الحملية للقطعة المعدنية اكبر مما هى عليه ،



شكل (٢ — ١٥) الرسوم البيانية النهائية للاجهادات ، فى القطعة اللامركزية الشد

عندما تؤخذ سلوك المادة المرن فقط . ان تحديد الحالة الحدية للقطعة اللامركزية الشد المعرضة لتأثير العزم M والقوة F ، يمكن ان يتم بصورة مماثلة لتحديد الحالة الحدية للعتبة القابلة للانحناء ، الواقعة تحت تأثير العزم M والقوة Q (راجع البند الحادى عشر — الفقرة ٢) . وللقيام بذلك ، يجب تحديد العلاقة بين العزم M والقوة F ، الذى يؤدى وجودهما الى ظهور المفصلة اللدنة ، التى يمكن بواسطتها تحديد الخطوط الفاصلة بين المناطق الثلاث لسلوك المادة فى القطعة الانشائية ، وهى منطقة المرونة ومنطقة المرونة واللدونة ومنطقة اللدونة . واذا رمزنا الى القوة ، التى يتم عندها الوصول الى اجهاد الخضوع فى المقطع ، بالرمز $F_y = A\,\sigma_y$ (عند عدم وجود العزم ، كما مبين فى الشكل ٢ — ١٥ ، أ) ، ورمزنا بالرمز $M_y = W_p\,\sigma_y$ ، الى العزم المناظر لظهور المفصلة اللدنة (عند عدم وجود القوة الطولية ، كما مبين فى الشكل (٢ — ١٥ ، ب) ، فعند التأثير الموحد (الآنى) للقوة F والعزم M ، يتضح بان قيمهما القصوى (النهائية) ، تكون كالآتى :

$$F_1^M < F_y \quad \text{و} \quad M_1^F < M_y$$

اى انه يكون لدينا :

$$\left.\begin{aligned} \nu &= \frac{F_1^M}{F_y} = \frac{F_1^M}{A\,\sigma_y} < 1 \\ \mu &= \frac{M_1^F}{M_y} = \frac{M_1^F}{W_p\,\sigma_y} < 1 \end{aligned}\right\} \qquad (2-27)$$

وعند الزيادة التدريجية للقوة P اللامركزية التأثير (شكل ٢ — ١٥ ، هـ) ، فان الرسوم البيانية للاجهادات ، بعد عبورها المراحل المبينة فى الشكل (٢ — ١٥ ، د ، هـ) سوف تصل الى الرسم البيانى النهائى ، الذى يحتوى على المفصلة اللدنة ، المزاحة عن محور القطعة (شكل ٢ — ١٥ ، و) . وفى هذه الحالة ، يمكن ان نعتبر بان تأثير العزم ينتقل الى القوتين المزدوجتين الداخليتين ، الناتجتين عن الاجهادات الموجودة فى مساحتين متساويتين من منطقة الانضغاط وجزء من منطقة الشد ، فى الرسم البيانى للاجهادات ، اما القوة الطولية ، الممثلة بالجزء الوسطى المتماثل للرسم البيانى للاجهادات ، فتبدو مظللة فى الشكل ٢ — ١٥ ، و .

وهكذا فبالنسبة للمقطع المستطيل (الذى ثخنه b وارتفاعه h) ، يكون لدينا ما يلى :

$$M_1^F = D\,\xi\,h = \sigma_y\,b\,(1-\xi)\,h\,\xi\,h = \sigma_y\,bh^2\,\xi\,(1-\xi)$$

$$F_1^M = \sigma_y\,bh\,(2\,\xi - 1)$$

وكذلك :

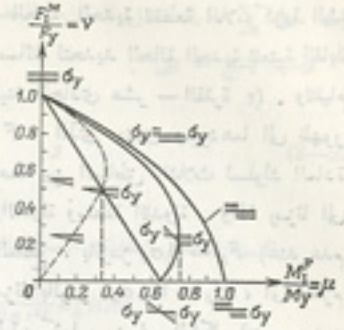
$$\left.\begin{aligned} \nu &= \frac{F_1^M}{A\sigma_y} = 2\,\xi - 1 \\ \mu &= \frac{M_1^F}{W_p\,\sigma_y} = \frac{4\,M_1^F}{bh^2\,\sigma_y} = 4\,\xi\,(1-\xi) \end{aligned}\right\} \qquad (2-28)$$

وهنا يشير المقدار $1 < \xi$ الى المسافة النسبية التى يبعد بها خط التعادل ، عن حافة المقطع . واذا حذفنا المقدار ξ من المعادلة (28 — 2) ، فسوف نحصل على المعادلة المطلوبة للمنحنى الفاصل ،

بقيم غير محددة ، على هيئة قطع مكافئ (شكل ٢ — ١٦) :

$$\left.\begin{array}{l} \nu^2 + \mu = 1 \\ \text{أو} \\ \left(\frac{F_1^M}{F_y}\right) + \frac{M_1^P}{M_y} = 1 \end{array}\right| \qquad (2-29)$$

وبالنسبة للمقاطع التي على شكل — I ، تكون الخطوط الفاصلة (السطوح الفاصلة) قريبة من الخط المستقيم (المستوى) ، ولهذا السبب نجد بان المواصفات القياسية — لضمان احتياطي الامان — تقترح على المصممين ان يقوموا بمراجعة مقاومة القطع الصلبة الوترات ، اللامركزية الشد ، التي لا تكون معرضة للتأثير المباشر للاحمال الديناميه ، وذلك باستخدام الصيغة التالية :

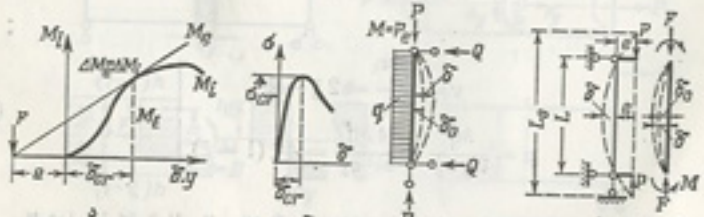


شكل (٢ — ١٦) المنحنيات الفاصلة لمناطق حالات الاجهاد ، عند التأثير المزدوج (الانثي) لعزوم الانحناء M ، والقوى الطولية F

$$\left(\frac{F}{A_n R}\right)^{m} + \frac{M_x}{W_{x,pR}} < 1 \qquad (2-30)$$

٢ — القطع اللامركزية الانضغاط والقطع المضغوطة — المحنية

عندما تسلط على القطعة قوة ضاغطة ، بلامركزية معينة ، تصبح القطعة معرضة للانضغاط اللامركزي . وفي هذه الحالة ، بالاضافة الى الانضغاط ، ينشأ مباشرة انحناء ، وبالتالي انحراف (شكل ٢ — ١٧ ، أ) . وعند التسليط الاني لقوة محورية طولية ، وحمل جانبي يؤدي الى الانحناء ، تصبح القطعة مضغوطة ومحنية في نفس الوقت (شكل ٢ — ١٧ ، ب) . ان سلوك القطعتين ، من النوعين المذكورين ، يختلف بعض الشيء في الحالتين ، وبصورة رئيسية فيما يخص الحالة الحدية ، عندما تكون نسب القضافة منخفضة . ومع ذلك (لضمان احتياطي الامان) ، فعند بحث الحالات الحرجة ، تعتبر القطع المضغوطة — المحنية ، معادلة للقطع اللامركزية الانضغاط ، مع لامركزية قدرها $e = \frac{M}{F}$. ان الانضغاط اللامركزي ، بغض النظر عن وجود الانحراف ، وبعد بداية تسليط الحمل على القطعة ، يعود الى مسألة الاستقرار ايضا ، وليس الى مسألة المقاومة فقط ، والاكثر من



شكل (٢ — ١٧) سلوك القطعة اللامركزية الانضغاط

ذلك ، يمكن القول بان الانضغاط المركزي (المحوري) ، هو في الحقيقة حالة خاصة من حالات الانضغاط اللامركزي ، مصحوبة بلامركزية طارئة قليلة . وبالفعل فان السعة الحملية لاية قطعة كانت (مع العلم بان فقدان الاستقرار يقترن بفقدان السعة الحملية) ، تتميز بوجود قيمة واحدة فقط من قيم الانفعال ، مناظرة لكل قيمة من قيم الحمل المسلط على القطعة . وفي حالتنا هذه ، كلما ازدادت القوة P (شكل ٢ — ١٧ ، أ) ازداد معها العزم الخارجي ايضا ، تبعا لزيادة الانحراف ، اي $M_e = P(e+\delta)$. وفي اللحظة التي يكون فيها الاجهاد في الليف الطرفي للقطعة المحنية ، في جانب واحد من المقطع ، قد تجاوز نقطة الخضوع ، فانه تبعا لشرط التوازن ، عند ازدياد العزم (والانحراف) في الاجسام المرنة — اللدنة، يجب ان تقل القوة المتعامدة (راجع الصيغة 29—2)، اي ان قيمة القوة في دالة الانحراف ، تمر بقيمتها القصوى وتبدأ بالتناقص .

ان منحنى الاجهاد والانحراف ، المبين في الشكل (٢ — ١٧ ، ح) يحتوي على الخط الصاعد للتوازن المستقر ، حتى الوصول الى القيمة الحرجة (الاجهاد الحرج) ، وبعد ذلك تبدأ الانفعالات بالازدياد ، بدون زيادة الحمل . ويمكن بعد ذلك الحفاظ على حالة التوازن ، وذلك بتقليل الحمل فقط ، وهذا ما يميز فقدان التوازن المستقر :

$$\frac{d\sigma}{d\delta} = 0$$

وعند فقدان الاستقرار يختل التوازن بين عوامل القوى الخارجية ، وبين تلك القوى الداخلية ، التي تتطور في داخل مقطع القطعة ، عند وجود احتمال معين لتقوس (انحناء) القطعة .

وبشكل عام عندما تكون نسب قضافة القطعة ، صغيرة او متوسطة ، تظهر حالة التوازن الحدية ، عند السلوك المرن واللدن لمادة القطعة . ان الشرط الاساسي للحالة الحرجة ، الذي تستنفذ عنده السعة الحملية للقطعة اللامركزية الانضغاط ، اي يتم الوصول الى التوازن النهائي ، سيكون ممثلا بمعادلة تزايد العزم الخارجي ΔM_e ، والعزم الداخلي ΔM_i :

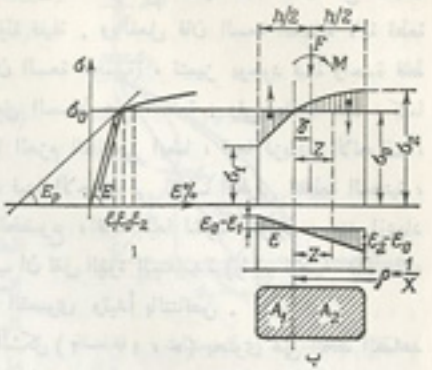
$$\Delta M_e = \Delta M_i$$

ويساعد شرط الحالة الحرجة المذكور ، على تحديد القوى الحرجة بطريقة بيانية تحليلية ، وذلك برسم منحنى العزم الداخلي M_i والانحراف δ ، ورسم الخط المستقيم $M_e = F(e+\delta)$ ، وهنا توضع قيمة اللامركزية e ، الى يسار نقطة تقاطع محاور الاحداثيات (شكل ٢ — ١٧ ، د) . ويبدو في هذا الشكل ، منحنى العزم الداخلي M_i ، والانحراف δ ، عند احدى قيم الانفعال المعينة ، وهي σ_0 . ويمكن اعتبار هذا المنحنى ، بمثابة الخاصية المميزة للمقطع ، وهو لا يعتمد على الحمل الخارجي ، لانه يحدد بالعوامل التالية فقط ، وهي شكل المقطع وعزم القصور ونسبة القضافة وغيرها من الخواص الهندسية الاخرى ، المرتبطة بانحناء القطعة المحتمل او بانحرافها . وفي هذه الحالة ، يكون منحنى العزم الداخلي M_i ، في منطقة السلوك المرن ، مقعرا (ازدياد الانحراف ببطء) ، اما في منطقة السلوك اللدن ، فيكون المنحنى محدبا ، وله قيمة قصوى ، مناظرة لظهور المفصلة اللدنة .

ويرسم منحنى العزم الداخلي M_i ، بالاستعانة بعدد من الافتراضات ، التي تسهل عملية رسمه . وتكمن الصعوبات في تحديد موضع خط التعادل في مقطع القطعة ، في مرحلة سلوكها المرن واللدن ، الذي يعتمد على الرسم البياني للشد ، الخاص بالمادة ، وبالتالي على قيمة معامل المرونة في حالة

الشد او الانضغاط ، وعلى شكل المحور المنحنى للقطعة ، وكذلك على شكل مقطعها العرضي .

ويمكن بواسطة الرسم البياني للشد ، ان نجد لكل قيمة معطاة من قيم الاجهاد المتوسط $\sigma_0 = \frac{F}{A}$ ، قيما وراء الحد التناسبي ، معامل الانفعالات المدنة E_p ، وذلك برسم مماس النقطة $(\sigma_0, \varepsilon_0)$ ، (شكل ٢ — ١٨ ، أ) . وبناء على فرضية المقاطع المستوية ، فان الانفعالات الطولية ε_2 و ε_1 ، تتناسب طرديا مع المسافة z من خط التعادل ، ومعامل التناسب في هذه الحالة ، يكون عبارة عن الانحناء النسبي χ ، الذي يرتبط مع الانحراف y بمعادلة تفاضلية :



شكل (٢ — ١٨) توزيع الاجهادات في حالة فقدان الاستقرار في القطعة اللامركزية الانضغاط

$$\varepsilon = \chi z$$

$$\chi = \frac{1}{\rho} = y'' = \frac{Py}{EI}$$

وعند تحديد انحناء (تقوس) القطعة وشكل مقطعها ، يمكن ايجاد الاجهادات σ_1 و σ_2 (شكل ٢ — ١٨ ، ب) ، ومن معادلة الرسم البياني للاجهادات في حالة الانحناء $\left(\int_{A_1} \sigma_1 dA = \int_{A_2} \sigma^2 dA\right)$ ، يمكن ايجاد المسافة الى خط التعادل ، وهي المسافة z . وعندئذ يمكن ايجاد العزم الداخلي ، الناتج عن الانحناء الذي ينشأ عند التقوس ، وذلك بواسطة الصيغة التالية :

$$M_i = \int_{A_1} \sigma_1 z\, dA + \int_{A_2} \sigma_2 z\, dA = E \int_{A_1} \varepsilon_1 z\, dA + \int_{A_2} E_p \varepsilon_2 z\, dA$$

ويكون هذا العزم الداخلي ، بمثابة الخاصية المميزة للمقطع . والان نضع قيمة لاتمركزية القوة F ، على المحور السيني (χ — axis) ، الى يسار المحور الاحداثي (شكل ٢ — ١٧ ، د) ، ونرسم الخط المستقيم المماس لمنحنى العزم الدخلي M_i . ان هذا الخط المستقيم ، يحدد العزم الخارجي $M_e = F(e + \delta)$. وفي نقطة التماس ، سوف يتحقق الشرط $\Delta M_e = \Delta M_i$ ، وبذلك تتحد قيم كل من M_{cr} و δ_{cr} ، المتناظرة للعزم الخارجي المطابق M_i ، وبالتالي يمكن ايجاد القوة الحرجة ايضا ، التي تساوي ما يلي :

$$F_{cr} = \frac{M_{i\,cr}}{e + \delta_{cr}} \qquad (2—33)$$

او نجد طبقا لذلك ، الاجهاد الحرج :

$$\sigma_{cr} = \frac{F_{cr}}{A} \qquad (2—34)$$

ويتضح من ذلك بان الاجهادات الحرجة للقطعة اللامركزية الانضغاط ، أقل من الاجهادات الحرجة للقطعة المحورية الانضغاط .

وفي الواقع ، اذا قمنا بمد منحنى الخط المرن للقطعة (شكل ٢ — ١٧ ، أ) ، الى المحور الذي يصل بين القوى الطولية ، فسوف نحصل على قطعة تخيلية محورية الانضغاط ، يكون طولها ونسبة قضانتها ، اكبر مما هما عليه في القطعة اللامركزية (اللامحورية) الانضغاط ، وهكذا يكون لدينا $\sigma_{cr.cr} < \sigma_{o.cr}$.

ويتضح من الشكل (٢ — ١٧ ، د) ، بان نقطة تماس الخط المستقيم للعزم الخارجي M_e ، تقع دائما الى يسار النقطة النهائية (القصوى) لمنحنى العزم الداخلي M_i ، الذي يميز المقصلة المدنة . وهكذا ، في الحالة الحرجة للقطعة اللامركزية الانضغاط ، المثبتة مفصليا (المحددة استاتيكية) ، يوجد دائما قلب مرن ، يعمل في الاساس على مقاومة الانحناء . وفي الانظمة (القطع) غير المحددة استاتيكيا ، عند وجود مثبتات طرفية مرنة ، يحتمل ظهور المقصلة المدنة . وفي هذه الحالة ، تتم اعادة توزيع القوى ، او يحدث تغيير في المخطط التصميمي للقطعة الانشائية .

وبهذا الشكل ، نرى بان الاجهاد الحرج للقطعة المركزية (المحورية) الانضغاط ، الذي يعتمد على δ_{cr} ، لا يعتمد على الحمل الخارجي ، كما يتضح من الصيغة (33 — 2) . ويمكن التعبير عنه ، بدالة نسبة قضانة القطعة λ ، واللاتمركزية النسبية ، المرتبطة بالانحنا" ، وذلك كما يلي :

$$m = \frac{e}{\rho}$$

حيث $e = \frac{M}{F}$ — هي اللاتمركزية (سم) ،

$\rho = \frac{N}{A}$ — هو نصف قطر قلب المقطع (سم) .

وتحتوي صيغة الاجهاد الناشئ عن الانضغاط اللامركزي ، كما هي الحال في الشد اللامركزي (راجع الصيغة 26 — 2) ، على لا تمركزية نسبية m (تؤخذ العلاقة الموجبة ايضا ، في حالة الانضغاط) :

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M}{W} = \sigma_0 (1 + m)$$

ويبين الشكل (٢ — ١٩) المنحنيات النظرية للاجهادات الحرجة (في دالة نسبة القضانة λ) للقطع اللامركزية الانضغاط ، ذات المقطع المستطيل ، الذي يسهل امكانية وضع حل عام في صيغة نهائية (حل ياجيك Yezhek) . وقد رسمت هذه المنحنيات ، بحيث تغطي مختلف قيم اللاتمركزية النسبية m . ان المنحنى العلوي ، المبين في الشكل ٢ — ١٩ ، المرسوم عند $m = 0$ ، ينظر الانضغاط المركزي (المحوري) ، ويعيد شكل المنحنى المطابق ، المبين في الشكل (٢ — ١٠) . اما بالنسبة للمقاطع غير المستطيلة ، فقد اخذت المواصفات القياسية تأثير شكل المقطع في الاعتبار ، وذلك بادخال اللاتمركزية المكافئة m_1 ، التي تساوي حاصل ضرب معامل تأثير شكل المقطع η في اللاتمركزية النسبية m ، اي $m_1 = \eta m$. ان المعامل η ، يأخذ في الاعتبار تطور الانفعالات المدنة في القطعة ، عند فقدان الاستقرار . وقيم المعامل η ، مدرجة في الجدول — ٩ من الملحق الثاني في آخر الكتاب . وفي الحالة المبينة في الشكل (٢ — ٢٠ ، أ) ، تكون قيمة المعامل المذكور اكبر من واحد ، اي $\eta < 1$ ، وذلك لان الخضوع يمكن ان ينتشر بسرعة في الشفة المضغوطة ، ويتحول المقطع الى مقطع شكل — I . اما في الحالة التي يكون فيها تأثير تطور الانفعالات المدنة في القطعة ، غير كبير (شكل ٢ — ٢٠ ، ب) ، فيكون المعامل η أقل من واحد ، اي $\eta < 1$.

وفي مثل هذه المقاطع ، نجد بان توغل الدونة من حافات المقطع الى داخله ، يؤدي فقط الى اضعاف المقطع قليلا .

وبنفس الطريقة التي حصلنا بها على عامل التحدب φ (راجع البند العاشر) ، نرمز الى النسبة بين الاجهاد الحرج للقطعة اللامركزية الانضغاط $\sigma_{ec.cr}$ ، ونقطة الخضوع σ_y ، بالرمز التالي :

$$\varphi_{ec} = \frac{\sigma_{ec.cr}}{\sigma_y} \qquad (2-35)$$

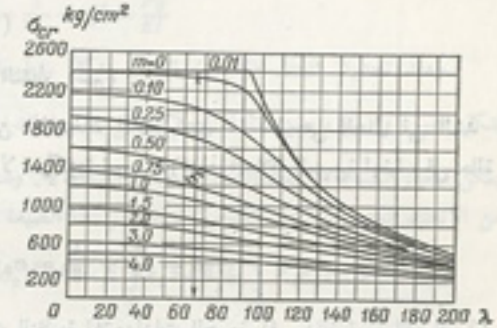
وينتج من ذلك ما يلي : $\sigma_{ec.cr} = \varphi_{ec}\sigma_y$. وعندئذ ، يمكن كتابة صيغة مراجعة استقرار القطعة اللامركزية (اللامحورية) الانضغاط ، كما يلي :

$$\sigma = \frac{F}{A} \leqslant \sigma_{ec.cr} = \varphi_{ec}\sigma_y$$

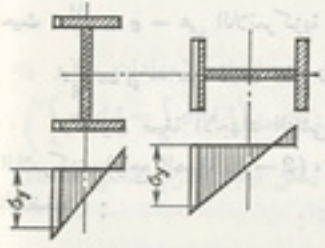
او يمكن ان تكتب على هيئة صيغة عملية (باخذ $\sigma_y = R$) ، كما يلي :

$$\sigma = \frac{F}{\varphi_{ec} A} \leqslant R \qquad (2-36)$$

حيث φ_{ec} – عامل يقلل المقاومة التصميمية للقطعة المعينة ، الى قيمة الاجهاد الحرج للقطعة اللامركزية الانضغاط .



شكل (٢ – ١٩) منحنيات الاجهادات الحرجة للقطعة اللامركزية الانضغاط ، في دالة نسبة القضاة (المادة المرنة – الدقة المثالية)



شكل (٢ – ٢٠) مناطق انتشار الانفعالات الدنة ، و اضعاف المقطع ، في القطعة التي مقطعها على شكل – I :
ا) اللامركزية في مستوى الوثرة ،
ب) اللامركزية عمودية على الوثرة

ان قيم العامل φ_{ec} مدرجة في الجدولين ٧ و ٨ ، من الملحق الثاني ، في دالة نسبة قضاة القطعة λ ، واللامركزية المكافئة :

$$m_1 = \eta m = \eta \frac{e}{\rho} = \eta e \frac{A}{W} \qquad (2-37)$$

حيث $e = \frac{M}{F}$ – لا تمركزية القوة في مستوى الانحناء (سم) ،

M – العزم التصميمي الذي يساوي العزم الاقصى في حدود طول العمود ، بالنسبة لاعمدة النظم الاطارية (الهيكلية) – (frame systems) ، ذات المقطع الثابت ، ويساوي العزم الاقصى

في حدود القسم ذي المقطع الثابت، بالنسبة للاعمدة المدرجة (stepped columns) ، ويساوي العزم في الطرف الثابت (النهاية المثبتة) ، بالنسبة للكوابيل ، ويساوي القيم المعطاة في الجدول ٢ – ٦ ، بالنسبة للقطع ذات الاطراف المثبتة مفصليا (المفصلية التثبيت) ،

F – القوة الطولية في المقطع المبحوث ،

$\rho = \frac{W_{cr}}{A_{cr}}$ – نصف قطر قلب المقطع (سم) ،

W_{cr} – معامل المقطع ، لاكبر الالياف انضغاطا .

جدول ٢–٦

العزوم التصميمية M للقطع ذات الاطراف المثبتة مفصليا

m	$0 \leqslant \lambda < 120$	$\lambda \geqslant 120$
$m \leqslant 3$	$M_2 = M_{max} - \frac{\lambda}{120}(M_{max} - M_1)$	M_1
$3 < m \leqslant 20$	$M_2 + \frac{m-3}{17}(M_{max} - M_1)$	$M_1 + \frac{m-3}{17}(M_{max} - M_1)$

وعادة عند اختيار او انتقاء المقطع ، تعين قيمة ρ سلفا ، من المعادلة التالية :

$$\rho = \frac{W}{A} = \frac{I}{zA} = \frac{r^2}{z} \qquad (2-38)$$

حيث r – نصف قطر الحركة التدويمية للمقطع (والقيم التقريبية لـ r مدرجة في الجدولين ٧ – ٢ و ٨ – ٣) ،

z – المسافة بين محور التعادل وابعد الالياف المضغوطة .

وفي الجدول ٢ – ٦ ، يعتبر العزم M_1 ، اقصى عزم موجود في حدود الثلث المتوسط لطول القطعة ، وفي كافة الحالات ، تؤخذ قيمة M بحيث لا تقل عن $0.5M_{max}$.

وعندما تزيد قيم m_1 على الاربعة، اي $m_1 > 4$ ، يمكن بالاضافة الى الصيغة القياسية (2–36) ، حساب وتصميم القطع اللا مركزية الانضغاط ، باستخدام صيغة (معادلة) ياسينسكي ، ذات الحدين :

$$\sigma = \frac{F}{\varphi A_{cr}} + \frac{M}{W} = \frac{F}{A_{cr}}\left(\frac{1}{\varphi} + \frac{e}{\rho}\right) \leqslant R \qquad (2-39)$$

هذه الصيغة لا تأخذ اعتبارا كاملا لتطور الانفعالات الدنة ، ولا تأخذ اي اعتبار لتأثير شكل المقطع . وفي هذه الصيغة شيء قليل من عدم الدقة ، يتراوح مقداره بين ٥ – ٨ ٪ .

وعندما تكون اللامركزية كبيرة ($m_1 > 20$) ، يصبح تأثير القوة الطولية قليلا ، ولا تكون هناك حاجة لمراجعة استقرار القطعة . وتراجع مقاومة القطعة في حالة الانحناء ، بموجب الصيغة (2 – 17) . وبالاضافة الى مراجعة الاستقرار في مستوى تأثير العزم ، يكون من الضروري دائما ، مراجعة استقرار القطعة اللامركزية الانضغاط ، في المستوى العمودي (الاتجاه العمودي) على مستوى تأثير العزم (راجع الفصل الثامن) .

وبالنسبة للقطع اللامركزية الانضغاط ، المصنوعة من السبائك الالومنيومية ، يحدد عامل التحدب φ_{ec} ، بالاعتماد على اللامركزية المكافئة $m_1 = \eta e \frac{A}{W}$ ، وعلى نسبة القضافة النسبية λ_{red} المحسوبة من الصيغة التالية :

$$\lambda_{red} = \frac{\lambda}{\pi}\sqrt{\frac{R_y}{E}} = l\lambda \qquad (2-40)$$

حيث $\lambda = \frac{l}{r}$ — نسبة قضافة القطعة في مستوى تأثير العزم ،

$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$ — نصف قطر الحركة التدويمية في مستوى تأثير العزم ،

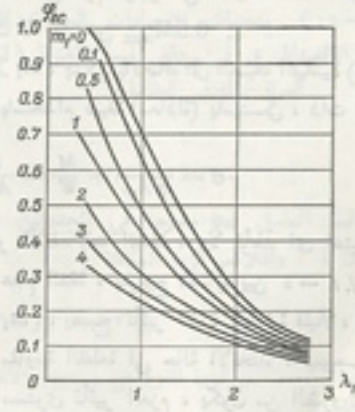
l — عامل تؤخذ قيمته (عند متوسط قيمة E ، التي تساوي ٧١٠٠٠٠ كجم/سم٢) طبقا للجدول (٢ — ٧) .

جدول ٢—٧

قيم العامل l

ماركة السبيكة	l	ماركة السبيكة	l
АМц-М	٠,٠٠٩٣	АВТ1, АМг6l	٠,٠١٧٤
АМг-М, АД-131-Т	٠,٠١٠٨	Д1-Т	٠,٠١٨٢
АВ-Т, АД31-Т1, АМц-П	٠,٠١٣٧	Д16-Т	٠,٠٢١٢
АМг6-М, АМг-П	٠,٠١٥٢	В92 (لوح)	٠,٠١٧
АД33-Т1	٠,٠١٦٦	В92 (مقطع)	٠,٠٢٠٧

ان قيم φ_{ec} ، المعتمدة على m_1 و λ_{red} ، مبينة على الرسم البياني الموضح في الشكل ٢ — ٢١ (للقطع ذات المقاطع المستطيلة) . اما قيم المعامل η ، فتؤخذ طبقا للجدول — ٩ من الملحق الثاني . وعندما تزيد قيمة اللامركزية النسبية على ١٠ ، اي عند $m > 10$ ، تؤخذ قيم العامل φ_{ec} طبقا للجدول ٢ — ٨ ، بغض النظر عن نوع مقطع القطعة .



شكل (٢ — ٢١) منحنيات عوامل التحدب φ_{ec} ، للقطع المصنوعة من السبائك الالومنيومية .

البند الثالث عشر — المقاومات التصميمية والاجهادات المسموح بها

١ — المقاومات التصميمية للقطع الانشائية الفولاذية

ان عملية حساب وتصميم القطع الانشائية الفولاذية، طبقا للمواصفات القياسية للبناء ، كما ذكرنا في الفصل الاول ، تجرى قبل كل شيء بالنسبة للسعة الحملية

جدول ٢—٨

قيم العامل φ_{ec} لكافة انواع مقاطع السبائك الالومنيومية، عند وجود لاتمركزيات كبيرة

m	λ_{red}						
	٠,٤	٠,٨	١,٢	١,٦	٢	٢,٤	٣
١٠	٠,٠٩٤	٠,٠٨٧	٠,٠٨١	٠,٠٧٨	٠,٠٦٨	٠,٠٦١	٠,٠٥٠
١٥	٠,٠٩٣	٠,٠٦٠	٠,٠٥٨	٠,٠٥٦	٠,٠٥١	٠,٤٢	٠,٠٣٩

جدول ٢—٩

المقاومات التصميمية R (كجم/سم٢) للفولاذ المدلفن

حالة الاجهاد	الرمز	ماركة الفولاذ المدلفن					
		فولاذ كربوني		فولاذ سبائكي منخفض الاشابة			
		فولاذ — ٣ فولاذ — ٤	فولاذ — ٥	14Г2, 15ГС		10Г2С 10Г2СД 15ХСНД	10ХСНД
				t = ٢١—٣٢ مم	$t \leq$ ٢٠ مم		
الشد والانضغاط والانحناء	R	٢١٠٠	٢٣٠٠	٢٨٠٠	٢٩٠٠	٢٩٠٠	٣٤٠٠
القص	R_{sh}	١٣٠٠	١٤٠٠	١٧٠٠	١٧٠٠	١٧٠٠	٢٠٠٠
تهصر السطح الجانبي (عند وجود سطوح رقيقة)	$R_{l.e}$	٣٢٠٠	٣٤٠٠	٤٢٠٠	٤٣٠٠	٤٣٠٠	٥١٠٠
تهصر موضعي مع تلامس محكم	$R_{cr.l}$	١٦٠٠	١٧٠٠	٢١٠٠	٢٢٠٠	٢٢٠٠	٢٥٠٠
انضغاط قطري للدلافين، مع وجود تلامس طليق (في القطع الانشائية ذات الحركة المقيدة)	$R_{c.r}$	٨٠	٩٠	١١٠	١١٠	١١٠	١٣٠

ملحوظة : ان قيم المقاومات التصميمية المدرجة في الجدول (٢ — ٩) ، مقررة للانواع التالية من الفولاذ :

أ) للفولاذ المدلفن من النوع العادي ، ويشمل ما يلي : الشرائط (الخوص) ، الزوايا ، المقاطع المدورة والمربعة ، التي يصل ثخنها الشامل (t) الى ١٠٠ مم ، والعتبات التي على شكل — I والمجاري (⌒) ، التي يصل ثخنها الشامل (t) الى ٢٠ مم (في هذه المقاطع يقاس الثخن فوق الوثرة) ، والصفائح الفولاذية ، والالواح والشرائط العريضة التي يصل ثخنها الشامل الى ٤٠ مم ؛

ب) للفولاذ السبائكي المنخفض الاشابة المدلفن (الشرائط ، الزوايا ، المقاطع المدورة والمربعة ، العتبات التي على شكل — I ، المجاري (⌒) ، الصفائح ، الالواح والشرائط العريضة)، بثخن شامل بتراوح بين ٤ — ٣٢ مم .

جدول ٢–١٠

المقاومات التصميمية R (كجم/سم²) لمصبوبات الفولاذ الكربوني

حالة الاجهاد	الرمز	ماركة مصبوبات الفولاذ الكربوني	
		15Л	35Л
الشد والانضغاط والانحناء	R	١٥٠٠	٢١٠٠
القص	R_{sh}	٩٠٠	١٣٠٠
تهصر السطح الجانبي	$R_{cr.s}$	٢٣٠٠	٣٢٠٠
تهصر موضعي مع تلامس محكم	$R_{cr.l}$	١١٠٠	١٦٠٠
انضغاط قطري للدلافين مع وجود تلامس طليق (في القطع الانشائية ذات الحركة المقيدة)	$R_{cr.r}$	٦٠	٨٠

جدول ٢–١١

المقاومات التصميمية R (كجم/سم²) لمصبوبات حديد الزهر الرمادي

حالة الاجهاد	الرمز	ماركة مصبوبات حديد الزهر الرمادي		
		СЧ12-28 СЧ15-32	СЧ18-36 СЧ21-40	СЧ24-44 СЧ28-48
انضغاط مركزي (محوري) مع الانحناء، ان وجد	R_c	١٦٠٠	١٨٠٠	٢١٠٠
الشد مع الانحناء	R_b	٤٥٠	٦٠٠	٨٠٠
القص	R_{sh}	٣٥٠	٤٥٠	٦٠٠
تهصر السطح الجانبي	$R_{cr.s}$	٢٤٠٠	٢٧٠٠	٣٢٠٠

للقطع الانشائية، اى بالنسبة للمقاومة والاستقرار، وفي حالات معينة، تجرى ايضا بالنسبة للاطاقة او الاحتمال.

ويجرى حساب المقاومة والاستقرار، بالنسبة لتأثير (فعل) احمال التصميم (بادخال عوامل الحمل). وفي هذه الحالة، يجب ان لا تزيد الاجهادات التصميمية، على المقاومات التصميمية للمادة.

ان قيم المقاومات التصميمية للفولاذ المدلفن، وكذلك لمصبوبات الفولاذ الكربوني وحديد الزهر الرمادي (للحالات التي لا تحتاج الى ان تأخذ في الاعتبار، عوامل خدمة القطع الانشائية)، المقررة بموجب المواصفات القياسية لتصميم القطع الانشائية (الانشاءات) الفولاذية، مدرجة في الجداول (٢ — ٩) و (٢ — ١٠) و (٢ — ١١).

جدول ٢–١٢

قيم المعاملين a و b

مادة القطعة الانشائية	نوع القطعة الانشائية			
	عوارض وجمالونات الاوناش، وكذلك عتبات ارصفة العمل والقطع الانشائية للاساقيل الحاملة للصوامع واساقيل التفريغ		القطع الانشائية المعرضة لتأثير الاحمال المتناوبة الكلية، المسلطة باستمرار (مثل العتبات الحاملة للمحرك الكهربائي)	
	a	b	a	b
فولاذ كربوني	٠,٧٥	٠,٣٠	٠,٩٠	٠,٣٠
فولاذ سبائكي منخفض الاشابة	٠,٨٠	٠,٣٠	٠,٩٥	٠,٣٠

٢ – أخذ تأثير الاحمال المتناوبة (المتغيرة) في الاعتبار عند حساب اطاقة (احتمال) القطع الانشائية الفولاذية

ان القطع الانشائية الفولاذية، المعرضة مباشرة لتأثير الاحمال المتنقلة المتكررة، في المباني والانشاءات التي تتميز بظروف اشتغال صعبة* (مثل عوارض الوتش في مسابك الفولاذ — steel foundries)، وكذلك القطع الانشائية المعرضة مباشرة لتأثير الاحمال الاهتزازية المنتظمة، يجب ان تحسب وتصمم بالنسبة للاطاقة او الاحتمال.

ان اطاقة القطعة الانشائية، المعرضة لتأثير الاحمال المتناوبة (راجع الفصل الثاني، البند الثامن، الفقرة ٤ — هـ، ط، و)، تعتمد الى حد بعيد على شكل القطعة الانشائية، وعلى التوزيع غير المنتظم لمجال القوة، المرتبط بشكل القطعة. ان هذا التوزيع غير المنتظم لمجال القوة، يؤدي الى تركز الاجهادات، الامر الذي يساعد على تصدع القطعة الانشائية بطريقة قصيفة، وهو شيء خطر بالنسبة لها. وعند حساب اطاقة القطعة الانشائية الفولاذية، تقلل قيم المقاومات التصميمية، وذلك بضربها في المعامل γ، الذي يحدد من الصيغة التالية:

$$\gamma = \frac{1}{(ak_\sigma \pm b) - (ak_\sigma \mp b)\, k_{rs}} \qquad (2-41)$$

حيث b و a — معاملان تستخرج قيمتهما من الجدول (٢ — ١٢)،

k_σ — العامل الفعال لتركز الاجهادات، ويساوي النسبة بين حد الكلال للعينة المستوية الملساء، وحد الكلال للعينة، المعطى تركز اجهاداتها (ان قيم العامل k_σ، مبينة في الجدول ٢ — ١٣).

---

* ان المباني والانشاءات التي تتميز بظروف اشتغال صعبة، تشمل الورشات التي تحتوي على اوناش تشتغل باستمرار (بثلاث ورديات)، وظروف اشتغالها صعبة للغاية، بالاضافة الى الصعوبة البالغة لظروف الاشتغال المستمر، التي يؤدي الى ضرورة تصليح الاوناش وسككها، دون توقف الانتاج. راجع الفصل التاسع للاطلاع على التفاصيل الكاملة.

جدول ٢–١٣

قيم العوامل الفعالة لتركز الاجهادات (k_σ) فى المعدن الاساسى

السطر	المقاطع المصممة	قيم العامل k_σ لكل من : الفولاذ الكربونى	الفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة
١–	المعدن الاساسى ذو الحافات المدلفنة او المقشبة او المشغلة بالمكنات	١,٠	١,٠
٢–	المعدن الاساسى ذو الحافات المقشبة بالقطع بالغاز :		
	أ) مكنيا	١,١	١,٢
	ب) يدويا	١,٤	١,٨
٣–	المعدن الاساسى فى موضع اللحام التناكبى غير المشغل . . .	١,٤	١,٨
٤–	المعدن الاساسى فى موضع اللحام المشغل مكنيا :		
	أ) عند وصل الالواح (الصفائح) المتساوية الثخن والعرض	١,٠	١,٠
	ب) عند وصل الالواح (الصفائح) المختلفة العرض	١,٢	١,٤
	ح) عند وصل الالواح (الصفائح) المختلفة الثخن	١,٣	١,٦
٥–	المعدن الاساسى فى موضع الانتقال الى اللحام الزاوى فى وصلة التراكب ، عندما تكون النسبة بين ضلعى اللحام $\frac{1}{1.5}$	٢,٧	٣,٧
٦–	المعدن الاساسى فى وصلة التراكب ، عند حافات اللحام الزاوى الطول	٣,٤	٤,٤
٧–	المعدن الاساسى بالقرب من الحواجز والاضلاع (الوترات) الملحومة مع الشفهات المشدودة للعتبات واجزاء الجمالونات ، بواسطة اللحام الزاوى :		
	أ) عند اللحام اليدوى (باليد)	١,٦	٢,٢
	ب) عند اللحام النصف اوتوماتى	١,٣	١,٥
٨–	المعدن الاساسى ، فى مواضع الانتقال الى القطع الانشائية التالية :		
	أ) الواح التقوية المستطيلة ، الملحومة مع القطع بواسطة وصلات تناكب او وصلات عل شكل –I ، بدون تشغيل مكنى	٢,٥	٣,٥
	ب) الواح التقوية ذات الاشكال السلسة الانحناء المشغل مكنيا فى موضع لحامها مع القطع ، بوصلات تناكب او وصلات عل شكل –I	١,٢	١,٤
	ح) الواح التقوية الملحومة مع القطع بوصلات تراكب ، مع اللحام بطول المحيط ، بدون تشغيل الوصلات	٢,٥	٣,٥

السطر	المقاطع المصممة	قيم العامل k_σ لكل من : الفولاذ الكربونى	الفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة
٩–	المعدن الاساسى فى المقطع :		
	أ) فى الوصلات ذات البرشام المزدوج القص او المربوطة بمسامير مزدوجة القص	١,٦	١,٩
	ب) مثلما سبق ، ولكن فى حالة استخدام مسامير عالية المقاومة	١,٢	١,٤
	ح) فى الوصلات ذات البرشام المفرد القص ، او المربوطة بمسامير مفردة القص	٢,٠	٢,٤

جدول ٢–١٤

الاجهادات المسموح بها للفولاذ المدلفن

حالة الاجهاد	فولاذ مدلفن ماركة : Cr.2 و Cr.0		Cr.3		HJI	
	الاجهادات المسموح بها (كجم/سم٢) عند تأثير الاحمال التالية :					
	الاحمال الرئيسية	الاحمال الرئيسية والاضافية	الاحمال الرئيسية	الاحمال الرئيسية والاضافية	الاحمال الرئيسية	الاحمال الرئيسية والاضافية
الشد والانفضاط والانحناء	١٤٠٠	١٦٠٠	١٦٠٠	١٨٠٠	٢٢٥٠	٢٦٠٠
القص (عند الانحناء)	٩٠٠	١٠٠٠	١٠٠٠	١١٠٠	١٣٥٠	١٥٥٠
تهصر السطح الجانبى	٢١٠٠	٢٤٠٠	٢٤٠٠	٢٧٠٠	٣٤٠٠	٣٩٠٠
تهصر موضعى مع تلامس محكم . . .	١١٠٠	١٣٠٠	١٣٠٠	١٤٥٠	١٨٠٠	٢٠٥٠
انضغاط قطرى للدلافين مع تلامس طليق	٥٠	٦٠	٦٠	٧٠	٨٥	١٠٠

$\frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = k_{\sigma\sigma}$ — نسبة تراوح دورة الاجهاد ، و σ_{min} و σ_{max} ، تمثلان القيمة المطلقة الصغرى والقيمة المطلقة الكبرى للاجهاد فى القطعة المبحوثة ، وهما القيمتان المستخرجتان (كل قيمة مع علاماتها الخاصة) من احمال التشغيل ، بدون أخذ العامل الديناسى فى الاعتبار ، وكذلك بدون ان تؤخذ فى الاعتبار العوامل المميزة لحالة استقرار القطع (φ و φ_σ و φ) والعوامل $k_{t\sigma}$ ، المدرجة فى الجدول (٢ — ١١) .

وتؤخذ العلامات العليا ، الموجودة فى مقام الصيغة (41 — 2) ، عندما يكون الاجهاد ذو القيمة المطلقة الكبرى ، اجهاد شد ، وتؤخذ العلامات السفلى ، عندما يكون الاجهاد المذكور ، اجهاد انضغاط .

وفى كافة الحالات ، تؤخذ قيمة المعامل γ ، بحيث لا تزيد على الواحد .

وتتم مراجعة استقرار واطاقة القطع الانشائية ، بصورة مستقلة . ويجرى حساب الاطاقة بالنسبة لتأثير احمال التشغيل (بدون أخذ عوامل الحمل فى الاعتبار) . وهكذا تكون الصيغة العملية لمراجعة الاطاقة ، كما يلى :

$$\sigma = \frac{F_s}{A} \leqslant \gamma R \qquad (2-42)$$

او

$$\sigma = \frac{M_s}{W} \leqslant \gamma R \qquad (2-43)$$

حيث F_s و M_s — القوة والعزم ، المعينان من احمال التشغيل (بدون أخذ عوامل الحمل فى الاعتبار) .

وبالنسبة للقطع الانشائية المعرضة لتأثير الاحمال المتناوبة الضاغطة فقط، تؤخذ قيمة المعامل γ مساوية للواحد .

٣ – الاجهادات المسموح بها ، فى القطع الانشائية الفولاذية

عند الحساب او التصميم بطريقة الاجهادات المسموح بها ، كما جاء فى الفصل الاول ، فان الاجهادات فى القطعة الانشائية تحدد طبقا للقوى المحسوبة من احمال التشغيل (بدون أخذ عوامل الحمل فى الاعتبار) . ولا يجب ان تزيد قيم هذه الاجهادات ، على قيم الاجهادات المسموح بها ، المحددة او المقررة . وقد تم فى وقته ، تحديد قيم هذه الاجهادات المسموح بها ، بموجب « المواصفات القياسية والشروط الفنية لتصميم القطع الانشائية الفولاذية » . والجدول ٢ — ١٤ يبين قيم الاجهادات المذكورة .

٤ – المقاومات التصميمية للقطع الانشائية المصنوعة من السبائك الالومنيوية

ان قيم المقاومات التصميمية للقطع المصنوعة من السبائك الالومنيوية ، المحددة بموجب المواصفات القياسية للبناء ، مدرجة فى الجدولين (٢ — ١٥) و (٢ — ١٦) .

ان مقاومات القص التصميمية ومقاومات التهصر التصميمية ، للسبائك الالومنيومية ، تحدد بضرب المقاومات التصميمية الرئيسية فى عوامل التصحيح ، التى تؤخذ من الجدول (٢ — ١٧) .

جدول ٢–١٥

المقاومات التصميمية الرئيسية R (للشد والانضغاط والانحناء) للسبائك غير المصلدة بالمعاملة الحرارية (كجم/سم²)

قيم R لماركات وحالة السبائك					
AMr61-M	AMr6-M	AMr-П	AMr-M	AMu-П	AMu-M
١٨٠٠	١٤٠٠	١٤٠٠	٧٠٠	١٠٠٠	٥٠٠

جدول ٢–١٦

المقاومات التصميمية الرئيسية R (للشد والانضغاط والانحناء) للسبائك المصلدة بالمعاملة الحرارية (كجم/سم²)

انواع المنتجات المدلفنة	قيم R لماركات وحالة السبائك								
	АВ-М	АВ-Т	АВ-Т1	Д1-Т	Д16-Т	АД31-Т	АД31-Т1	АД33-Т1	В92-Т
صفائح يبلغ ثخنها :									
$t \leqslant 5$ مم	٧٠٠	١١٠٠	١٧٠٠	١٦٠٠	*٢٥٠٠	٨٥٠	١٢٠٠	١٦٠٠	١٧٠٠
$t = 5{,}1 - 10$	٧٠٠	١٠٠٠	١٧٠٠	١٦٠٠	*٢٥٠٠	٨٥٠	١٢٠٠	١٦٠٠	١٧٠٠
ألواح يبلغ ثخنها :									
$t = 10{,}1 - 25$ مم	٧٠٠	١٠٠٠	١٧٠٠	١٨٠٠	*٢٤٠٠	—	—	—	—
$t = 26 - 40$	٧٠٠	٩٠٠	١٦٠٠	١٨٠٠	*٢٤٠٠	—	—	—	—
مقاطع يبلغ ثخنها :									
$t \leqslant 10$ مم	٧٠٠	١٠٠٠	١٧٠٠	**١٨٥٠	**٢٥٠٠	٨٥٠	١٢٠٠	١٦٠٠	٢٥٠٠
$t = 10{,}1 - 20$	٧٠٠	١٠٠٠	١٧٠٠	**١٩٥٠	**٢٥٠٠	٨٥٠	١٢٠٠	١٦٠٠	٢٥٠٠
$t = 20{,}1 - 40$	٧٠٠	١٠٠٠	١٧٠٠	**٢١٠٠	**٢٧٠٠	—	—	—	—
$t < 40$	٧٠٠	١٠٠٠	١٧٠٠	**٢١٠٠	**٢٩٠٠	—	—	—	—
قضبان يبلغ قطرها :									
$d \leqslant 22$ مم	—	—	١٧٠٠	١٨٥٠	٢٢٠٠	٨٥٠	١٢٠٠	١٦٠٠	—
$d > 22$	—	—	١٧٠٠	١٨٥٠	٢٣٠٠	—	—	—	—
مواسير يبلغ قطرها :									
$d \leqslant 120$ مم	٧٠٠	١١٥٠	١٧٥٠	١٧٠٠	٢٢٠٠	٨٥٠	١٢٠٠	١٦٠٠	***٢٥٠٠
$d > 120$	٧٠٠	١١٥٠	١٧٥٠	١٨٥٠	٢٣٠٠	—	—	—	—

* ان الالواح والصفائح غير مطلية هنا . وبالنسبة للصفائح والالواح تخفض المقاومات التصميمية بمقدار ٥٪ .

** الخواص الميكانيكية فى الاتجاه العرضى .

*** مواسير مضغوطة (مشكلة بالكبس) .

جدول ٢–١٧

عوامل التصحيح لحالات الانتقال من المقاومات التصميمية الرئيسية R، الى المقاومات التصميمية للقص والتهصر ، فى السبائك الالومنيومية .

حالة الاجهاد	عامل التصحيح
القص	٠,٦
تهصر السطح الجانبى (مع وجود سطوح وثيقة)	١,٥
تهصر موضعى مع وجود تلامس محكم	٠,٧٥

الفصل الثالث

التصنيف القياسى للمقاطع المدلفنة

يستخدم الفولاذ فى البناء ، على هيئة منتجات (خامات) مدلفنة ، تستورد من مصانع الحديد والفولاذ ، وتكون مقاطعها العرضية مختلفة الاشكال ، طبقا لمتطلبات البناء . وهناك نوعان من الفولاذ المستخدم فى البناء ، وهما فولاذ الالواح (او الالواح الفولاذية) والفولاذ المقطعى (فولاذ مشكل الجانبين وعلى شكل مقاطع) .

ونتيجة للتجارب والخبرات التى دامت سنوات عديدة ، فى حقل استخدام المقاطع المختلفة الاشكال ، تم انتقاء افضل المقاطع الملائمة ، من الناحيتين الانشائية والاقتصادية . وهذه المقاطع صالحة للاستخدام فى مختلف انواع القطع الانشائية (الانشاءات) ، فى ظروف البناء المختلفة . وتضم المقاطع المذكورة ، الزوايا والمقاطع التى على شكل — I ، والمقاطع التى على شكل مجرى — ⊏ . وهذه الاشكال الثلاثة من المقاطع ، بالاضافة الى الصفائح والالواح والمقاطع المدورة ، هى المقاطع الاساسية المستخدمة فى البناء .

وقد طبعت كتالوجات خاصة من قبل مصانع الحديد والفولاذ ، تبين التصنيف القياسى للمقاطع الفولاذية المتوفرة فى الانتاج .

البند الرابع عشر — المقاطع الاساسية واستخدامها

١ — الزوايا

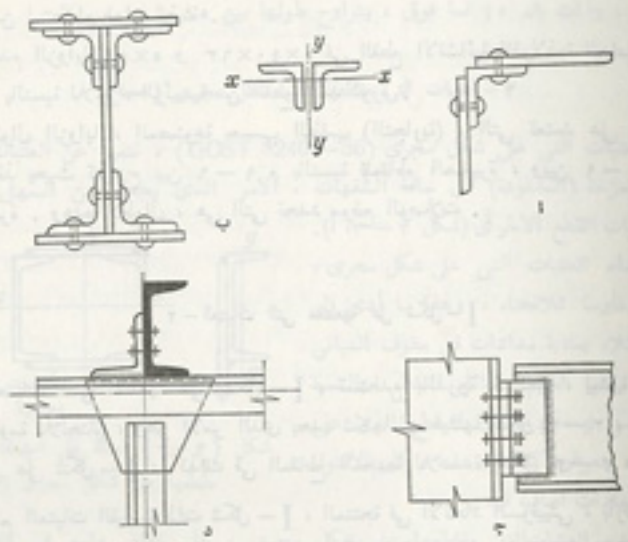
هناك نوعان من الزوايا المستخدمة فى الانشاءات ، وهما الزوايا المتساوية الضلعين (GOST 8509—57) ، والزوايا المختلفة الضلعين (GOST 8510—57) ، التى تكون النسبة بين ضلعيها $\frac{1}{1.6}$ تقريبا . وفى الدرجة الاساسية ، تستخدم الزوايا فى الانشاءات ، للاغراض التالية :

١) بمثابة قطع توصيل ، لربط الصفائح او الالواح ، او لتكوين المقاطع المبرشمة المجمعة (شكل ٣ — ١ ، أ) ،

٢) بمثابة مقاطع مستقلة ، تتألف من زاوية واحدة او زاويتين (شكل ٣ — ١ ، ب) ، تستخدم لتحمل (مقاومة) القوى المحورية (شد او انضغاط) ،

٣) بمثابة قطع انشائية لتوصيل (وصل) العتبات بالاعمدة (شكل ٣ — ١ ، حـ) ، ولتثبيت المدادات باعصاب او اوتار (شكل ٣ — ١ ، د)، بمثابة مقاعد للعتبات — beam seats ، واضلاع تقوية ، وغير ذلك .

ان استخدام الزوايا الشامل لمختلف الاغراض ، ادى الى تطور كبير فى استخدام مجموعاتها المتنوعة، ابتداء من اصغر وأخف زاوية يبلغ بعد اضلعيها ٢٠×٢٠مم، وثخنها ٣ مم، ويرمز اليها بما يلى : ٢٠×٣ ، ومساحة مقطعها العرضى ١,١٣ سم٢ ، وانتهاء باكبر واثقل زاوية ، تبلغ ابعادها ٢٥٠×٣٠ ، ومساحة مقطعها العرضى ١٤٢ سم٢ .



شكل (٣ — ١) امثلة على استخدام الزوايا

ولسهولة تصميم الزوايا وتثبيتها وتوصيلها ، تكون شفهاتها متوازية الحافات .

ويجب اختيار او انتقاء مقطع الزاوية ، استنادا الى التصميم العام لمقطع القطعة الانشائية برمته .

وفى الحالات التى تكون فيها الزوايا معرضة لتأثير القوى المحورية ، كمقطع مستقل ، يشكل جزءا من انشاء جملونى (انشاء مدعم بقوائم انضغاط — strutted) ، نجد بانه من الملائم اختيار ارق الزوايا ، وذلك لان المقياس النسبى لصلاحية القطعة الانشائية المضغوطة ، هو نصف قطر الحركة التدويمية (radius of gyration) $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$ ، الذى يعتمد عليه عامل التحدب φ ، الذى يقلل او يخفض المقاومة التصميمية . وكلما زادت قيمة r ، كلما كان المقطع اكثر ملائمة ، ومن المعلوم ان نصف قطر الحركة التدويمية ، يكون دائما فى الزوايا الرقيقة ، اكبر مما هو عليه فى الزوايا الثخينة . وعند استخدام الزوايا الرقيقة ، لا يجب الخوف من ظهور بروزات او تنوآت موضعية فى الشفهات(اضلاع الزوايا)، وذلك لأن النسبة القصوى بين عرض الشفة (الضلع) وثخنها (نسبة قضافة الشفة) ، المأخوذة بالنسبة للمقاطع القياسية ، وهى $\frac{b}{t} \leq 15—17$ ، تضمن الاستقرار الموضعى للشفهات (الاضلاع) دائما . وبالنسبة للقطع الموجودة فى حالة شد ، تكون اهمية ثخن الزوايا ، اقل من السابق ، ولكن فى هذه الحالة ايضا ، تستخدم الزوايا الرقيقة بصورة عامة ، بسبب جسوئتها

العالية ، الامر الذى يسهل عمليتى نقلها وتركيبها .

وفى الحالات التى تستخدم فيها الزوايا بمثابة قطع انشائية (مثلا ، على هيئة اضلاع تقوية فى العتبات ، او اجزاء للتثبيت) ، غير معرضة لاجهادات كبيرة ، يجب كذلك استخدام الزوايا الرقيقة . اما اذا كانت شفهات (اضلاع) الاجزاء الزاوية ، معرضة للانحناء الى الخارج (outward bending) (مقاعد العتبات والقطع السلكية القصيرة لتعليق عربات القطار المعلق — monorails وغير ذلك) ، عندئذ لابد من استخدام زوايا ثخينة .

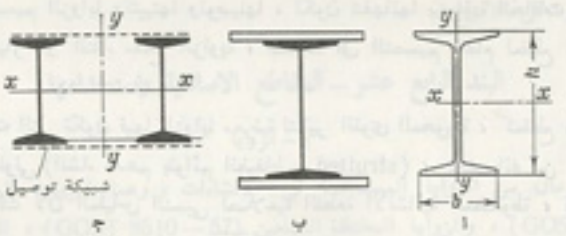
وتستخدم الزوايا ٥٠×٥ و ٦٣×٤٠×٥ فى القطع الانشائية الفولاذية الحاملة ، باعتبارها اصغر مقاطع بالنسبة للاجزاء الرئيسية من القطع المذكورة .

ان اطوال الزوايا ، المصنوعة حسب الطلب (التجارية) ، التى تعتمد على ظروف الدلفنة والنقل ، تؤخذ بحيث تتراوح بين ٦ — ٩ م بالنسبة للمقاطع الصغيرة ، وبين ٩ — ١٢ م بالنسبة للمقاطع الكبيرة . وهذه الاطوال ، هى التى تحدد موضع الوصلات .

٢ — العتبات التى مقطعها على شكل — I

ان العتبات التى مقطعها على شكل — I ، تستخدم بالدرجة الرئيسية ، بمثابة عتبات معرضة للانحناء (مقاومة للانحناء) ، وهو الامر الذى يحدد شكلها او هيئتها (شكل ٣ — ٢ ، أ) . وتستخدم المقاطع التى على شكل — I ، كذلك فى المقاطع المجمعة للاعمدة (شكل ٣ — ٢ ، ب و حـ) .

وتصمم العتبات القياسية ذات شكل — I ، المنتجة فى الاتحاد السوفييتى ، بأرقام تبدأ بالرقم ١٠ وتنتهى بالرقم ٧٠ . هذا وان رقم كل عتبة شكل — I ، مناظر لارتفاعها مقاسا بالسنتمترات . وتدلفن جميع العتبات المذكورة ابتداء من رقم ١٨ إلى رقم ٣٠، بحيث تكون شفهاتها مختلفة العرض



شكل (٣ — ٢) امثلة على استخدام العتبات التى مقطعها على شكل — I

والثخن ، وتكون وتراتها متماثلة . ولتمييز العتبات شكل — I ، ذات الشفهات الاعرض والاثخن ، يضاف الحرف «a» الى رقم كل عتبة منها . ويكون من الافضل استخدام الانواع الاخيرة من العتبات شكل — I ، عندما يراد تعريضها للانحناء (لمقاومة الانحناء) .

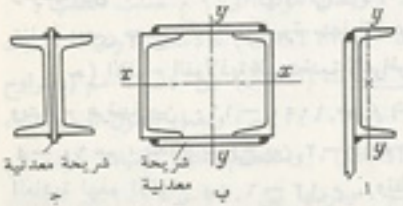
وعند استخدام العتبات شكل — I ، فى القطع الانشائية يجب ان نأخذ فى الاعتبار ، احتمال وجود بعض الاختلافات فى ابعادها المقررة ، وذلك نتيجة لعملية الدلفنة . ان الاختلافات (الانحرافات) المسموح بها ، فيما يخص الارتفاع، تساوى ±٣ مم بالنسبة للارقام التى تبدأ بالرقم ٢٠ وتنتهى

بالرقم ٣٦ ، وتساوى ±٤ مم بالنسبة للرقم ٤٠ ومافوق . والاطراف الداخلية لشفهات العتبات شكل — I ، مائلة بمقدار ١٢٪ ، الامر الذى يجعل من الصعب ان تربط او توصل معها قطع اخرى ، من الجهة الداخلية .

ان الاطوال التجارية للعتبات شكل — I ، هى ٦ و ٩ و ١٢ م ، ولكن يمكن بالاتفاق مع ادارات المصانع المنتجة للعتبات المذكورة ، الحصول على عتبات شكل — I ، ذات رقم ٣٠ ، يبلغ طولها ١٥ م ، وذات رقم ٤٥ فما فوق ، يتراوح طولها بين ١٥ — ١٨ م .

٣ — العتبات التى مقطعها على شكل مجرى (⎯)

ان العتبات التى على شكل مجرى (GOST 8240—56) ، تتميز عن العتبات شكل — I ، بوترتها المزحزحة (المدلوعة) الى حافة الشفهات ، الامر الذى يجعل من السهل توصيلها او ربطها مع وترات القطع الاخرى (شكل ٣ — ٣، أ). ويمكن استخدام العتبات التى على شكل مجرى ، بمثابة قطع مقاومة للانحناء ، وهذا ما أدى الى استخدامها مثلا، بمثابة مدادات فى سقوف المبانى الصناعية . ونظرا لعدم تماثل المقطع بالنسبة للمحور الرأسى y — y ، فان المقطع الذى على شكل مجرى ، يتعرض كقاعدة عامة ، الى الالتواء مع ظهور اجهادات اضافية فيه .



شكل (٣ — ٣) امثلة على استخدام العتبات التى مقطعها على شكل مجرى (⎯)

وتستخدم العتبات التى مقاطعها على شكل مجرى ، على نطاق واسع فى القطع الانشائية المعرضة لتأثير القوى المحورية ، وذلك على هيئة مقاطع مجمعة من قطعتين موصولتين (مربوطتين) بشرائح معدنية (خوص) او بشبيكات معدنية ، كما فى الاعمدة (شكل ٣ — ٣ ، ب) ، واوتار الجمالونات (شكل ٣ — ٣ ، حـ) ، وغير ذلك .

وقد صممت العتبات التى على شكل مجرى ، حسب المواصفات القياسية السوفييتية ، بارقام تبدأ بالرقم ٥ وتنتهى بالرقم ٤٠ .

والعتبات المذكورة ، من الرقم ١٤ الى الرقم ٢٤ ، تدلفن بحيث تكون شفهاتها مختلفة العرض والثخن ، وتكون وتراتها متشابهة تماما ، ويرمز الى ذلك بالحرف «a» . والانحرافات المسموح بها بالنسبة للارتفاع، تساوى ±٣ مم للارقام من ٢٠ الى ٣٠، وتساوى ±٣,٥ مم للرقم ٣٣ فما فوق .

والاطراف الداخلية لشفهات العتبات التى على شكل مجرى ⎯، مائلة بمقدار $\frac{1}{10}$ ، والاطوال التجارية لهذه العتبات تبلغ عادة ٦ م و ٩ م و ١٢ م ، ويمكن بالاتفاق مع المصنع المنتج ، الحصول على طول يصل الى ١٨ م .

٤ — الصفائح والالواح الفولاذية

تستخدم الصفائح والالواح الفولاذية على نطاق واسع فى المبانى والانشاءات ، وغالبا ما يبلغ وزنها حدا يتراوح بين ٤٠ — ٦٠٪ من الوزن الكلى للمبنى او الانشاء باجمعه ، وحوالى ١٠٠٪

من الوزن الكلى للمنشآت الخاصة ، المقاومة من الالواح والصفائح التعدنية — الانشاءات القشرية . ان سبب الاستخدام الواسع النطاق للصفائح والالواح ، حتى فى الانظمة الانشائية الهيكلية ، هو الامكانية غير المحدودة لتشكيل مختلف المقاطع بالابعاد الضرورية ، وبالثخن والشكل المطلوبين ، بواسطة لحام او برشمة الصفائح او الالواح مع بعضها .

وتصنف الصفائح والالواح الفولاذية ، الى الاصناف التالية :

أ) صفائح فولاذية رقيقة مدلفنة على الساخن (57 — GOST 3680) ، ويتراوح ثخنها بين ٠,٥ — ٤,٠٥ مم ، وعرضها من ٦٠٠ الى ١٠٠٠ — ١٤٠٠ مم (تبعا للثخن) ، اما طولها فيتراوح بين ١,٢ — ٢ او ٢,٥ او ٤ م . وتستخدم هذه الصفائح فى البناء ، للمقاطع المشكلة بالختم او الكبس ، وللسقوف .

ب) الشرائط الفولاذية او الخوص (57 — GOST 103) ، ويتراوح ثخنها بين ٤ — ٦٠ مم ، وعرضها بين ١٢ — ٢٠٠ مم ، بتدرج قدره ٢ مم . ويعتبر استخدام هذه الشرائط الفولاذية منطقيا ، عندما يوصى بصنع كميات كبيرة منها فقط ،

ج) الالواح الفولاذية المستخدمة لاغراض شاملة (57 — GOST 82) ، وتكون حافاتها منتظمة ، ويتراوح عرضها بين ١٦٠ — ١٠٥٠ مم ، بتدرج يتراوح بين ١٠ — ٥٠ مم ، ويتراوح ثخنها من ٤ — ٦٠ مم ، بتدرج يتراوح بين ٢ — ٤ مم ، ابتداء من العرض ١٢ مم . وتتراوح الاطوال التجارية العادية لهذه الالواح بين ٦ — ١٢ م . ونظرا لكون حافات الالواح المذكورة ، منتظمة تماما ، يصبح استخدامها منطقيا للغاية ،

د) الالواح الفولاذية الثخينة (57 — GOST 5681) ، ويتراوح ثخنها بين ٤ — ١٦٠ مم ، بتدرج قدره ٠,٥ مم للثخن الذى يتراوح بين ٤ — ٦ مم ، و ١ مم للثخن الذى يتراوح بين ٧ — ٣٠ مم ، و ٢ مم للالواح الاثخن من ذلك ، التى يصل ثخنها الى ٤٠ مم . ويتراوح عرض هذه الالواح بين ٦٠٠ — ٢٥٠٠ مم ويصل حتى الى ٣٠٠٠ مم ، بتدرج قدره ١٠٠ مم . وفى هذه الحالة ، يجب ان يؤخذ فى الاعتبار ، بان الايصاء بصنع الواح يزيد عرضها على ١٨٠٠ مم ، يجب ان يقترن بموافقة ادارة المصنع المنتج . ويتراوح طول الالواح المذكورة ، تبعا لثخن كل منها ، بين ٤ — ٨ م ، ويصل طولها بعد الاتفاق مع المصنع ، الى ١٢ م .

البند الخامس عشر — المقاطع المختلفة المستخدمة فى البناء

١ — المقاطع الميسرة الانتاج فى المصانع

تستخدم فى البناء ، عدا المقاطع الاساسية المذكورة اعلاه ، انواع اخرى من المقاطع ، وهى :

أ) قضبان فولاذية مربعة المقطع (57 — GOST 2591) ، ذات حافات (اطراف) مستقيمة ومائلة او مشطوبة (bevelled edges) ، وتتراوح ابعاد اضلاعها بين ٤٠ — ٢٥٠ مم ،

ب) قضبان فولاذية مدورة المقطع (57 — GOST 2590) ، يتراوح قطرها بين ٥,٩ — ٢٥٠ مم ، وتستخدم لقطع التوصيل او التكثيف ، ولمسامير التثبيت او الدعم (stay bolts) وغير ذلك ، وكذلك بمثابة قضبان تسليح فى الانشاءات الخرسانية المسلحة .

ج) اسلاك عالية المقاومة من الفولاذ الكربونى ، تستخدم فى القطع الانشائية السابقة الاجهاد — (55 — GOST 7348) ، ويتراوح قطرها بين ٢,٥ — ١٠ مم ، واسلاك حبلية عارية ومجلفنة (55 — GOST 7372) ، بقطر يتراوح بين ٠,٢ — ٥ مم ، وغير ذلك ،

د) انابيب ومواسير فولاذية ثخينة الجدران غير ملحومة (58 — GOST 8732) ، بقطر وثخن يتراوحان بين ٤٢×٢,٥ — ٢٧٧×٢٠ مم ،

ه) سكك الاوناش (62 — GOST 4121) التى تستخدم فى طرق تحرك الاوناش . ان العرض الاسمى للقسم العلوى من السكة ، بالمليمترات ، يحدد رقم السكة (من KP 70 الى KP 140) . ويتراوح الطول بين ٩ — ١٢ م ،

و) الالواح الفولاذية المخددة (57 — GOST 8568)، وتستخدم لبسطات السلم (landings) ودرجاته (treads) ، التى يسير عليها الناس . ويتراوح ثخن هذه الالواح (مع التخديد) بين ٦ و ٨ و ١٠ مم ، وعرضها بين ٦٠٠ — ١٤٠٠ مم ، ويصل طولها الى ٦ م حسب الطلب .

وكذلك تستخدم الالواح الفولاذية الممددة (58 — GOST 8706) ، لانشاء الارضيات ، حيث يحتمل تجمع الاتربة والغبار . ويتراوح ثخن الكتل المدلفنة (الاغفال) بين ٤ — ٦ مم (ويتراوح الثخن الاجمالى بين ١٣ — ٢١ مم ، والعرض بين ٥٠٠ — ١٤٠٠ مم ، ويصل الطول الى ٦ م) ،

ز) الالواح الفولاذية الموجة (47 — GOST 3685) ، وتستخدم بمثابة ارضيات باردة فى الورشات الحارة ، ويتراوح ثخنها بين ١ — ١,٥ و ٢ مم ، وعرضها بين ٧٠٠ — ١٠٠٠ مم ، ويبلغ طولها ٢٠٠٠ مم ، كما يبلغ ارتفاع الموجة الواحدة ٣٠ او ٣٥ مم ،

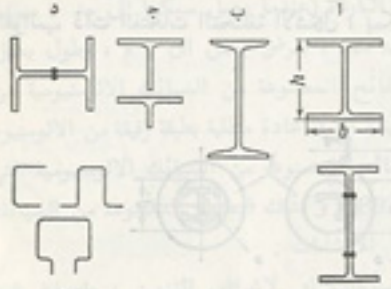
ح) مقاطع خاصة للاطر الفولاذية المنزلقة المستخدمة فى تزجيج المبانى او الانشاءات الصناعية وبعض المبانى المدنية (58 — GOST 7511) .

واثناء عملية التصميم ، يجب على المصمم ان يحاول استخدام اقل عدد ممكن من ارقام المقاطع المختلفة ، ولكن مع عدم السماح عندئذ بزيادة وزن القطعة الانشائية بدرجة ملحوظة .

٢ — تطور المقاطع الانشائية المدلفنة

وبغض النظر عن الانواع المتعددة الكثيرة نسبيا ، للمقاطع المدلفنة ، نرى بان مصانع الحديد والفولاذ لاتفى دائما بكل ما يحتاجه البناء من المقاطع . ولذلك يصبح من الضرورى لحام او برشمة المقاطع غير المتوفرة فى الانتاج ، من الواح ومقاطع اخرى ، الامر الذى يرفع من تكاليف الانشاء (القطعة الانشائية) . ولكى تفى المصانع بما يحتاجه البناء من المقاطع الفولاذية الى درجة تكاد تكون تامة ، فقد تقرر القيام بصنع او انتاج الانواع التالية من المقاطع ، التى تم استخدام قسم منها فى البناء حاليا :

أ) المقاطع شكل — I العريضة الشفهات — WF (شكل ٣ — ٤ ، أ)، التى يصل ارتفاعها



شكل (٣ — ٤) تطور اشكال المقاطع الانشائية المدلفنة

الى ١٠٠٠ مم ، وتتراوح نسبة عرض الشفة الى ارتفاع المقطع بين $\frac{1}{1}$ و $\frac{1}{2.5}$ (GOST 6183—52).
وقد تم تنظيم الانتاج الخاص للمقاطع شكل — I العريضة الشفهات ، الملحومة ،

ب) المقاطع شكل — I الرقيقة الوترات (شكل ٣ — ٤ ، ب) ، التى تستخدم فى الانشاءات القشرية الخفيفة ، المعرضة للانحناء (المقاومة للانحناء) ، باصغر ثخن ممكن للوترات (GOST 6184—52) . وتكون مثل هذه المقاطع اكثر اقتصادية من الانواع العادية الاخرى للمقاطع شكل — I ، بما يتراوح بين ٣٠ — ٣٥ ٪ ،

ج) مقاطع شكل — I (شكل ٣ — ٤ ، ح) ، ذات وترات طويلة او قصيرة وشفهات عريضة ، يمكن استخدامها بمثابة قطع مستقلة لاوتار اجملونات ، على هيئة مقاطع شكل — I ، وبدرزة ملحومة واحدة (شكل ٣ — ٤ ، د) ، او كجزء من مقطع شكل — I ملحوم ، ذى ارتفاع كبير ، يحتوى على لوح موثق بين مقطعين شكل — I (شكل ٣ — ٤ ، ه) .

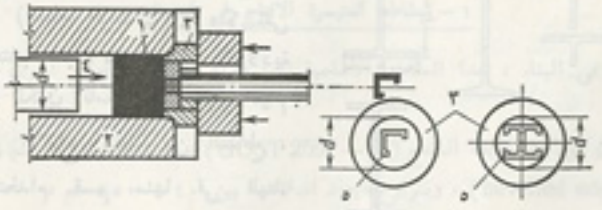
د) مقاطع منتجة من الواح او صفائح فولاذية ، مصنوعة بطريقة الحنى بواسطة مكنات حناية خاصة ، او بواسطة الدلفنة على البارد (شكل ٣ — ٤ ، و) . ومن المفيد استخدام مثل هذه المقاطع فى اجزاء القطع الانشائية الخفيفة ، وكذلك فى القطع الانشائية التى تتحمل قوى غير كبيرة ، ولكنها تحتاج الى جسوة عالية . ان اشكال هذه المقاطع ، تسمح بوجود او انتاج انواع عديدة منها (GOST 8275-57—8283-57) .

البند السادس عشر — المقاطع المصنوعة من السبائك الالومنيومية

تستخدم فى البناء بصورة اساسية ، سبائك الومنيومية مشكلة بالحدادة ، على هيئة مقاطع او الواح مختلفة الاشكال .

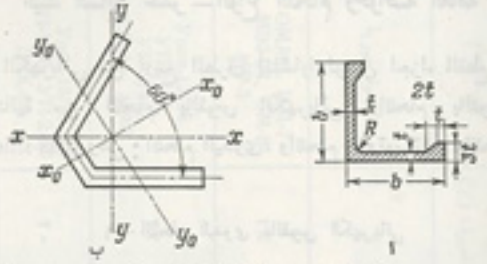
ويتم انتاج المقاطع ، اما بطريقة التشكيل بالكبس ، او بطريقة حنى او كبس الالواح المدلفنة .

وتجرى عملية الكبس فى الحالة الساخنة (حوالى ٤٠٠° مئوية) بواسطة مكابس ايدرولية ، حيث يتم كبس العبة الكروية الشكل (التى تبلغ ابعادها القصوى $d \times L = 345 \times 1450mm$) خلال قالب توجد فيه فتحة (ثقب) بقياس المقطع المطلوب (شكل ٣ — ٥) . وبالنظر الى حجم العبة المذكور ، يجب ان يكون المقطع العرضى محفورا فى دائرة قطرها ٣٢٠ مم ، وفى حالات خاصة ، عند وجود مكبس قوى ، يحفر المقطع فى دائرة قطرها ٣٥٠ مم . وبوجود مجموعة متنوعة من القوالب ذات الفتحات المختلفة الاشكال ، يمكن الحصول على انواع كثيرة من المقاطع المكبوسة .



شكل (٣ — ٥) تشكيل مقطع الومنيومى بالكبس :
١ — الكتلة الالومنيومية المدلفنة ، ٢ — اسطوانة المكبس ، ٣ — قالب الصوغ ، ٤ — ذكر القالب (السنبك) ، ٥ — فتحات او ثقوب فى قالب الصوغ

ان الاستخدام الضيق النطاق نسبيا ، للقطع الانشائية الالومنيومية ، لا يجعل من المستطاع وضع كتالوج (بيان اسماء) خاص باكثر المقاطع استخداما فى الانشاءات . ونظرا لقلة معامل مرونة السبائك الالومنيومية ، وقلة النسبة الحرجة بين عرض الجزء المتدلى بحرية من ضلعى الزاوية الالومنيومية ، وبين ثخنهما $\left(\frac{b}{t} < 7 - 12\right)$ ، فقد اقترح ان تكون المقاطع الالومنيومية ، ذات خيزرانات فى نهايات اضلاعها او شفهاتها (شكل ٣ — ٦ ، أ) . والغرض من وجود الخيزرانات المذكورة ، هو زيادة النسبة $\frac{b}{t}$ الى ما يتراوح بين ١٠ — ٢٠ ، تبعا لشكل المقطع . ويمكن ان تكون اشكال المقاطع مقفلة ، مثلا على هيئة مواسير . ويبين الشكل (٣ — ٦ ، ب) احد نماذج المقاطع المكبوسة ، لاوتار صوارى خطوط نقل القدرة الكهربائية .



شكل (٣ — ٦) مقاطع الومنيومية :
أ — زاوية ذات خيزرانات فى نهايات اضلاعها (شفهاتها) ،
ب — مقطع لصوارى خطوط نقل القدرة الكهربائية

وقد وضعت فى الاتحاد السوفيتى مواصفات قياسية معينة ، لعدد من المقاطع الصغيرة ، التى لا تزيد ابعاد كل منها على ١٢٠ مم (GOST 8110-56—8114-56) ، كما وضعت مواصفات معينة للمواسير (GOST 1947—56) .

ويعد الكبس تعرض المقاطع للمعاملة الحرارية ، مثل التصليد والاصلاد بالزمن والتلدين وغير ذلك .

وتنتج المقاطع المحنية ، بصورة رئيسية ، من الالواح والشرائط الرقيقة ، التى يصل ثخنها الى ٤ مم . وتدلفن الالواح والصفائح المعدنية فى الحالة الباردة (عندما يصل سمكها الى حد ٥ مم) ، او فى الحالة الساخنة (عندما يصل سمكها الى حد ٨٠ مم) ، بعرض يصل الى ٢ م ، وطول يصل الى ٧ م (GOST 1946—50) . ان الالواح والصفائح المصنوعة من السبائك الالومنيومية من نوع سبيكة الديورالومين ، المستخدمة فى القطع الانشائية ، تكون عادة مطلية بطبقة رقيقة من الالومنيوم النقى ، وذلك لمنعها من الصدأ . والالواح والصفائح المصنوعة من السبائك الالومنيومية التى لم تقو بالمعاملة الحرارية ، ومن السبيكتين AB و B92 ، وكذلك المقاطع المصنوعة من السبائك الاخرى على اختلاف ماركاتها ، يمكن ان تستخدم فى الانشاءات .

ويمكن صبغ الالواح المستخدمة فى انشاء السياجات او لاغراض التزيين ، باصباغ غير عضوية متعددة الالوان ، وذلك بطريقة الانودة الكهربائية (anodizing) ، التى تتلخص فى معاملة سطوح الالواح بعدد من العمليات الكيميائية الكهربائية .

الفصل الرابع

الوصلات الملحومة

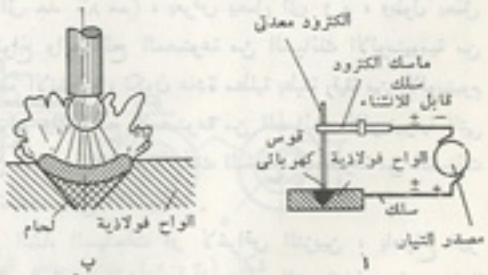
البند السابع عشر – انواع اللحام وخواصه العامة

يعتبر اللحام الكهربائي من اوسع الطرق انتشارا لوصل اجزاء القطع الانشائية الفولاذية . وتوجد الانواع التالية من اللحام بالقوس الكهربائي واللحام بالقوس المحجب بالغاز (gas-shielded arc welding) وهي : اللحام اليدوي، واللحام الاوتوماتي، واللحام نصف الاوتوماتي.

١ – اللحام اليدوي بالقوس الكهربائي

ان اللحام بالقوس الكهربائي مبني على ظاهرة نشوء قوس كهربائي بين القضيب الفولاذي (الالكترود) واجزاء القطع المراد لحامها (شكل ٤ – ١ ، أ) ، وهذا القوس يؤدي الى صهر المعدن او الفلز الاساسي ومعدن الالكترود ، مكونا بذلك درزة ملحومة ، توصل الاجزاء المستقلة مع بعضها وتكون منها قطعة واحدة متماسكة (شكل ٤ – ١ ، ب) .

ان اللحام بالالكترود المكشوف (قضيب لحام مكشوف) وبالقوس الكهربائي غير المحجب (unshielded arc) ، يؤدي الى وجود لحامات (درزات ملحومة) رديئة النوع ، وذلك لان الاكسيجين والنتروجين يسقطان على معدن الدرزة الملحومة ، ويكونان في ذلك الموضع اكسيدات ونتريدات ، وهذا ما يجعل درزة اللحام قصيفة . ولايجاد وسط غازي واق (حاجب) ، ولتحسين تأين الهواء المحيط، تستخدم قضبان لحام (الكترودات) مكتسية (coated electrodes). فتكون كسوة الالكترودات خبثا على المعدن المنصهر ، يختزل وينقى المعدن المذكور ، وتكون كذلك قشرة خبثية ، تقي السطح الساخن للدرزة الملحومة ، من التعرض للهواء والتأكسد . كانت كسوة الالكترودات في بادئ الامر ، تتألف من الطباشير المذاب في محلول زجاجي مائي (الكسوة الجيرية – او كسوة التأين) ، وكانت هذه الكسوة توضع على الالكترودات بشكل طبقة رقيقة (الالكترودات الرقيقة الكسوة). ومع هذا فقد بقيت الدرزات الملحومة ، غير عالية الجودة . وفي



شكل (٤ – ١) الرسم التخطيطي للحام الكهربائي وقوس اللحام

جدول ٤–١

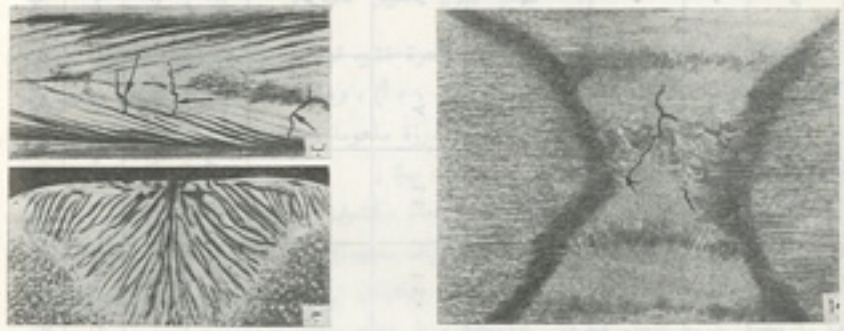
الخواص الميكانيكية لمعدن الوصلات الملحومة ومعدن اللحام

طريقة اللحام	صنف الالكترود (قضيب اللحام)	نوع الالكترود (GOST 9467—60)	وصلة تناكب ملحومة		بيانات من معدن اللحام		انواع وماركات الكسوة او المواد المساعدة المصهر ، المستخدمة في اللحام	الاحتياطات التي ينصح باستخدامها بموجب المواصفات القياسية GOST 2246—60	الاستخدام الرئيسي للالكترودات في لحام القطع الانشائية
			مقاومة الشد القصوى ، كجم/مم٢	زاوية الانحناء ، بالدرجات	الاستطالة النسبية للعينات القصيرة ، (٪)	مقاومة الصدم ، كجم/سم٢			
لحام يدوي بالقوس الكهربائي	الكترود يغطى الكسوة	E-34	٢٤	٣٠	٦	–	كسوة جيرية	–	فولاذ ٠٣ وفولاذ ٠٣ الدرزات الملحومة غير المضمنة
		E-42	٤٢	١٢٠	١٨	٨	OMM-5, ILM-7 MSK-64, CM-5 MP-3	CB-08	فولاذ ٠٣
		E-42A	٤٢	١٨٠	٢٢	١٤	Ynom-13/45, YTI-1/45, YTI-2/45, CM-11, MP-3	CB-08A	فولاذ ٠٣ في القطع الانشائية التي تشتغل في ظروف صعبة
		E-50A	٥٠	١٥٠	٢٠	١٣	Ynom-13/55, YTI-1/55, YTI-2/55 JICK-50	–	فولاذ ٠٤ ، وفولاذ ٠٥ و HJI
		E-55	٥٥	١٤٠	٢٠	١٢	IIJI-5, K-2, K-5	–	فولاذ 10XCHД
لحام اوتوماتي بالقوس الغاطس	–	–	٤٢	١٢٠	١٨	٨	AH-348A, OCL-45	CB-08A	فولاذ ٠٣ ، فولاذ ٠٥ و HJI

الوقت الحاضر ، تم انتاج كسوة خاصة عالية الجودة ، توضع على اسلاك اللحام (الالكترودات الثخينة الكسوة — وتحتوى مثل هذه الكسوة على اضافات من مواد الاشابة ، تساعد على تحسين الخواص الميكانيكية للدرزات الملحومة .

ولكمية الكربون الموجود فى المعدن ، تأثير كبير على التحامية فولاذ الانشاءات . وللقيام بلحام فولاذ الانشاءات العادى ، الذى يحتوى على كمية من الكربون تقل عن ٠,٢٢ ٪ ، تستخدم الكترودات عادية ، ذات كسوة ثخينة (راجع الجدول ٤ — ١) . ونظرا لوجود انواع متعددة من الكسوة العالية الجودة ، فان الالكترودات لا تميز بنوع الكسوة ، بل بنتائج الاختبارات الميكانيكية لعينات المعدن المرسب والوصلة الملحومة . ويجب ان لا تكون هذه النتائج ، اقل من القيم المدرجة فى الجدول (٤ — ١) .

ان الانواع الرئيسية من الالكترودات (قضبان اللحام) المستخدمة فى الانشاء ، هى : الكترودات من النوع 342 وتستخدم للحام القطع الانشائية المصنوعة من الفولاذ — ٣ ، ومن النوع 342A وتستخدم للحام القطع الانشائية الفولاذية ، التى تشتغل فى ظروف صعبة ، ومن النوع 350A والنوع 355 ، التى تؤمن لحاما عالى الجودة . وتستثنى الالكترودات من النوع 334 ، من الاستخدام فى الاجزاء والقطع المصممة ، وذلك بسبب قلة لدونة الدرزة الملحومة وقصافتها .

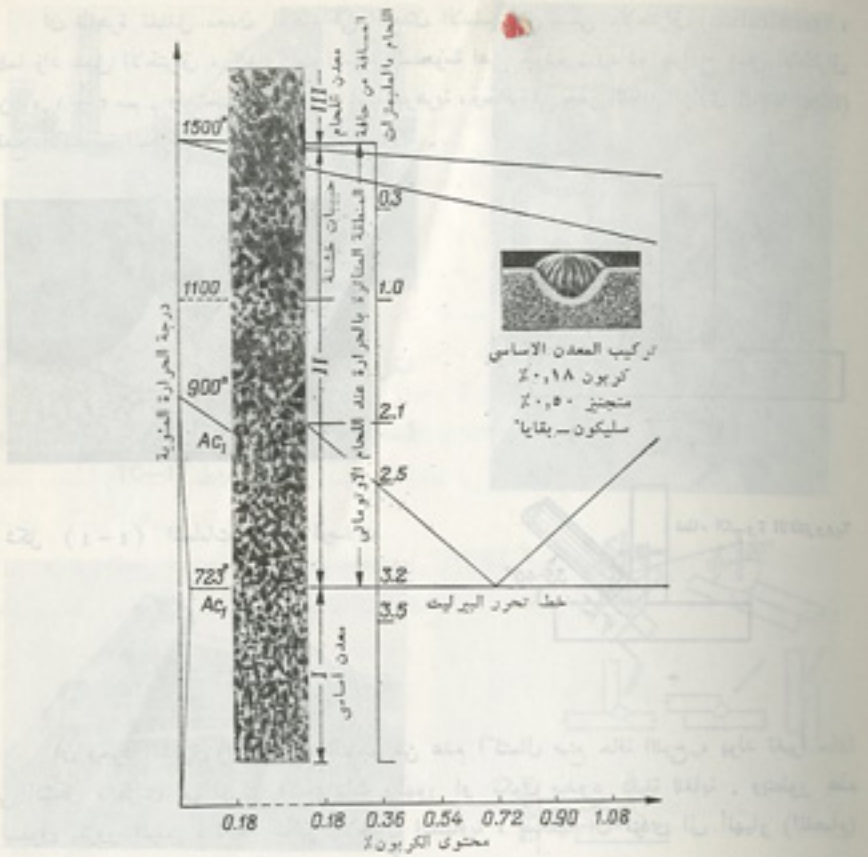


شكل (٤ — ٢) التصدعات (الشدوخ) فى اللحامات

و الاشياء التى تؤثر تأثيرا سلبوسا على مقاومة الوصلات الملحومة ، هى بنية الدرزة الملحومة (اللحام) ، وكذلك التضمنات اللامعدنية الموجودة فيها (رقع من الخبث — slag patches ، او جيوب غازية دقيقة ، تظهر بعد تجمد الدرزة الملحومة) . ان وجود المسام الدقيقة الداخلية يؤدى الى ظهور تركزات حجمية للاجهادات ، تزيد من قصافة الدرزة الملحومة (اللحام) .

ويبين الشكل (٤ — ٢ ، أ) مقطعا (ميكروسكوبيا) دقيقا — لدرزة ملحومة ، تظهر فيه بنية الدرزة ، وكذلك يظهر صدع (شدخ) صغير فى جذر اللحام يربط بين اثنتين من الشوائب الدخيلة . ولا يسمح مطلقا بظهور الصدوع او الشدوخ فى داخل الدرزة الملحومة .

وتوجد هناك صدوع حارة (شكل ٤ — ٢ ، ب ، ح) وصدوع باردة . وتظهر الصدوع الحارة احيانا ، عندما يبرد (ينجمد) اللحام او الدرزة الملحومة ، فى مدى من درجات الحرارة يتراوح بين ١٠٠٠ — ١٣٥٠° مئوية . اما الصدوع الباردة فتظهر فى الغالب ، نتيجة لوجود اجهادات الشد فى الدرزات الملحومة ، الناشئة عن الانكماش .



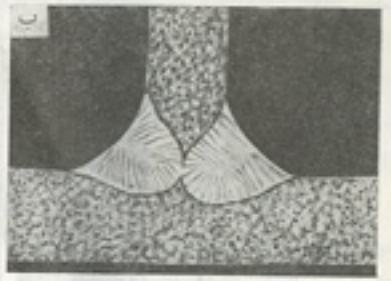
شكل (٤ — ٣) تركيب درزة اللحام

ويبين الشكل (٤ — ٣) بنية الدرزة الملحومة ، وتوزيع درجات الحرارة على مقطعها . ويمكن فى هذه الحالة تمييز ثلاث مناطق ، وهى : I — منطقة المعدن الاساسى ، II — منطقة الانتقال ، III — منطقة معدن اللحام (المعدن المرسب) .

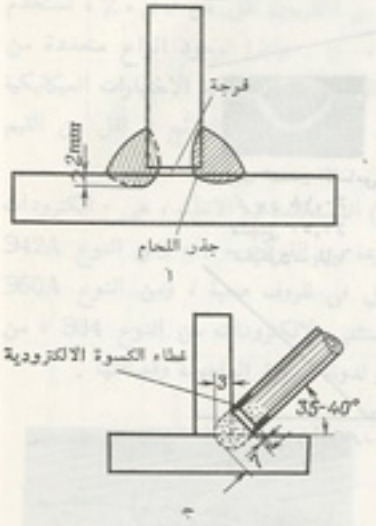
ان منطقة المعدن الاساسى ، هى ذلك القسم من المعدن الاساسى ، المحيط بالدرزة الملحومة (اللحام) ، والمسخن الى حد لا يزيد على درجة الحرارة الحرجة (٧٢٣°) ، حيث يحافظ المعدن فيه على جميع خواصه الميكانيكية .

وتقع منطقة الانتقال (القريبة من الدرزة الملحومة) ، او المنطقة المتأثرة بالحرارة ، بين المعدن الاساسى ومعدن اللحام . واثناء عملية اللحام ، يلاحظ فى هذه المنطقة تغير حاد فى درجة الحرارة ، من ١٥٠٠° مئوية (درجة حرارة الانصهار) الى ٧٢٣° مئوية . وتكون بنية المعدن فى هذه المنطقة ، غير متجانسة . وفى القسم الذى تزيد درجة حرارته على ما يتراوح بين ١٠٠٠ — ١١٠٠° مئوية ، تحدث زيادة فى حجم البلورات ، وتتكون بنية ذات بلورات ماكروسكوبية (كبيرة) ، وتتردى الخواص الميكانيكية . وتعتبر منطقة الانتقال (المنطقة المتأثرة بالحرارة) ، من اضعف مناطق (موانع) الدرزة الملحومة .

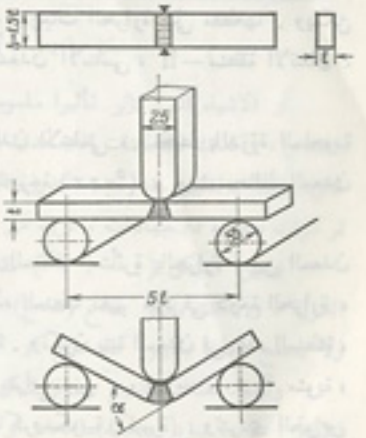
ان ظاهرة تغلغل معدن اللحام فى المعدن الاساسى ، تسمى بالاختراق (penetration) ، وكلما زاد عمق الاختراق ، كلما كانت الدرزة الملحومة اعلى جودة . وعادة يتراوح عمق الاختراق بين ١,٥ — ٢ سم . وللاختراق العميق اهمية جوهرية ، وخاصة فى جذر اللحام الزاوى (fillet-weld) للقطع الانشائية المعرضة لتأثير الاحمال المتناوبة .



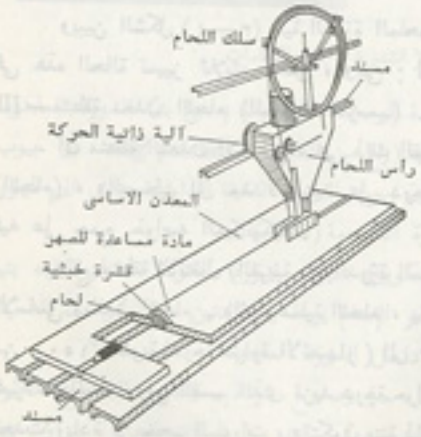
شكل (٤ — ٤) اللحامات الزاوية للوصلات



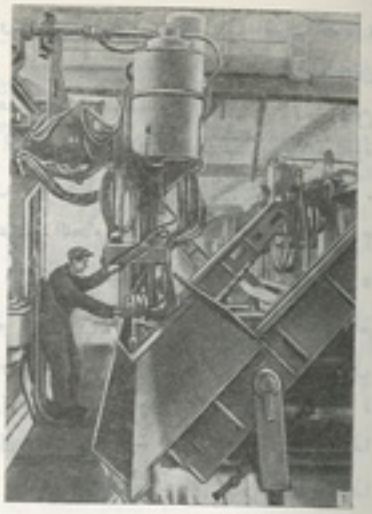
ان وجود الشقوق (الثغرات) ، الناجم عن عدم اكتمال صنع حافة اللوح ، يولد تغيرا حادا فى الشكل ، يؤدى الى تركز الاجهادات وظهور او تكون صدوع دقيقة للغاية . وبتطور هذه الشقوق بمرور الزمن ، نتيجة لتأثير الاحمال المتناوبة ، يمكنها ان تؤدى الى أنهيار (انفصام) الدرزة الملحومة او اللحام (شكل ٤ — ٤ ، أ) .

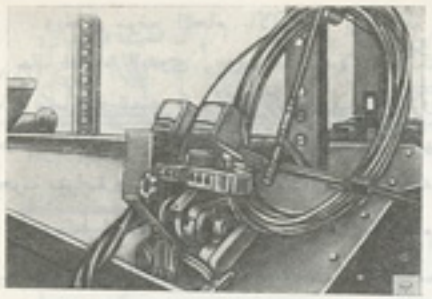


شكل (٤ — ٥) اختبار الانحناء لمعدن اللحام (المعدن المرسب)

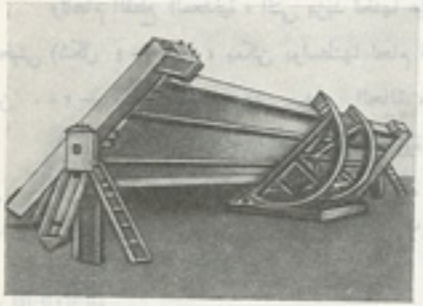


شكل (٤ — ٦) الرسم التخطيطى لحام الاوتوماتى بالقوس الغاطس

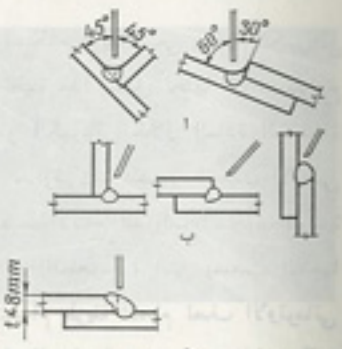




شكل (٤ — ٧) اللحامات الاوتوماتية الزاوية للعتبات الفولاذية :
أ — على المعدات الثابتة ، ب — باستخدام مكنة لحام ساحبة موديل TC—17



شكل (٤ — ٩) دليل تشغيل دوار لحام العتبات



شكل (٤ — ٨) اللحامات الاوتوماتية الزاوية السفلى :
أ — اللحام المسطح ، ب — اللحام بالكترود مائل ، جـ — اللحام بالصهر

ويمكن تحقيق الاختراق العميق ، اما بواسطة اللحام الاوتوماتى (شكل ٤ — ٤ ، ب) او بواسطة ما يسمى بطريقة اللحام ذى «الاختراق العميق» (القوس القصير) ، التى تتضح حقيقتها من الشكل (٤ — ٤ ، جـ) . وبالاضافة الى اختبار الشد ، تجرى مراجعة كل من التحامية ومقاومة الوصلة الملحومة ، بواسطة اختبار الانحناء (شكل ٤ — ٥) . وهذا الاختبار يبين خصائص المطيلية الاستاتيكية للوصلة الملحومة ، وهى المطيلية التى تتناسب مع زاوية الانحناء . والاختبار المذكور يتيح لنا امكانية سهلة ، لمعرفة وتحديد مقاومة الدرزة الملحومة ولدونتها ، فى نفس الوقت .

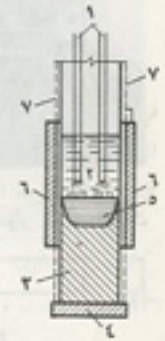
٢ — اللحام الاوتوماتى ونصف الاوتوماتى

ان مبدأ اللحام الاوتوماتى بالقوس الغاطس ، يتلخص فى تغذية موضع اللحام بالالكترود (قضيب اللحام) بصورة اوتوماتيكية ، مع الحل المتواصل للفات مكب من أسلاك اللحام الخاصة (شكل ٤ — ٦) .

ويغذى موضع اللحام بالالكترود ، بواسطة رأس اوتوماتى ، يقوم بمهمة يد عامل اللحام ، فى حالة اللحام اليدوى . وتستخدم بدلا من الكسوة ، مادة سائبة ذات تركيب كيميائى معين (مادة مساعدة للصهر) ، يغطى بها طرف الالكترود . وهذه المادة المساعدة للصهر ، تعزل موضع اللحام عزلا تاما عن الهواء لانها تخفى القوس الكهربائى الغاطس فيها . ونتيجة لذلك ، تتكون درزة ملحومة متراصة ومتجانسة ، ذات اختراق عميق ، له خواص ميكانيكية عالية (راجع الجدول ٤ — ١) .

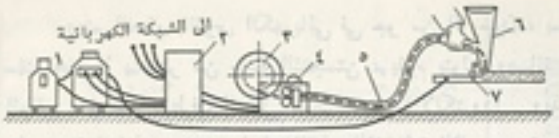
ونظرا لشدة التيار الكهربائى ، المستخدم فى عملية اللحام الاوتوماتى (٦٠٠ — ٣٠٠٠ امبير) ، تكون الانتاجية فى هذه الحالة ، اكبر مما هى فى اللحام اليدوى بما يتراوح بين ٣ — ٥ مرات (وتكون احيانا اكبر بعشر مرات) . وعند تصميم القطع الانشائية ، التى يجب ان تلحم وصلاتها باللحام الاوتوماتى ، لابد من التأكد سلفا ، من ان شكل التصميم المقرر ، لن يعرقل حركة الرأس الاوتوماتى للحام . ويمكن انجاز اللحام الاوتوماتى ، على اجهزة ثابتة (شكل ٤ — ٧ ، أ) ، او بمساعدة مكنات لحام ساحبة — welding tractors (شكل ٤ — ٧ ، ب) . وينجز هذا اللحام عادة ، عندما تكون الدرزات الملحومة واقعة فى الاسفل (شكل ٤ — ٨) ، وتستخدم لهذا الغرض دلائل تشغيل دوارة (شكل ٤ — ٩) .

وللحام القطع المعدنية ، التى يزيد ثخنها على ٢٤ مم، تستخدم طريقة تسمى باللحام الكهربائى الخبثى (شكل ٤ — ١٠) ، يمكن بواسطتها لحام قطع معدنية ثخينة جدا (يصل ثخنها الى ما يتراوح بين ٢٠٠ — ٣٠٠ مم) . وفى هذه الحالة ، يمر التيار الكهربائى خلال المادة المساعدة للصهر (الخبث) المصهورة ، ويولد حرارة كافية لصهر المعدن الاساسى ومادة الالكترود . وهذه الطريقة مخصصة لانتاج الدرزات الملحومة الرأسية (اللحامات الرأسية) . ولانتاج الدرزات الملحومة ، التى يصعب انتاجها بواسطة اللحام الاوتوماتى ، يمكن استخدام طريقة اللحام نصف الاوتوماتى بالخرطوم المغموس فى طبقة من المواد المساعدة للصهر . وتتلخص فكرة هذه الطريقة ، فى تغذية موضع اللحام ميكانيكيا ، بسلك لحام رفيع يبلغ قطره ٢ مم ، مثبت فى داخل خرطوم قابل للانثناء ، اما الحركة على امتداد الدرزة الملحومة (اللحام) ، فتتم بواسطة اليد (شكل ٤ — ١١ ، أ) . ويزود اللحام بالمواد المساعدة للصهر مباشرة ، من قمع الماسكة ، التى تحتوى كذلك على ازرار التحكم (شكل ٤ — ١١ ، ب) . ويبين الشكل (٤ — ١٢) طريقة اللحام نصف الاوتوماتى ، لاضلاع التقوية فى احدى العتبات الملحومة .

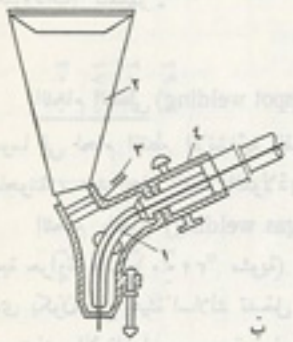


شكل (٤ — ١٠)
الرسم التخطيطى للحام الكهربائى—الخبثى :
١ — الكترودات
٢ — الصهور
٣ — الفلز المتجمد
٤ — لوح القاعدة
٥ — حمام اللحام
٦ — شرائح
٧ — اتجاه حركة الشريحة

ولا بد ان تنتشر فى المستقبل القريب ، طريقة اللحام نصف الاوتوماتى بالخرطوم ، مع استخدام انبوبة بدلا من سلك اللحام ، تكون مملؤة بمسحوق خاص يعوض عن المادة المساعدة للصهر (الكترودات مسحوقة) . وطريقة اللحام هذه ، مريحة بصورة خاصة لانتاج اللحامات التركيبية فى موقع العمل .



شكل (٤ — ١١) اللحام نصف الاوتوماتى
أ) جهاز اللحام نصف الاوتوماتى :
١ — محول اللحام ، ٢ — صندوق الجهاز ، ٣ — مكب الاسلاك ، ٤ — اسطوانات التغذية ، ٥ — خرطوم مرن ، ٦ — ماسك وقمع الصهوريات ٧ — القطعة المراد لحامها ب) ماسك موديل 5—Ддш ١ — قصبة انبوبية ، ٢ — قمع للصهوريات ، ٣ — مصب بوابى ، ٤ — قبضة ذات ازرار تحكم



ب

شكل (٤ — ١٢) اللحام نصف الاوتوماتى لاضلاع التقوية فى العتبات

٣ — اللحام بالقوس الكهربائى المحجب بالغاز

ان الطريقة الاكثر انتشارا من بين مختلف طرق اللحام بالقوس المحجب بالغاز ، هى طريقة اللحام بالقوس المحجب فى جو من الغازات الواقية : اللحام فى جو من ثانى اكسيد الكربون ، واللحام فى جو من الارجون (argon welding) .

يستخدم اللحام فى جو من ثانى اكسيد الكربون، للفولاذ المنخفض الكربون. ويجهز الغاز من منفث خاص ، ثم يحيط عند تسربه من المنفث بسلك اللحام المصهور ، الذى يمكن ان يغذى به موضع اللحام اوتوماتيكيا .

ان افضلية طريقة اللحام هذه ، تتلخص فى انتاجيتها العالية وقلة تكاليفها ، بالاضافة الى عمق الاختراق الكبير . ونظرا لارتفاع درجة حرارة تيار الغاز الواقى ، المسخن بالقوس الكهربائى ، فان المعدن يبرد بيطء ، وتصبح الدرزة الملحومة مرصوصة ومتماسكة . ان امكانية اتمتة عملية اللحام بدون استخدام مواد مساعدة للصهر ، تجعل طريقة اللحام هذه ، واسعة الآفاق جدا من الناحية العملية .

ان طريقة اللحام بالقوس الكهربائى فى جو من الارجون ، تستخدم على الاغلب للحام القطع الالومنيومية ، وكذلك للحام الالواح الرقيقة المصنوعة من الفولاذ السبائكى العالى الاشابة ، غير القابل للصدأ ، ومن الفولاذ المقاوم للحرارة .

ويتم اللحام بالقوس الكهربائى فى جو من الارجون ، بمساعدة منفث خاص ، يمر فى داخله سلك لحام لا ينصهر من مادة التنجستن ، يقوم بتوليد وصيانة القوس الكهربائى . اما غاز الارجون الواقى ، فيحيط بالطرف السفلى لسلك اللحام (الالكترود) . ويدخل فى حوض اللحام ، معدن حشو على هيئة اسلاك . وعند لحام القطع الانشائية الالومنيومية ، يمكن كذلك استخدام اسلاك لحام (الكترودات) تنصهر .

٤ – انواع اخرى من اللحام

اللحام النقطى (spot welding) — ان اللحام النقطى لا يستخدم فى الوقت الحاضر ، استخداما ملموسا فى لحام القطع الانشائية الفولاذية ، وذلك لعدم وجود امكانية لضمان مقاومة ثابتة للدرزات الملحومة ، عند لحام القطع الفولاذية الثخينة .

اللحام بالغاز (gas welding) — ان احتراق الاسيتيلين فى تيار من الاكسيجين ، يولد درجة حرارة عالية (٣٢٠٠° مئوية) ، تؤدى الى انصهار التحام المعدن الاساسى ومعدن الحشو ، الذى يكون على هيئة اسلاك تدخل فى الشعلة الغازية . ان اللحام بالغاز قليل الانتاجية ، لذا فانه لا يستخدم الا نادرا ، وبصورة اساسية فى اعمال التصليح .

٥ – لحام القطع الانشائية الالومنيومية

كانت القطع الالومنيومية لفترة طويلة من الزمن ، غير قابلة للحام ، وذلك لان الالومنيوم المنصهر يتحد بقوة مع الاكسيجين ويكون طبقة رقيقة من الاكسيد على قطرات المعدن المنصهر ، تؤدى الى عرقلة عملية الانصهار . وعندما تجرى عملية اللحام فى جو من الغاز الخامل ، مثل غاز الارجون ، فان طبقة الاكسيد الرقيقة هذه ، لا تتكون بتاتا .

ويمكن القيام بعملية اللحام باستخدام اسلاك لحام (الكترودات) لا تنصهر ، من التنجستن ، بالاضافة الى مادة حشو من الاسلاك الالومنيومية ، التى تعتبر مثالية بالنسبة للالواح التى يتراوح ثخنها من ١ الى ٦ — ٨ مم . ويكون الامر عمليا ومنطقيا ، عند لحام الالواح التى يتراوح ثخنها بين ٦ — ٤٠ مم ، باستخدام اسلاك لحام (الكترودات) تنصهر ، او الافضل بواسطة اللحام الاوتوماتى باستخدام اسلاك الومنيومية يتراوح قطرها بين ١,٥ — ٣ مم . ويستخدم كذلك اللحام اليدوى بالقوس الكهربائى ، مع كسوة خاصة للالكترودات ، يمكن ان تتحد كيميائيا مع اكسيجين طبقة الاكسيد الرقيقة ، او تحللها الى املاح مذابة .

ان الضمانة الاكيدة للالتحام الجيد للقطع الانشائية الالومنيومية ، هى النقاوة الكيميائية للقطع الالومنيومية والاسلاك ، وكذلك تحضير او تهيئة السطوح المراد لحمها ، تحضيرا جيدا لعملية اللحام (ازالة الشحومات — degreasing ، المعالجة فى حمام حمضى — pickling والتنظيف — cleaning) .

ان عملية لحام القطع الانشائية الالومنيومية ، تتطلب حتما اتباع النظام التكنولوجى المعين بكل دقة ، وذلك لان الاخلال بهذا النظام ، يؤدى الى تردى نوعية الدرزات الملحومة (اللحامات) .

البند الثامن عشر — المقاومات التصميمية للدرزات الملحومة (اللحامات)

ان قيم المقاومات التصميمية للدرزات الملحومة (للحالات التى لا يكون فيها من الضرورى ، أخذ عوامل الخدمة فى الاعتبار) ، مدرجة فى الجدولين (٤ — ٢) و (٤ — ٣) . ان مقاومات الانضغاط

جدول ٤-٢

المقاومات التصميمية R_{ws} (كجم/سم²) للحامات فى القطع الانشائية الفولاذية (حسب المواصفات القياسية للبناء فى الاتحاد السوفيتى)

نوع اللحامات (الدرزات الملحومة)	الرمز	حالة الاجهاد	اللحام الاوتوماتى ونصف الاوتوماتى ، وكذلك اللحام اليدوى بالكترودات من النوع :				
			342 و 342A		360A	365	
			فولاذ ٣ — فولاذ ٤	ماركة فولاذ القطعة الانشائية الملحومة			
			t < ٢٠ مم	15TC, 14T2 t = ٢١ — ٣٢ مم	10T2C, 10T2GJI 15XCHJI	10XCHJI	
لحامات تناكبية كذلك :	R_{ws}	الشد :	٢١٠٠	٢٩٠٠	٢٨٠٠	٢٩٠٠	٣٤٠٠
أ) عند اللحام الاوتوماتى ونصف الاوتوماتى ، مع استخدام اللحام اليدوى ، مع استخدام الطرق الثانية للتحكم فى نوعية اللحامات :	R_{wy}	طرق عادية	٢١٠٠	٢٩٠٠	٢٨٠٠	٢٩٠٠	٣٤٠٠
		طرق واقية	٢١٠٠	٢٩٠٠	٢٨٠٠	٢٩٠٠	٣٤٠٠
ب) عند اللحام اليدوى بالقوس الكهربائى ، مع استخدام الطرق الثانية للتحكم فى نوعية اللحامات :	R_{wy}	طرق عادية	١٨٠٠	٢٥٠٠	٢٤٠٠	٢٥٠٠	٢٩٠٠
		طرق واقية	١٨٠٠	٢٥٠٠	٢٤٠٠	٢٥٠٠	٢٩٠٠
كذلك لحامات زاوية	R_{wcs}	قص	١٣٠٠	١٧٠٠	١٧٠٠	١٧٠٠	٢٠٠٠
	R_{wy}	انضغاط وشد وقص	١٥٠٠	٢٠٠٠	٢٠٠٠	٢٠٠٠	٢٤٠٠

ملحوظة : ان استخدام الطرق الواقية للتحكم فى نوعية اللحامات يجب ان يكون مشروطا فى المشروع الانشائى .

جدول ٤-٣

المقاومات التصميمية R_w (كجم/سم^2) للحامات المنجزة بواسطة اللحام بالقوس الكهربائي في جو من الارجون ، في القطع الالمنيومية ، وكذلك بالنسبة للمعدن الاساسي ، في المنطقة المتأثرة بالحرارة (حسب المواصفات الفنية لبناء في الاتحاد السوفيتي)

نوع الحامات (المدرزات الملحومة)	حالة الاجهاد	الرمز	مأركة سبيكة القطعة الإنشائية الملحومة								
			AMg	AMg6	AMg6l	AJl31-T	AJl31-T1	AJl33-T1	AB-T	ABT-1	B92-T
لحامات تناكبية	الضغط على الحافة	$R_{sv.c}$	٧٠٠	١٢٠٠	١٦٠٠	٦٠٠	٧٥٠	١٠٠٠	٨٠٠	١١٠٠	١٥٠٠
	الضغط على الانحناء	$R_{sv.f}$	٧٠٠	١٢٠٠	١٦٠٠	٦٠٠	٧٥٠	١٠٠٠	٨٠٠	١١٠٠	١٥٠٠
	الشد	$R_{sv.t}$	٥٠٠	١٠٠٠	١٣٠٠	٤٥٠	٦٠٠	٨٠٠	٦٥٠	٩٠٠	١٢٠٠
كلك	قص	$R_{sv.sh}$	٣٠٠	٥٠٠	٨٠٠	٣٥٠	٤٥٠	٦٠٠	٥٠٠	٦٥٠	٩٠٠
لحامات زاوية	الضغط وشد والتحناء وقص	$R_{sv.l}$	٣٥٠	٤٥٠	٨٥٠	٤٠٠	٥٠٠	٦٥٠	٥٥٠	٧٠٠	١٠٠٠

ملحوظة : ان منطقة المعدن الاساسي للقطع الإنشائية الملحومة ، المتأثرة بحرارة درزة لحام واحدة ، تحدد على انها مجموع القيم $z = 3.5\ s_{sv}$ ، الموضوعة في كل جانب من جانبي محور الدرزة الملحومة (للحام) .

والقص والتصميمية، للحامات التناكبية (butt welds) ، التي تنتج باستخدام الكترودات من النوعين 342 و E-42A ، في القطع الانشائية المصنوعة من الفولاذ — ٣ والفولاذ — ٤ ، وباستخدام الكترودات من النوعين 350A و 355 ، في القطع الانشائية المصنوعة من الفولاذ السبائكي المنخفض الاشابة ، تؤخذ مساوية للمقاومات التصميمية للمعدن الاساسي . وتكون قيم مقاومات الشد التصميمية لهذه اللحامات ، مختلفة تبعا لطريقة اللحام المتبعة ، وكذلك للشروط التي يجب توفرها بالنسبة لنوعية الالكترودات واللحام والتحكم فيه . واذا كانت وصلة التناكب منجزة بواسطة اللحام الاوتوماتي او اليدوي ونصف الاوتوماتي، باستخدام الكترودات عالية الجودة، واتباع طرق اضافية راقية للتحكم في نوعية اللحامات (اشعة اكس ، اشعة جاما — gamma-rays ، الطرق المغنطيسية الكهربائية ، الاختبار ما بعد السمعي — ultra-sonic ، وغير ذلك) ، عندئذ تؤخذ مقاومات الشد التصميمية ، مساوية للمقاومات المأخوذة بالنسبة للمعدن الاساسي . ويمكن استخدام مثل هذه الوصلات التي تحتاج الى اهتمام خاص ، في الاجزاء المهمة فقط ، من القطع الانشائية . وفي حالة اتباع الطرق العادية للتحكم في نوعية اللحامات (الفحص بالعين — visual inspection ، قياس اللحامات او الدرزات الملحومة ، الاختبار بالثقب drill test ، الاختبار الايدرولي او الاختبار بالكيروسين ، وغير ذلك) ، تكون مقاومات الشد التصميمية للحامات التناكبية (وصلات التناكب) ، المنجزة باللحام اليدوي او نصف الاوتوماتي ، اقل مما هي عليه في المعدن الاساسي (جدول ٤ — ٢) .

البند التاسع عشر — انواع الوصلات الملحومة وتصميمها تبعا لتأثير القوى المحورية

١ — تصنيف الوصلات الملحومة

توجد الانواع التالية من تصاميم الوصلات الملحومة :

١) وصلات تناكب (butt joints) ،

٢) وصلات تراكب (lap joints) ،

٣) وصلات مؤلفة (composite joints) ،

٤) وصلات شكل — T او وصلات زاوية (corner joints).

ويبين الجدول (٤ — ٤) اسماء اللحامات (الدرزات الملحومة) وانواع الوصلات الملحومة . وتصنف اللحامات (الدرزات الملحومة) التي يتم بواسطتها لحام او انجاز الوصلات ، الى الانواع التالية ، طبقا لعدد من الخصائص ، وهي :

١) تبعا لوضعها على القطع الملحومة — لحامات سفلية ، لحامات رأسية ، لحامات افقية ولحامات علوية (شكل ٤ — ١٣) ،

ب) تبعا لتصميم اللحامات — لحامات تناكب ولحامات زاوية وتقسم اللحامات الزاوية تبعا لوضعها بالنسبة للقوى المؤثرة، الى لحامات زاوية جانبية، ولحامات زاوية طرفية(end fillet welds)،

ح) تبعا للطريقة المتبعة في تشكيل حافات او اطراف الالواح المعدنية — لحامات شكل — V ، لحامات شكل — X ، لحامات — K ولحامات شكل — U (جدول ٤ — ٥) ،

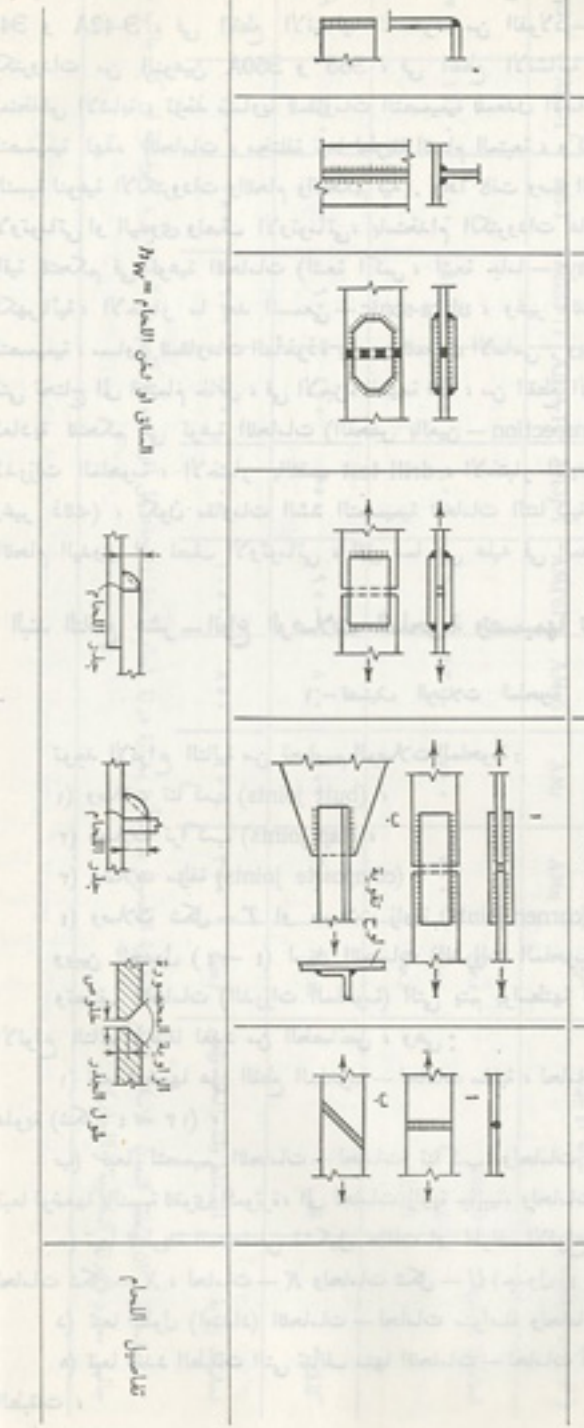
د) تبعا لطول (امتداد) اللحامات — لحامات متواصلة ولحامات متقطعة ،

ه) تبعا لعدد الطبقات التي تتألف منها اللحامات — لحامات ذات طبقة واحدة ولحامات متعددة الطبقات ،

جدول ٤–٤

انواع اللحامات واوصلات الملحومة

انواع الوصلات الملحومة			تفاصيل اللحام
نوع اللحام	وصلات تناكب		
لحام تناكب	لحام زاوى		
	طرق	وصلات تراكب	
	جانبى		
		وصلات مؤلفة	
		تناكبى طرق جانبى	
		وصلات T – شكل	
		وصلات زاوية	



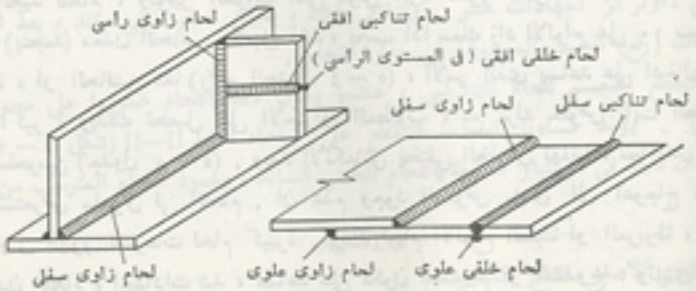
جدول ٤–٥

تصنيف اللحامات تبعا لطريقة تشكيل حافات الالواح

نوع اللحام تبعا لطريقة تشكيل الحافات	رسم تخطيطى يبين كيفية تشكيل حافات الالواح	تستخدم عندما يبلغ ثخن اللوح t مم :	ملحوظات
بدون تشكيل	a=0.5-2.0mm	حتى ٨–١٠	
شكل – V	α=60° b=2mm a=2-3mm	من ١٠–٢٠	
شكل – X	α=45-60° b=2-3mm a=3-4mm	اكثر من ٢٠	a – خلوص ، b – طول الجلد ، α – الزاوية المحصورة
شكل – K	α=45-55° a=3-4mm	كذلك	
شكل – U	a=3-4mm	كذلك	
شكل – I فى حالة اللحام الاوتوماتى	α=60° b=0.5-0.8t a=1-3mm	اكثر من ١٦	يتم اللحام عند a حتى ١٦ مم ، باستعمال الوصلات المربعة ، وبخلوص يبلغ امم

و) تبعا للغرض المرجو من اللحامات — لحامات شغالة (تنقل القوى) ، ولحامات انشائية او لحامات توصيل. ان رموز اللحامات وابعادها ، المستخدمة فى الرسوم التخطيطية ، مدرجة فى الجدول (٤ — ٦) .

وعادة يذكر حجم اللحامات الغالب على الرسم التخطيطى المعين ، ويذكر بالاضافة اليه



شكل (٤ – ١٣) تصنيف اللحامات من حيث موقعها فى الفراغ

نوع الالكترودات ، في ملحوظة تكتب بقرب العنوان (اسم الرسم التخطيطي) ، في الزاوية السفلى اليمنى من الورقة . ولا تكتب على رسوم اللحام مباشرة اية ابعاد او حجوم ، ما عدا تلك الابعاد التي تختلف عن حجم اللحامات الغالب على تلك الرسوم .

اما الاشارات او التعليمات الخاصة بتشكيل الحافات بالمكنات ، فلا تذكر في الرسوم التخطيطية ، الا عندما تكون مختلفة عن الاشارات او التعليمات العادية المتبعة (جدول ٤ — ٥) .

٢ – وصلات التناكب

ان استخدام وصلات التناكب لربط الالواح المعدنية ، هو عمل منطقي جدا . ويمكن استخدام هذه الوصلات ايضا ، عند توصيل العتبات التي على شكل — I ، والتي على شكل مجرى

جدول ٤–٦

رموز اللحامات (الدوزات الملحومة)

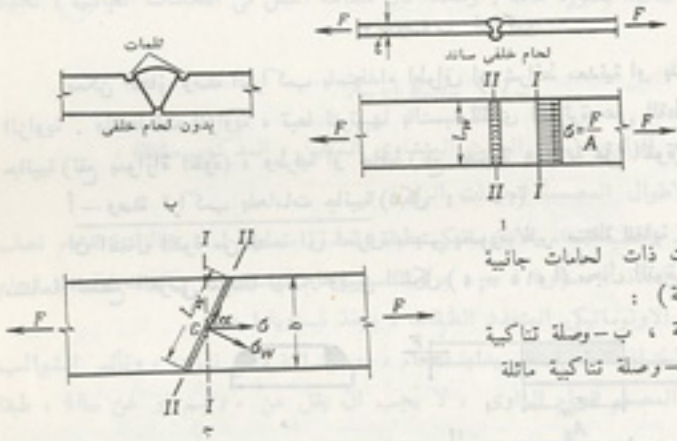
نوع اللحامات	الرموز	
	لحامات منجزة في المصانع (لحامات تجميع)	لحامات منجزة اثناء عملية الانشاء (لحامات تركيب)
لحامات تناكبية		
لحامات زاوية متواصلة (h_w – حجم ساق اللحام ، مم)	h_w=8mm	
لحامات زاوية متقطعة	h_w=8mm	h_w=8mm

(ـــ) ، والزوايا . وعند تصميم وصلات التناكب ، لا بد من التفكير بجد حول امكانية تحقيق الاختراق الجيد للحام ، وتوفير الظروف التي تؤمن حرية تطور تشوهات اللحام (الانكماش) ، عندما يبرد (ينجمد) معدن اللحام . ولاجل ذلك ، يجب اذا سمك زاد الالواح على ١٠ مم ، تشكيل حافة واحدة ، او الحافتين معا (راجع الجدول ٤ — ٥) ، الامر الذي يساعد على ادخال الالكترود الى عمق اكبر ، وبذلك تحصل على الاختراق المطلوب ، مع ترك خلوص ثابت الحجم ، بين اللوحين الملحومين (جدول ٤ — ٥) . ويعد الانكماش يختفي الخلوص نهائيا ، مما يدل على وجود انكماش مستعرض ملموس في اللحام . ان عدم وجود الخلوص يؤدي الى اعوجاج (warping) الالواح ، والى ظهور تشوهات لحام كبيرة . وعند لحام الالواح المثبتة او المربوطة ، تظهر بعد انجماد معدن اللحام ، اجهادات شد ، تساعد على تكون الصدوع او الشدوخ ، وتؤدي الى انهيار اللحام .

وفي حالة اللحام الاوتوماتي ، ونتيجة لشدة التيار العالية ، لا يتم تشكيل الحافات دائما ، الامر الذي يقلل من حجم المعدن المرسب (معدن اللحام) . وعندما يصل ثخن الالواح او القطع الفولاذية الى ١٦ مم ، يتم اللحام الاوتوماتي من جهة واحدة (حافة واحدة) ، وبطبقة واحدة بدون تشكيل الحافات ، ولكن مع ترك خلوص معين بينها . واذا زاد ثخن الالواح او القطع على ١٦ مم ، فيتم تشطيب الحافات بزاوية قدرها ٦٠° . وتجرى عملية اللحام الاوتوماتي على الواح ساندة (backing strips) موقتة (من النحاس) ، او دائمة (من الفولاذ) ، على طبقة من المواد المساعدة للصهر ، او باللحام الخلفي الساند المنجز سلفا .

وللقيام بعملية اللحام الاوتوماتي من الطرفين (t > ٢٤ مم) ، يستخدم شطب شكل — X ، بطول جذر يساوي حوالي $\frac{1}{3}$ ثخن الالواح الملحومة .

وعند لحام الالواح الالومنيومية التي يصل ثخنها الى ١٠ مم ، يمكن عدم تشطيب حافات الالواح ، اما ابتداء من ثخن ١٢ مم فما فوق ، فيجب تشطيب الحافات حتما . والخلوص بين الالواح التي يصل ثخنها الى ١٠ مم ، يؤخذ مساويا لـ ١ مم ، اما عندما يصل ثخن الالواح الى ٣٠ مم ، فيتراوح الخلوص بين ١,٥ — ٢ مم .



ب

ا

ج

شكل (٤ — ١٤) وصلات ذات لحامات جانبية (تناكبية) :

أ – وصلة تناكبية مستقيمة ، ب – وصلة تناكبية ناقصة (معيبة) ، ج – وصلة تناكبية مائلة

ويجرى حساب مقاومة وصلة التناكب المعرضة لتأثير القوى المحورية ، على فرض توزيع الاجهادات توزيعا منتظما على مساحة المقطع العرضي للحام (شكل ٤ — ١٤ ، أ) . وعند وجود عيوب اللحام (شكل ٤ — ١٤ ، ب) ، يكون مجال القوة المار في داخل اللوح ، غير منتظم ، ويولد عزم انحناء اضافي ، وتركز اجهادات خطر . ولتلافي ذلك ، يجهز لحام خلفي ساند ، بعد الاستعمال التام لتضمنات (رقع) الخبث الموجودة في جذر اللحام .

ان المقطع المصمم للحام التناكبي ، عندما يكون ذلك اللحام عموديا على محور القطعة (وصلة قائمة) . يؤخذ مساويا لمساحة المقطع على امتداد الخط II—II (شكل ٤ — ١٤ ، أ) ، ولكن بدون ان نأخذ في الاعتبار التقوية باللحام الخلفي الساند ، وعمود اللحام المترسب من الاعلى ، اي :

$$A_w = L_w t$$

حيث t — الثخن الاصغر للقطع الملحومة ،

L_w — الطول المصمم للحام ، ويساوي الطول الفعلي ناقصا ١٠ مم (وهو السماح الذي يأخذ في

الاعتبار تكون النقرة — (crater) ، والاختراق الضعيف عند اطراف اللحام) . واذا امتد اللحام الى الالواح الساندة ، يمكن عدم طرح الـ ١٠ مم المذكورة .

ويراجع الاجهاد الموجود فى اللحام ، بواسطة الصيغة التالية :

$$\sigma_w = \frac{F}{A_w} = \frac{F}{L_w t} \leqslant R_w \qquad (4-1)$$

حيث R_w — مقاومة الشد او الانضغاط التصميمية للحام التناكبى ، وتؤخذ طبقا للجدول (٤ — ٢) .

ان مقاومات الشد التصميمية للوصلات الناتجة ، الملحومة باللحام اليدوى او نصف الاوتوماتى ، عند اتباع الطرق العادية للتحكم فى نوعية اللحام ، تكون اقل مما عليه فى المعدن الاساسى الملحوم . ولهذا السبب يجوز استخدام الاجهاد فى المعدن الاساسى ، على طول المقطع I—I ، استخداما كليا (شكل ٤ — ١٤ ، أ) .

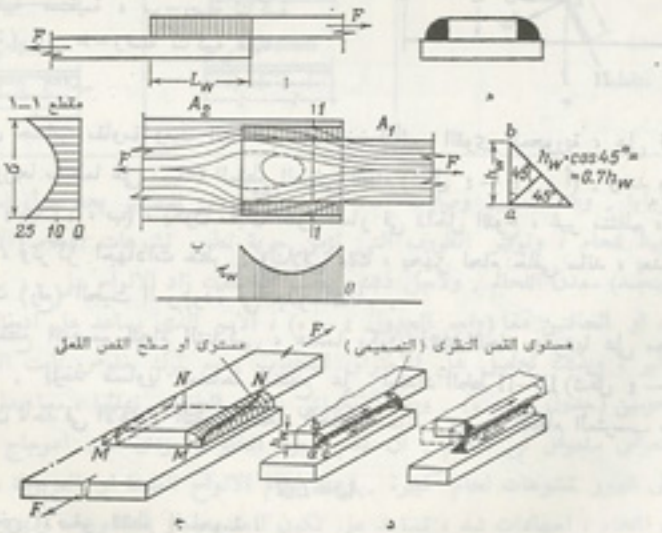
ان تصميم الوصلة المائلة ، التى تكون مقاوماتها مساوية لمقاومة المعدن الاساسى ، مبين فى الشكل (٤ — ١٤ ، ح) . ولا يجب ان تزيد الزاوية α ، المحصورة بين اتجاه القوة المحورية (الطولية) ، واتجاه اللحام المائل ، على ٦٥° (تؤخذ هذه الزاوية فى الواقع ، مساوية لـ ٦٠°) . وعندما تؤخذ مثل هذه الزاوية ، يمكن عندئذ عدم مراجعة مقاومة الوصلة المذكورة .

٣ — وصلات التراكب

يمكن انجاز وصلة التراكب باستخدام اطواق او شرائط معدنية او بدونها ، بواسطة اللحامات الزاوية . واللحامات الزاوية ، تبعا لترتيبها بالنسبة للقوى المؤثرة على القطع الملحومة ، قد تكون جانبية (تقع بموازاة القوة) ، وطرفية او حافية (تقع بصورة عمودية على القوة) .

أ — وصلة تراكب بلحامات جانبية (شكل ٤ — ١٥)

ان انتقال القوة من قطعة الى اخرى ، يتم بصورة غير منتظمة للغاية ، على طول اللحام وعلى مساحة المقطع العرضى للوصلة ايضا. ويبين الشكل (٤ — ١٥، أ) مجال القوة فى القطعة ، وقد تركز



شكل (٤ — ١٥) وصلات ذات لحامات جانبية

عند اللحامات ، اما الشكل (٤ — ١٥ ، ب) فيبين الرسم البيانى لتوزيع الاجهادات على طول اللحام . ولكن فى حالة تأثير الاحمال الاستاتيكية ، بعد وصول الاجهادات فى النقاط الطرفية للحامات ، الى قيمة مساوية لنقطة الخضوع ، مع الاستمرار فى التحميل ، فسوف يقل عدم الانتظام فى توزيع الاجهادات على طول اللحام . وسوف تتعادل الرسوم البيانية للاجهادات ، ويحدث الانهيار او التصدع ، بطريقة القص على امتداد السطح المميز بالخط MN (شكل ٤ — ١٥ ، حـ) . ولهذا الخط طرفان منحنيان فى البداية والنهاية (عند النقاط الاكثر اجهادا) ، وقسم مستقيم فى منتصف اللحام . ان هذا النوع من التصدع يسمح بان يكون الحساب او التصميم مبنيا على اساس الافتراض بان اجهادات القص موزعة بانتظام على اصغر مساحة للمقطع العرضى للحام ، تمر خلال الحلقوم (throat) الاصطلاحى لذلك اللحام (بدون أخذ التحدب فى الاعتبار ، شكل ٤ — ١٥ ، د) . وعند تساوى ساقى اللحام، فان هذا الحلقوم يساوى $0{\cdot}7h_w$، حيث h_w تمثل ساق اللحام (شكل ٤ — ١٥، هـ) .

وبما انه فى حالة اللحام الاوتوماتيكى ونصف الاوتوماتيكى ، يكون الاختراق عند جذر اللحام ، اعمق مما هو عليه فى حالة اللحام اليدوى ، وانه عندما تكون مهمة اللحام هى مقاومة القص ، يشارك قسم من المعدن الاساسى فى هذه المقاومة ، نرى بان الحلقوم الاصطلاحى (النظرى) للحام ، يؤخذ مساويا للمقدار $k_w h_w$ بصورة عامة . وهكذا فان مساحة القص فى اللحامات الجانبية ، تحدد بالصيغة التالية :

$$A_w = k_w h_w \sum L_w \qquad (4-2)$$

حيث h_w — ثخن اللحام الزاوى (ساق المثلث المتساوى الساقين ، المذكور سابقا) ،

$\sum L_w$ — مجموع الاطوال المصممة للحامات الزاوية ،

k_w — عامل يؤخذ بالنسبة للحام الاوتوماتيكى بطبقة واحدة، مساويا لـ ١، وبالنسبة للحام نصف الاوتوماتيكى بطبقة واحدة ، مساويا لـ ٠,٨ ، وبالنسبة للحام اليدوى ، وكذلك بالنسبة للحام الاوتوماتيكى ونصف الاوتوماتيكى المتعدد الطبقات ، يؤخذ مساويا لـ ٠,٧ .

ونتيجة لوجود الاختراق الضعيف فى بداية اللحام ، ووجود النقرة فى نهايته ، وتأثير الشوائب الطارئة ، فان الطول المصمم للحام الزاوى ، لا يجب ان يقل عن ٤٠ مم او عن $4h_w$ ، طبقا للمواصفات القياسية .

وعندما تكون اللحامات الجانبية طويلة جدا ، يمكن الوصول الى المقاومة القصوى فى النقطتين M و N (شكل ٤ — ١٥، حـ) قبل ان تتساوى او تتعادل الاجهادات على طول اللحام باجمعه . ولهذا السبب فان المواصفات القياسية ، تحدد كذلك الطول المصمم الاقصى للحامات الجانبية فى الوصلات ، بطول لا يزيد على $60h_w$ ، باستثناء الوصلات التى تؤثر فيها القوى على امتداد اللحام باجمعه ، كما فى لحام الشفهات فى العتبة ، حيث لا يكون طول اللحام محددا .

وتعتمد مقاومة اللحامات الجانبية ايضا ، على ثخنها ، حيث انه بزيادة طول ساق اللحام ، تقل المقاومة القصوى بعض الشئ . ان ثخن (مقاس) اللحام محدد فى المواصفات القياسية ، ويؤخذ بحيث لا يزيد على $1{\cdot}2t$ (t — تمثل الثخن الاصغر للقطع المراد لحامها) . ومن الافضل الابتعاد عن استخدام لحامات يزيد ثخنها على ٢٠ — ٢٥ مم . والثخن (المقاس) الاصغر للحامات هو ٤ مم . والقيم الصغرى لاثخان اللحامات الزاوية ، التى ينصح باتخاذها ، تبعا لثخن الالواح المراد لحامها ، مدرجة فى الجدول (٦ — ٦) .

ان حساب وتصميم وصلات التراكب ذات اللحامات الجانبية ، المعرضة لتأثير القوى المحورية ، بالاستناد الى فرضية النظام توزيع اجهادات القص τ_w ، يجرى بموجب الصيغة التالية :

$$\tau_w = \frac{F}{A_w} = \frac{F}{k_w h_w \sum L_w} \leq R_{wf} \qquad (4-3)$$

حيث F — القوة المحورية (الطولية) المصممة (كجم) ،

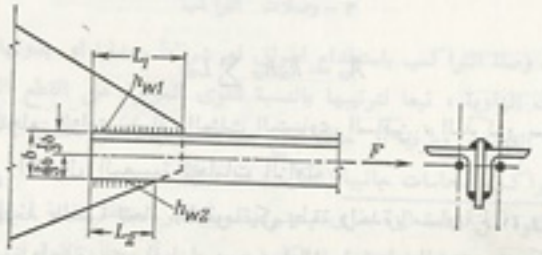
R_{wf} — مقاومة القص التصميمية للحام الزاوى (كجم/سم^2)، المأخوذة طبقا لمعطيات الجدول ٤—٢.

وعادة يؤخذ ثخن اللحام h_w مساويا لثخن القطع الملحومة او اقل منه بعض الشئ ، ويعين الطول الكلى اللازم للحامات ، بموجب الصيغة التالية :

$$\sum L_w \geq \frac{F}{k_w h_w R_{wf}} \qquad (4-4)$$

ويجب ان يكون الطول الانشائى (الحقيقى) للحام اكبر من الطول المصمم ، بما يتراوح بين ١٠ — ٢٠ مم .

وعند احداث مقطع غير متماثل ، مثلا بتثبيت زاويتين الى احد الالواح (شكل ٤ — ١٦) ، يؤخذ فى الاعتبار توزيع القوى غير المنتظم بين اللحامات ، التى تنقل مجال القوة من الزاويتين الى اللوح .



شكل (٤ — ١٦) وصلة تراكب غير متماثلة

ويمكن اعتبار القوة F ، التى تشد الزاويتين ، بمثابة محصلة مجال القوة الخاص بالاجهادات المتعامدة ، المؤثرة فى مركز ثقل مقطعى الزاويتين .

ومن الواضح ان القوة F تتوزع بتناسب عكسى ، مع المسافات الممتدة من اللحامات الى خط مركز ثقل الزاوية ، الذى يبعد عن ظهرها بمسافة تقدر بحوالى $\frac{1}{3}$ الشفة (الساق) . وتؤخذ هذه القوة عند ظهر الزاوية ، مساوية للمقدار :

$$F_1 = \frac{2}{3} F$$

وعند رأس الزاوية ، مساوية للمقدار :

$$F_2 = \frac{1}{3} F$$

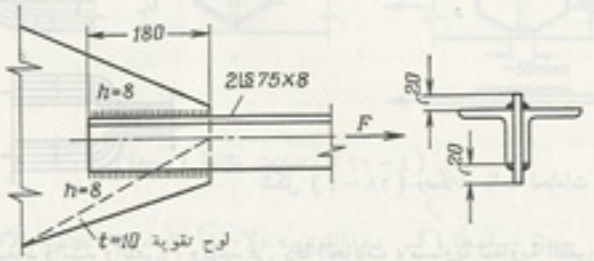
وعندئذ نحصل على معادلة (صيغة) تحديد الطول المصمم $\sum L_1$ للحام ، عند ظهر الزاوية ، من الصيغة (4—4) :

$$\sum L_1 \geq \frac{2}{3} \frac{F}{k_w h_{w.1} R_{wf}} \qquad (4-5)$$

حيث $h_{w.1}$ — تمثل ثخن (مقاس) اللحام عند ظهر الزاوية .

وبما ان القوة من جهة رأس الزاوية ، اقل من ذلك بكثير ، يمكن تقليل ثخن اللحام عند رأس الزاوية . ومن غير المنطقى قص ساق الزاوية ، لتقليل طول اللحام L_2 . ويجب قص الزوايا (ما عدا بعض الحالات النادرة) ، بصورة عمودية على محورها .

مثال ٤ — ١ : يطلب حساب وتصميم اللحام اللازم لوصل زاويتين بحجم ٧٥×٨ مم مع لوح تقوية ثخنه $t = ١٠$ مم (شكل ٤ — ١٧) . هذا مع العلم بان قوة الشد التصميمية فى الزاويتين $F = ٣٢{,}٥$ طن ، وان المادة من الفولاذ نوع BCт.3 ، واللحام يدوى بالكتروردات من النوع 342 .



شكل (٤ — ١٧) رسم توضيحى للمثال ٤ — ١

الحل : تحدد الطول المصمم L_1 بواسطة الصيغة (4—5) ، بعد ان نأخذ ثخن اللحام $h_w = ٠{,}٨$ سم . ونتيجة لوجود زاويتين ولحامين متناظرين لهما ، طول كل منهما L_1 ، يقعان عند ظهرى الزاويتين المذكورتين ، تحصل على ما يلى :

$$L_1 = \frac{\sum L_1}{2} = \frac{2F}{2 \times 3 \times 0.7 h_w R_{w.f}} = \frac{2 \times 42500}{2 \times 3 \times 0.7 \times 0.8 \times 1500} \approx 170 \text{ mm.}$$

نأخذ $L_1 = ١٧٠ + ١٠ = ١٨٠$ مم .

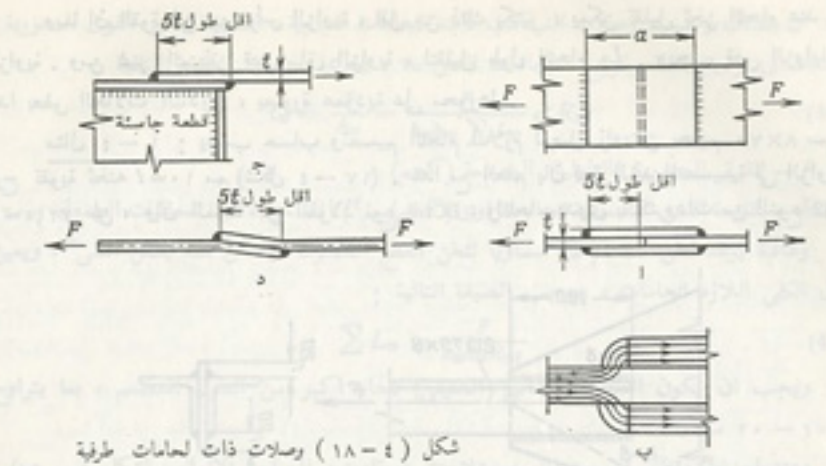
وعند التصميم ، يمكن فى الحالات الضرورية تقليل ابعاد لوح التقوية ، كما يبين الخط المنقط فى الشكل (٤ — ١٧) ، مع الاخذ فى الاعتبار امكانية تقليل طول اللحام عند رأس الزاوية .

وبغض النظر عن بعض الخصائص السلبية للوصلات ذات اللحامات الجانبية (توزيع الاجهادات غير المنتظم) ، فانها تستخدم فى اغلب الاحيان ، نظرا للدونتها التى تزيد قليلا على لدونة الانواع الاخرى من الوصلات ، وذلك لان معامل مرونة القص ($G = ٨٤٠٠٠٠$ كجم/سم^2) ، اصغر من معامل مرونة الشد ، اى معامل يونج ($E = ٢١٠٠٠٠٠$ كجم/سم^2) .

ب — وصلة تراكب بلحامات طرفية (شكل ٤ — ١٨)

عندما توضع الشرائط المعدنية بصورة متماثلة (شكل ٤ — ١٨ ، أ) ، تجد بان اللحامات الطرفية تبدى مقاومة عالية بما فيه الكفاية. ولكن نتيجة للتغير الحاد فى اتجاه مجال القوة (شكل ٤ — ١٨ ، ب) ، تتركز فى جذر اللحام اجهادات كبيرة ، تؤدى الى حدوث التصدع عند وجود انفعالات طولية صغيرة ($\varepsilon = 4 - 6\%$) ، اى يحدث الكسر بطريقة قصيفة، مع انهيار (فى حالة الشد) على امتداد مستوى التلاس بين اللحام وطرف اللوح .

ونتيجة لحالة الشد الموحدة وتوزيع الاجهادات غير المنتظم تماما ، تكون نوعية مثل هذه الوصلة منخفضة نوعا ما . ولهذا السبب فان المقاومة التصميمية ، بغض النظر عن الاجهادات المؤثرة



شكل (٤ – ١٨) وصلات ذات لحامات طرفية

على اللحام (الانضغاط والشد والقص) ، وتؤخذ في كافة الحالات ، مساوية لمقاومة القص التصميمية للحام الزاوي .

وبهذا الشكل ، فان تصميم او حساب اللحامات الطرفية ، يجرى اصطلاحيا بالنسبة للقص ، في اصغر مساحة للمقطع، وهي المساحة التي تعتبر بمثابة المساحة المصممة ، المارة خلال الحلقوم او العنق الاصطلاحي للحام ، المساوي للمقدار $k_w t_w$.

وتبقى صيغة الحساب ، كما كانت عليه في حالة اللحامات الجانبية ، بالشكل التالي :

$$\tau_w = \frac{F}{A_w} = \frac{F}{k_w t_w \sum L_w} \leqslant R_{wf}$$

ان طول الشريط a (شكل ٤ – ١٨ ، أ) ، يؤخذ بحيث لا يقل عن $10t$ ، على ان لا يكون اقل من ٨٠ سم .

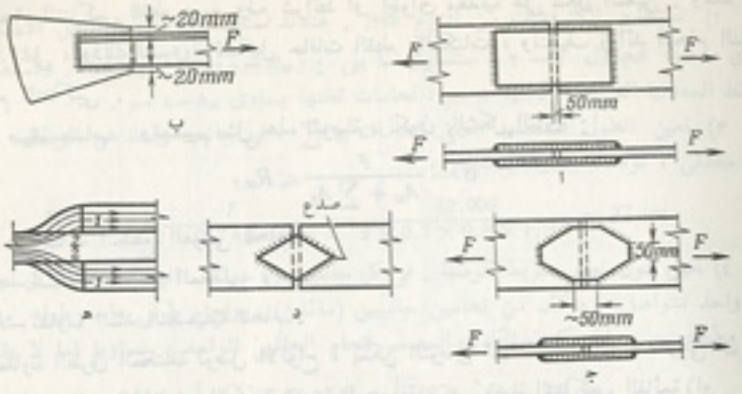
ولا ينصح باستخدام وصلة غير متماثلة بشريط (طوق) معدني واحد ، وذلك لوجود لا تمركزية، تؤدي الى حدوث عزم اضافي .

ويمكن السماح باستخدام وصلة التراكب ذات اللحامات الطرفية ، في حالة واحدة فقط ، وهي اذا كانت احدى القطعتين الملحومتين ، جاسئة الى حد كاف (شكل ٤ – ١٨ ، هـ) ، او على العكس من ذلك ، اذا كانت القطع الملحومة عبارة عن الواح رقيقة قابلة للانثناء (شكل ٤ – ١٨ ، د) . ولتقليل تأثير عزم الانحناء الاضافي في مثل هذه الوصلات ، يجب الا تقل مسافة التراكب (طول الجزء الراكب) عن $5t$ ، حيث t تمثل ثخن القطعة المراد لحامها .

٤ – الوصلات المؤلفة

يطلق على الوصلة اسم وصلة مؤلفة ، اذا احتوت على عدة انواع مختلفة من اللحامات : اللحامات الجانبية والطرفية او التناكبية . وابسط مثال لهذه الوصلات ، هي الوصلة ذات اللحام الاطاري (المحيطي) ، على امتداد المحيط باجمعه (شكل ٤ – ١٩ ، أ ، ب) .

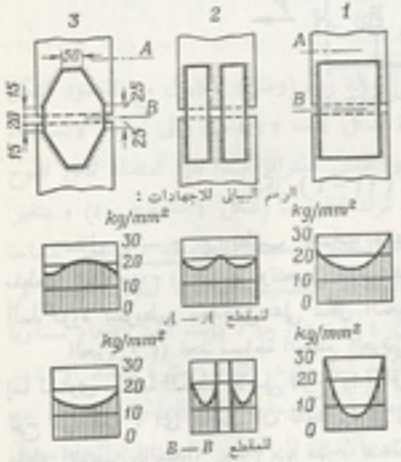
ان السلوك الحقيقي للوصلة المؤلفة ، الذي يعتمد على توزيع القوى بين اللحامات الجانبية والطرفية ، يمكن تفسيره كما يلي : في بداية تسليط الحمل ، تتحمل اللحامات الطرفية – وهي



شكل (٤ – ١٩) وصلات مؤلفة (موحدة)

اللحامات الاكثر جسؤة – قسطا اكبر من القوى ، ولا تبدأ اللحامات الجانبية الاقل جسؤة بتحمل ما يصيبها من القوى ، الا بعد ان تتشوه اللحامات الطرفية تشوها معينا . ويحدث التصدع (الانهيار) في مرحلة الدونة ، عند التعادل النسبي للاجهادات في كافة اللحامات . ولا ينصح باستخدام مثل هذا النوع من اللحامات ، وذلك بسبب تجاوز التحميل الذي تتعرض له اللحامات الطرفية ، وخاصة عند تأثير الاحمال المتناوبة .

ويتم انتقال مجال القوة بصورة اكثر انتظاما ، في الوصلات التي تحتوي على شرائط معدنية على شكل معين (rhombic) ، مشطوبة بزاوية تتراوح بين ٣٥ – ٤٥° (شكل ٤ – ١٩ ، هـ) . وفي هذه الحالة ، لتجنب التركز الكبير في الاجهادات عند ثغرة الوصلة ، لا يمد اللحام الى منتصف الوصلة ، وتترك فاصلة قدرها ٢٥ سم من كل جهة . ولا ينصح باستخدام الشرائط المعدنية التي على شكل المعين ، ذات الزوايا الحادة (زوايا غير مقطعة)، وذلك بسبب تكون الشدوخ او الصدوع عند زوايا المعين (شكل ٤ – ١٩ ، د) . ولانتقال مجال القوة بصورة اكثر سلاسة ، يجب مد ساق اللحام الى مسافة اكبر ، عند الشريط (اللوح) المعدني الاساسي (شكل ٤ – ١٩ ، هـ) .



شكل (٤ – ٢٠) توزيع الاجهادات في وصلات التناكب (الوصلات التناكبية) ذات الشرائط المعدنية

وعند حساب وتصميم لحامات الوصلة المؤلفة ، يفترض بان الاجهادات (القوى) موزعة بانتظام بين كافة اللحامات ، فتبقى صيغة الحساب كما كانت عليه سابقا (الصيغة 3—4 او 4—4) . ويبين الشكل (٤ – ٢٠) كيفية توزيع الاجهادات على المقطع باجمعه وعلى الشرائط (الالواح) المعدنية .

ويمكن انجاز النوع الثالث من الوصلات المؤلفة ، الذي يستخدم في قطع الشد الانشائية ،

بواسطة اللحام التناكبي للقطع ، مع وضع شرائط او اطواق معدنية على شكل المعين . وهذه الوصلة تكلف ثمنا اغلى ، وذلك لضرورة تشكيل حافات القطع بالمكنات ، وتنظيف زوائد اللحام الناتجة ، بعد اللحام التناكبي .

ان صيغة حساب وتصميم مثل هذه الوصلة ، تكون بالشكل التالي :

$$\sigma = \frac{F}{A_w + \sum A_s} < R_{w.t} \qquad (4-6)$$

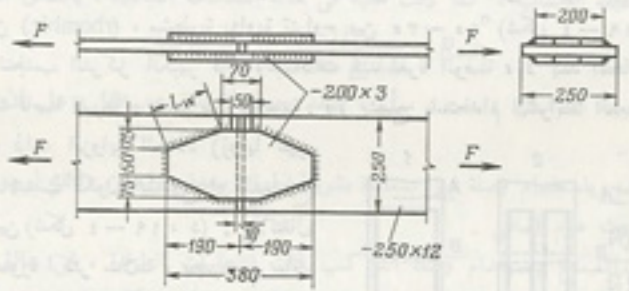
حيث A_w — مساحة المقطع العرضي للحام ،

A_s — مساحة الشريط المعدني ،

$R_{w.t}$ — مقاومة الشد التصميمية للحام .

وبمقارنة الطرق المختلفة لوصل الالواح ، يمكن التوصل الى النتيجة التالية ، وهي ان احسن انواع الوصلات بالنسبة للالواح المعرضة للقوى المحورية ، هي وصلة التناكب القائمة (او الوصلة المائلة ، ذات المقاومة المعادلة لها ، في حالة الشد) . واذا كانت الضرورة تستدعي استخدام الشرائط المعدنية لانجاز وصلة التناكب القائمة ، يجب في هذه الحالة استخدام شرائط معدنية على شكل المعين ، ذات زوايا مقطعة او مقضبة . اما في القطع الانشائية المهمة جدا ، فيكون من الافضل لحام الالواح بواسطة اللحام الاوتوماتيكي ، بدون استخدام شرائط معدنية (او بواسطة اللحام اليدوي او نصف الاوتوماتيكي ، مع اتباع طرق متقدمة للتحكم في نوعية اللحام) .

ومن الافضل ربط (وصل) المقاطع الجاسئة مع الالواح المعدنية ، بواسطة اللحامات الجانبية ، باعتبارها اكثر اللحامات لدونة .



شكل (٤ — ٢١) رسم توضيحي للمثال ٤ — ٢

مثال ٤ — ٢ : يطلب حساب وتصميم وصلة لوحين من الفولاذ ماركة BCr.3 ، ابعاد مقطعها ٢٥٠×١٢ مم ، وتتحمل قوة شد مصممة F قدرها ٦٢ طنا . ويجب ان تصمم الوصلة المذكورة بشريطين معدنيين على شكل المعين (شكل ٤ — ٢١) ، مع استخدام اللحام اليدوي .

الحل : ١) نجد مساحة المقطع العرضي اللازم للشريطين المعدنيين ($2A_s$) ، التي يتضح بانها إما تساوي مساحة المقطع الاصلي للوح (A_p) او تكون اكبر منه قليلا، والا فان تنتقل القوة F من لوح الى آخر ، اي يجب ان نأخذ $2A_s \geqslant A_p$. وانطلاقا من الاعتبارات التصميمية ، نعين ابعاد مقطع اللوحين بالمقدار ٢٠٠×٨ مم ، عندئذ يكون لدينا :

$$2A_s = 2 \times 20 \times 0{,}8 = 32 \text{ سم}^2$$

$$A_p = 25 \times 1{,}2 = 30 \text{ سم}^2$$

وهكذا نرى بان $2A_s > A_p$.

٢) نستخدم الكترودات من النوع 342 . عندئذ نجد بان مقاومة القص التصميمية للحام الزاوي ، طبقا للجدول ٤ — ٢ ، ستساوي ما يلي : $R_{w.t} = 1500$ كجم/سم^2 . ونستخدم بالنسبة للشرائط المعدنية التي يبلغ ثخنها ٨ مم ، لحامات ثخنها يساوي $h_w = 8$ مم .

٣) نعين الطول المصمم الكلي للحامات $\sum L_w$ ، في جانب واحد من الوصلة ، لكل نصف شريط معدني ، بواسطة الصيغة (4—4) :

$$\sum L_w = \frac{F}{2 \times 0.7 h_w \cdot R_{w.t}} = \frac{62{,}000}{2 \times 0.7 \times 0.8 \times 1{,}500} \approx 37 \, cm$$

٤) نعين طول نصف شريط الوصلة . في كل جانب من جوانب الوصلة ، يلحم كل نصف شريط بلحام واحد متواصل ، يتألف من لحامين جانبيين (مائلين) ، ولحام طرفي واحد طوله ٥٠ مم . وبذلك يجب ان يكون الطول المصمم للحام الجانبي الواحد ، مساويا لما لا يقل عن :

$$L_w = \frac{1}{2}(\sum L_w - 5) - \frac{1}{2}(37 - 5) = 16 \, cm$$

ويجب ان نجعل الطول الانشائي اكبر من ذلك قليلا (١٦+١=١٧ سم) ، مع الاخذ في الاعتبار ، النقرة الموجودة في نهاية اللحام ، والاختراق الضعيف المحتمل في بداية اللحام . ولتقليل تأثير تركز الاجهادات في الزوايا وعند الخلوص الموجود بين اللوحين الملحومين ، يجب ترك قسم من شريط الوصلة عند الخلوص ، بدون لحام ، لمسافة ٥٠ مم ، ويجب ان يكون اللحام الجانبي المصمم، عند الزاوية، موازيا لحافة اللوح لمسافة ١٠ مم (شكل ٤ — ٢١) . وهكذا نستخرج طول نصف الشريط ، كما يلي :

$$\frac{1}{2}L_s = \sqrt{17^2 - 7.5^2} + 3.5 \approx 19 \, cm$$

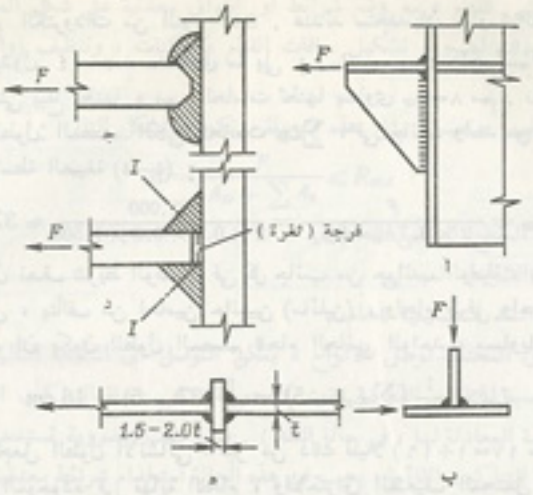
اي يساوي ١٩٠ مم تقريبا .

٥) نستخدم شريطين ابعاد مقطعهما العرضي ٢٠٠×٨ مم ، وطولهما ١٩٠×٢=٣٨٠ مم ، اما ثخن (مقاس) اللحام فهو $h_w = 8$ مم .

٥ — وصلة تناكب على شكل I

ان هذا النوع من الوصلات ، يستخدم مثلا في حالة ربط (وصل) الكابول مع العمود (شكل ٤ — ٢٢ ، أ) ، او وصل الالواح مع بعضها بزاوية قائمة (شكل ٤ — ٢٢ ، ب) والى آخره . وتستخدم هذه الوصلة على نطاق واسع ، نتيجة لبساطة تركيبها . وتتطلب اختراقا جيدا على امتداد ثخن اللوح الملحوم باجمعه (شكل ٤ — ٢٢ ، حـ) ، وذلك لانه عند ترك ثخرة ما (شكل ٤ — ٢٢ ، د) ، يتغير بحدة اتجاه مجال القوة . وفي الحالة الاخيرة ، يؤخذ المقطع المصمم للحامات ، باصغر مساحة ممكنة (شكل ٤ — ٢٢ ، هـ المقطع 1—1) ، وتؤخذ المقاومة التصميمية مساوية لمقاومة القص في اللحامات الزاوية $R_{w.t}$. وفي حالة الاختراق التام (شكل ٤ — ٢٢ ، حـ) ، يؤخذ ثخن اللحام مساويا لثخن اللوح الملحوم ، اما مقاومة اللحام التصميمية ، فتؤخذ تبعا لنوع القوة المؤثرة (ضغط او شد) .

ولا ينصح عادة باستخدام الوصلة المذكورة بصورة مزدوجة (double-tee joint) ، مع استخدام لوح مستعرض (شكل ٤ — ٢٢ ، هـ) ، وذلك لانه بالاضافة الى التغير الحاد في اتجاه مجال القوة ، المار بصورة عمودية على اتجاه الدلفنة في اللوح (الشريط) المعدني ، الملحوم باربعة لحامات ، توجد في هذه الحالة منطقة واسعة نسبيا ، ذات خواص ميكانيكية منخفضة ، على امتداد ثخن اللوح (الشريط) المعدني .



شكل (٤ – ٢٢) وصلات تناكب على شكل T

بالاضافة الى ذلك فان الازاحة التبادلية للالواح الملحومة ، التى يمكن توقع حدوثها ، تولد اجهادات انحناء وقص اضافية ، فى الوصلة . ويمكن استخدام مثل هذه الوصلة فى حالة الوصلات المضغوطة ، ولكن يجب عندئذ وضع الواح مستعرضة ثخينة ، بتراوح ثخنها بين (1.5—2t).

البند العشرون – حساب إطاقة او احتمال الوصلات الملحومة

فى القطع الفولاذية الملحومة ، المعرضة مباشرة لتأثير الاحمال المتنقلة والاهتزازية المتكررة وغيرها ، التى يمكن ان تؤدى الى التصدع او الانهيار الكلالى – fatigue failure (راجع البند الثالث عشر ، الفقرة ٢) ، يجب مراجعة اطاقة او احتمال الوصلات الملحومة ، بالاضافة الى مراجعة اطاقة المعدن الاساسى .

وعند حساب اطاقة الوصلات الملحومة ، تقلل (تخفض) المقاومات التصميمية ، بضربها فى العامل γ ، الذى تحدد قيمته من الصيغة (41—2) كالاتى :

$$\gamma = \frac{1}{(ak_e \pm b) - (ak_e \pm b)\, k_{rs}}$$

ان قيم العاملين a و b ، وكذلك قيم نسبة تراوح دورة الاجهاد $k_{rs} = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ ، تؤخذ طبقا لما هى عليه بالنسبة للمعدن الاساسى (راجع الصفحة ٦٨) . وتؤخذ قيم المعاملات الفعالة لتركز الاجهادات k_e ، من الجدول (٤ — ٧) .

وتجدر الاشارة هنا ، الى ان الطريقة الاساسية او الرئيسية للتخلص من ظاهرة الكلال فى القطع المعدنية الملحومة ، هى اللجوء الى بعض الاجراءات الانشائية (التصميمية) ، التى يقصد منها تقليل تركزات الاجهادات المحتمل ظهورها .

جدول ٤ – ٧

قيم المعاملات الفعالة لتركز الاجهادات k_e ، فى الوصلات الملحومة

المقاطع المصممة	المعاملات k_e للفولاذ	
	الكربونى	السيالكى المتخلفض الاشابة
لحامات تناكبية باستخدام اللحام الاوتوماتيكى	١,٠	١,٠
لحامات تناكبية باستخدام اللحام اليدوى	١,٢	١,٤
لحامات زاوية طرفية على امتداد المقطع المصمم ، باستخدام اللحام اليدوى	٢,٣	٣,٢
كالسابق ، باستخدام اللحام الاوتوماتيكى	١,٧	٢,٤
لحامات جانبية على امتداد المقطع المصمم	٣,٤	٤,٤

وبالاضافة الى ذلك ، فعند مراجعة اطاقة او احتمال الوصلات الملحومة ، تكون كافة المعلومات العامة، المذكورة على الصفحة ٦٨، والخاصة بالمعدن الاساسى، صحيحة ومنطبقة على هذه الحالة ايضا.

البند الحادى والعشرون – الاجهادات الداخلية وظاهرة الانكماش اثناء اللحام

سبق وان ذكرنا بان الاجهادات فى المادة ، يمكن ان تظهر ليس نتيجة لتسليط الاحمال الخارجية وحسب ، بل تظهر ايضا نتيجة لوجود التأثيرات الحرارية . ومن المعروف ان اكثر الاجسام او المواد ، تتمدد عند تسخينها . ويحدد مقدار الاستطالة فى هذه الحالة ، بالمعادلة التالية :

$$\Delta L = \alpha L_0 t \qquad (4—7)$$

حيث ΔL – استطالة القطعة ،

α – معامل التمدد الحرارى (للفولاذ $\alpha = ١٢ ,٠٠٠٠٠$ عند حوالى ٢٠° مئوية ، و $\alpha = ١٨ ,٠٠٠٠٠$ عند حوالى ٣٠٠° مئوية) .

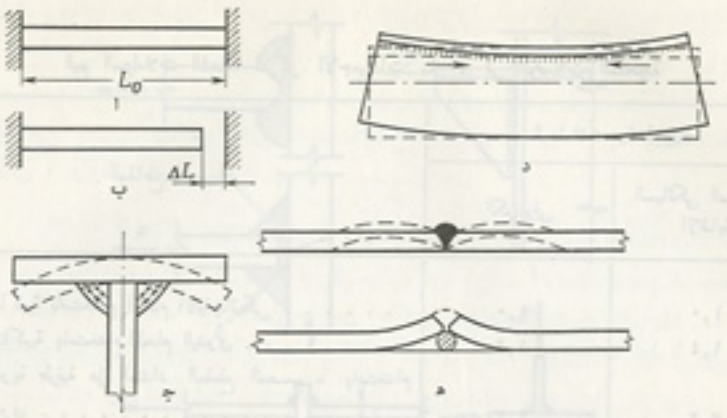
L_0 – الطول الاصلى للقطعة ،

$t = t_2 - t_1$ هو الفرق فى درجات الحرارة .

لنفرض بان لدينا قضيبا مضغوطا (محصورا) بين جدارين جاسئين تماما (شكل ٤ – ٢٣ ، أ) . والان نبدأ بتسخين هذا القضيب الى درجة حرارة تقل عن ٦٠٠° مئوية . عند مثل هذه الدرجة من الحرارة ، تظهر فى القضيب الذى لا يمكنه التمدد ، اجهادات مرنة تساوى ما يلى [راجع الصيغة (2—2)] :

$$\sigma = E\varepsilon = E\frac{\Delta L}{L_0} = E\alpha t$$

اما فى الجدارين ، فتظهر قوى رد الفعل ، وتساوى $F_r = \sigma A$ ، حيث A تمثل مساحة المقطع العرضى للقضيب .



شكل (٤ — ٢٣) التشوهات الناجمة عن تغير درجة الحرارة (الانفعالات الحرارية)
أ — التشوهات المتخلفة بعد التسخين ، ب ، جـ ، د — تشوه القطع عند اللحام

وبعد ايقاف التسخين يحافظ القضيب على طوله (شكل ٤ — ٢٣ ، أ) ، اما الاجهاد الموجود في القضيب ورود الفعل الموجودة في الجدارين ، فتختفي تماما .

واذا سخنا هذا القضيب بالذات ، الى درجة حرارة تزيد على ٦٠٠° مئوية ، عندئذ تتطور فيه الاجهادات الى درجة تفوق حد المرونة. ولهذا السبب فان درجة الحرارة القريبة من ٦٠٠° مئوية ، بالنسبة للفولاذ المنخفض الكربون ، تسمى بدرجة حرارة اللدونة . وبعد ايقاف التسخين ، يحدث في القضيب تشوه دائم او اثر باق — يقل طوله (شكل ٤ — ٢٣ ، ب) . واذا كان القضيب محصورا او مثبتا في الجدار ، ولا مجال لتقلصه او تقليل طوله ، ففي هذه الحالة تظهر فيه بعد ان يبرد ، اجهادات شد .

والان لنفرض بان لدينا لوحا معدنيا سخناه من وسطه ، بوضع لحام صغير في ذلك الموضع . ان الاقسام المحيطة بموضع اللحام ، تقاوم تطور التشوهات ، وتتعرض للانضغاط ، الذي يؤدي بدوره الى احتمال وصول الاجهادات في الاقسام المذكورة ، الى نقطة الخضوع . وعند التبريد يحاول المعدن المسخن ان يقلل طوله ، الامر الذي يؤدي الى ان تظهر في داخل الجسم ، اجهادات تعتبر نتيجة للتوزيع غير المنتظم لدرجة الحرارة فيه . وهذه الاجهادات تتعادل (تتوازن) في داخل الجسم بالذات ، مكونة فيه مناطق انضغاط ومناطق شد . وغالبا ما تؤدي هذه الاجهادات الى تغيير شكل الجسم (اعوجاجه) ، وتكون سببا لحصول انفعالات ، تبدأ عندها حالة التوازن .

ان الانفعالات التي تظهر اول الامر في القطع الانشائية ، نتيجة لتسخينها بحرارة اللحام ، والتي لا يمكنها ان تتطور ، تولد في بعض مواضع القطعة الانشائية ، اجهادات تزيد قيمتها على نقطة الخضوع . وبعد ان تبرد القطعة الانشائية ، تظهر الانفعالات نتيجة للتقلص ، وذلك لانه عندما تبرد اللحامات ، تظهر تشوهات لحام دائمة — انكماش .

ويوجد نوعان من الانكماش ، وهما الانكماش المستعرض ، ويحدث بعرض اللحام (شكل ٤ — ٢٣ ، حـ ، هـ) والانكماش الطولي ويحدث بطول اللحام (شكل ٤ — ٢٣ ، د) .

واذا كانت اللحامات في المقطع العرضي للقطعة ، موضوعة بصورة غير متماثلة بالنسبة لمحور التعادل، عندئذ يؤدي الانكماش الطولي الى تحدب او تقوس القطعة ، وهو الامر الذي يصعب علاجه في الانتاج .

ان الانكماش المستعرض ، يؤثر على القطعة الانشائية تأثيرا سيئا للغاية ، وهو اكبر من الانكماش الطولي بحوالي ١٠ مرات . ويبين الشكل (٤ — ٢٣ ، هـ) لحاما تناكبيا مستعرضا ، لا يعمل على شد (سحب) الوحين فحسب ، بل يقوسهما او يحدبهما قليلا ايضا . ان الانكماش المستعرض للحام التناكبي ، يتناسب طرديا مع مساحة اللحام ، ويمكن تحديده باستخدام الصيغ التالية :

للحامات التي على شكل — V :

$$\Delta L = 0.2 \left(t \tan \frac{\alpha}{2} + b \right) \qquad (4-8a)$$

وللحامات التي على شكل — X :

$$\Delta L = 0.25 \left(\frac{t}{2} \tan \frac{\alpha}{2} + b \right) \qquad (4-8b)$$

حيث t — ثخن المعدن المراد لحامه ،

α — الزاوية المحصورة للحام ،

b — عرض الخلوص .

اذا كانت الالواح التي ستلحم مثبتة تثبيتا جاسئا على طول المحيط ، تظهر في هذه الحالة في الالواح وفي اللحام بعد الانكماش ، اجهادات شد داخلية ، يمكن ان تؤدي الى تكون الشدوخ او الصدوع . وبالنسبة للمادة اللدنة ، لا تكون قيمة هذه الاجهادات الداخلية كبيرة جدا ، وذلك لانه عند وصول الاجهادات في المادة ، الى حد يساوي نقطة الخضوع ، تختفي الاجهادات الداخلية جزئيا ، وبعد ازالة الحمل لاول مرة ، تسلك القطعة سلوكا مرنا تماما . ولكن في ظروف حالة الاجهاد الثنائية المحور ، التي تساعد على ظهور القصافة (راجع البند الثامن ، الفقرة ٤ هـ) ، تلعب الاجهادات الداخلية دورا هاما في المادة المرنة ايضا ، وذلك لانها تؤدي الى ظهور الشدوخ او الصدوع .

ويمكن ان نذكر فيما يلي بعض الارشادات العامة عن اجراءات تقليل او تلافي انفعالات اللحام :

١) الاجراءات الخاصة بالتصميم — يجب تقليل عدد اللحامات بصورة عامة ، بالابتعاد عن استخدام اللحامات « غير الضرورية » . ولما كان الانكماش يتناسب طرديا مع حجم المعدن المرسب (معدن اللحام) ، يجب تحديد الثخن الاصغر للحامات بكل دقة ، تبعا للمقاومة المطلوبة ، على ان لا يكون ذلك الثخن اكبر من اللازم . ويجب وضع اللحامات في القطعة الانشائية المتماثلة بصورة متماثلة ايضا ، او وضعها بطريقة تجعل العزوم الاستاتيكية لمساحة المعدن المرسب ، على جانبي محور التعادل ، متساوية تقريبا .

ويجب الابتعاد عن تقاطع اللحامات او وضع اللحامات المتوازية قريبة من بعضها ، وكذلك اللحامات المقفلة (closed welds) . واخيرا يجب ان توضع اللحامات ، بحيث يمكن ضمان تتابع اللحام بصورة منطقية ، ولاجل ذلك توضع مخططات عملية اللحام التكنولوجية ، مع الاخذ في الاعتبار ، امكانية استخدام ترتيبات خاصة للحام اليدوي او الاوتوماتي .

ب) الاجراءات التكنولوجية — ان الغاية من وضع مخططات عملية اللحام التكنولوجية ، هو ضمان تتابع اللحام ، الذى يعتمد على قوة التيار . ومن المهم جدا ، ان يمتلئ حوض المعدن المصهور فى اللحام ، باسرع ما يمكن ، والا يكون اللحام مقطعا ، وكلما كانت منطقة التسخين صغيرة ، كلما كانت الانفعالات اقل .

وفى الحالات الضرورية ، تبحث امكانية توليد انفعالات عكسية (تقويسات للخارج) ، او تتابع معين لعملية اللحام ، لتوليد تقوس (تحدب) مسبق .

ومن المفيد فى بعض الحالات ، عمل مثبتات جاسئة (بواسطة مشابك — clamps او دلائل تشغيل — jigs) .

واثناء القيام بعملية اللحام عند درجات الحرارة المنخفضة تحت الصفر ، ونتيجة لانخفاض مقاومة الصدم فى كل من المعدن الاساسى والمعدن المرسب على السواء ، يمنع طرق المعدن منعا باتا . وعند درجات الحرارة المنخفضة ، تنتقل الحرارة بسرعة من القطعة الملحومة الى الجو المحيط ، الامر الذى يؤدى الى حدوث تشوهات دائمة (آثار باقية كبيرة) . ولذلك يكون من المنطقى تسخين المعدن المراد لحامه ، الى درجة حرارة تشعر بها اليد تماما (٧٠° مئوية) ، وكذلك اتخاذ الاجراءات التى تؤمن انكماش اللحامات بحرية تامة . ويجب ان يكون موضع اللحام فى مأمن من تأثير الرياح ، كما يجب ان تهيأ الظروف الملائمة لقيام عامل اللحام باداء عمله .

البند الثانى والعشرون — حجم العمل اللازم لانتاج القطع الانشائية الملحومة

ان عملية انتاج القطع الفولاذية الملحومة فى المصانع او الورشات ، تتألف من مجموعة العمليات الرئيسية التالية :

١ — العمليات التمهيدية — اختيار المعدن المدلفن ثم تسويته وتقطيعه ، تحضير النماذج (الطبعات) ، ووضع العلامات

٢ — عمليات تجرى فى الورشة التحضيرية (preparatory shop) وتتعلق بتشكيل القطع بالمكنات — وضع العلامات ، التقطيع ، التثقيب وتشكيل الحافات .

٣ — عمليات تجميع ولحام القطع الانشائية من الاجزاء الجاهزة الصنع ، التحكم فى نوعية الانتاج ، الدهان وشحن القطع الانشائية الى موقع الاقامة او التركيب .

ان مقدار وقت الشغل ، اللازم لانتاج القطع الانشائية ، يقدر ساعة لكل طن واحد من وزن القطع الانشائية ، ويطلق عليه اسم «حجم العمل اللازم لانتاج القطعة الانشائية» . اما المقدار المعاكس له — كمية القطع الانشائية المنتجة مقدرة بالاطنان فى وحدة الزمن — فيميز انتاجية العمل . وكلما قل حجم العمل المبذول فى الانتاج ، كلما ارتفعت انتاجية العمل وزاد انخفاض سعر القطعة الانشائية .

وتتطلب القطع الانشائية الملحومة بصورة عامة ، مقدارا من وقت الشغل ، اقل من المقدار الذى تتطلبه القطع الانشائية المبرشمة ، مع اقتران ذلك بتقليل الوزن بما يتراوح بين ١٠ — ١٥ ٪ .

ان متوسط توزيع العمل او الشغل ، عند انتاج انواع مختلفة من القطع الانشائية الملحومة ، موضح فى الجدول (٤ — ٨) . ويتضح من الجدول المذكور بان ما يتراوح بين ٦٠ — ٦٥ ٪ من وقت الشغل ، يبذل فى انجاز العمليات الخاصة بتجميع ولحام اجزاء القطعة الانشائية .

جدول ٤—٨

حجم العمل المبذول فى بعض العمليات الخاصة بانتاج القطع الانشائية الملحومة

اسم العملية	النسبة المئوية (٪) من الوقت الكلى المبذول فى عمليات الانتاج
١ — العمليات التحضيرية :	
أ) تسوية الفولاذ	٣—٤
ب) تحضير النماذج (الطبعات) ووضع العلامات	٤—٥
المجموع	٧—٩
٢ — عمليات تشكيل اجزاء القطع بالمكنات :	
أ) وضع العلامات على الاجزاء	١—٢
ب) التقطيع	٩—١٥
ح) التثقيب	صفر —٢
د) تشكيل الحافات بالمكنات	١—٣
ه) التسوية والحنى	٣—٤
و) اصال الحدادة	١—٢
المجموع	٢١—٢٦
٣ — عمليات تجميع ولحام وشحن القطع الانشائية :	
أ) التجميع	٢٨—٣٢
ب) اللحام	٣٢—٣٥
ح) حفر ثقوب التجميع	٢—٣
د) الطل بالدهان والشحن الى موقع التركيب	٣—٤
المجموع	٦٧—٧٠

ومن الواضح بان حجم العمل سوف يكون اقل ، بالنسبة للقطعة الانشائية التى تحتوى على عدد اقل من الاجزاء (تبعا لاستخدام اشكال كبيرة من المقاطع وتقليل عددها) ، وعلى لحامات ذات اطوال صغيرة ، واقل كمية من المعدن المرسب ، واقل عدد من الوصلات والاضلاع والى آخره . وبالاضافة الى ما سبق ، يجب ان تكون اجزاء القطع الانشائية سهلة التجميع . ان اللحام الاوتوماتى يعجل كثيرا من عملية اللحام (هذا بغض النظر عن تحسين نوعية اللحام) . ان اللحامات يجب ان ترتب بطريقة تجعل عملية لحامها سهلة ومريحة ، باستخدام اللحام السفلى بصورة رئيسية .

وعند تصميم اجزاء القطعة الانشائية ، يجب ان نحاول استخدام اكبر عدد ممكن من الاجزاء المتماثلة ، وذلك لان هذا يجعل من السهل استخدام دلائل التشغيل ، التى تخفض او تقلل كثيرا من حجم العمل المبذول فى التجميع واللحام ، وترفع من دقة صناعة المنتوجات .

وهكذا يجب ان تكون القطعة الانشائية قابلة للتشغيل ، اى يجب ان تكون بسيطة الشكل وملائمة للصنع ، وتفى بشروط عملية الانتاج .

ان اللحام فى موقع العمل (التركيب) لا يتطلب جهدا كبيرا فى الوقت الحاضر ، ولكنه اغلى من اللحام فى المصنع ، وذلك لانه يحتاج الى بعض الترتيبات او الاجهزة الخاصة . ولهذا السبب يجب التقليل منه حسب الامكان . وكقاعدة عامة ، لا يجوز السماح بانجاز اللحام العلوى فى موقع العمل (عند التركيب) . وقبل لحام القطعة الانشائية فى موقع العمل (لحام التركيب) ، يجب رفعها ووضعها فى محلها المعين فى التصميم، ولهذا الغرض يكون من المستحسن ان ترتب القطع بحيث يصبح من السهل تركيبها من الاعلى ، مع تجهيز واستخدام مناقد خاصة ، فى الحالات الضرورية .

الفصل الخامس

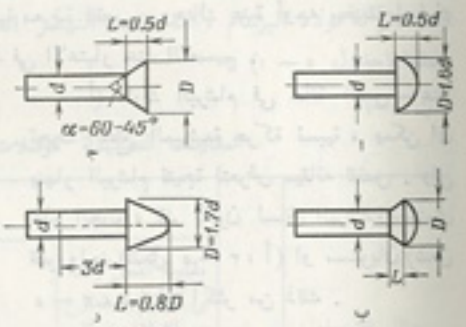
الوصلات المبرشمة والوصلات المربوطة بالمسامير

البند الثالث والعشرون ـ سلوك الوصلات المبرشمة

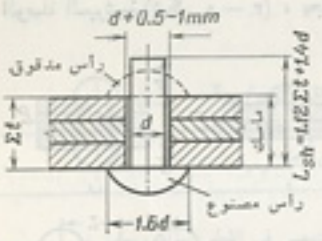
١ ـ الخصائص العامة

ان الوصلات المبرشمة تعتبر من الوسائل القديمة لربط اجزاء وقطع الانشاآت الفولاذية . وقد أدى نجاح اللحام فى السنوات العشر الماضية ، وانتشاره الواسع النطاق ، الى تضييق مجال استخدام الوصلات المبرشمة . ولكن متانة الوصلات المبرشمة ومقاومتها للاحمال المتناوبة والاحمال الاهتزازية ، جعلتا من الضرورى استخدامها فى عدد من الانشاءات المتميزة بظروف اشتغال صعبة .

ويصنع البرشام من فولاذ المعايرة المدور ، فى مكابس خاصة ، تعمل على تشكيل رأس البرشامة . وتكون اشكال رؤوس البرشام مختلفة ، تبعا للغرض التى صممت لاجله (شكل ٥ ـ ١ ، أ ، ب ، جـ ، د) .



شكل (٥ ـ ١) انواع البرشام



شكل (٥ ـ ٢) ترتيب البرشام

وتعين الابعاد القياسية لاقطار البرشام ، تبعا لاقطار الثقوب الخاصة بها . ويستخدم فى القطع الانشائية ، برشام يمكن ادخاله فى ثقوب تبلغ ابعاد اقطارها ١٤ ، ١٧ ، ٢٠ ، ٢٣ ، ٢٦ ، ٢٩,٥ ، ٣٢,٥ مم على التوالى . ويؤخذ قطر البرشامة المصمم ، تبعا لقطر الثقب ، ويكون قطر البرشامة الباردة قبل ادخالها فى الثقب ، اقل من قطر الثقب بما يتراوح بين ١,٠ ـ ١,٥ مم .

وتوجد طريقتان للبرشمة وهما ، البرشمة على الساخن ، والبرشمة على البارد . وفى حالة البرشمة على الساخن ، يسخن البرشام قبل ادخاله فى الثقوب ، بواسطة افران الكوك او الافران الكهربائية الخاصة ، الى درجة حرارة تقدر بحوالى ١٠٠٠° مئوية . وتوضع البرشامة الساخنة فى الثقب ، ثم يكبس رأس البرشامة كبسا محكما ، مع القطع المراد برشمتها ، باستخدام مقابض او ساندات خاصة ، اما طرف البرشامة (ذيلها) البارز من الثقب ، فيشكل على هيئة رأس قافل مدقوق بواسطة مطرقه تعمل بالهواء المضغوط (او بواسطة قاطعة برشام) ، كما مبين فى الشكل (٥ ـ ٢) .

وفى هذه الحالة يغلظ ساق البرشامة نتيجة للطرق ، ويملأ الثقب باحكام . ان طول ساق البرشامة المولجة ، المناظر لثخن القطع المبرشمة او المربوطة ، يسمى « مسافة القبض » .

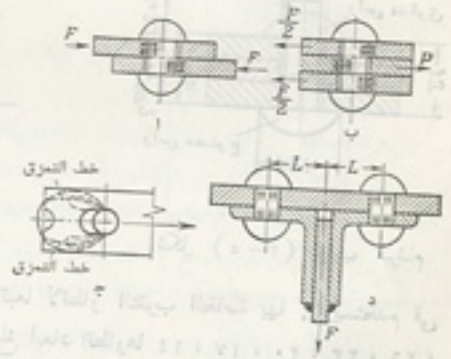
وعندما تبرد البرشامة الساخنة ، تسحب الالواح الى بعضها بواسطة ساق البرشامة المتقلص . وتصبح البرشامة الباردة فى حالة شد متميزة جدا ، اما القطع المبرشمة فتصبح مضغوطة . وفى هذه الحالة تكون قيم الاجهادات فى البرشامة ، قريبة من نقطة الخضوع . ولهذا الشد (التقلص) الابتدائى ، اهمية بالغة بالنسبة لسلوك الوصلة المبرشمة .

وفى حالة البرشمة على البارد ، يولج البرشام فى الثقوب بواسطة قاسطات قوية تعمل بالهواء المضغوط او قاسطات كهربائية ، حتى يملأ الثقوب باحكام . وطريقة البرشمة هذه ، تستخدم فقط فى المصانع المجهزة تجهيزا جيدا بالمعدات الميكانيكية .

ان الانواع الرئيسية من فولاذ البرشام هى من الفولاذ الطرى : فولاذ البرشام Ст.3 و Ст.2 باستطالة قدرها ٢٦ و ٢٣ ٪ ، ونقطة خضوع قيمتها ٢٢ كجم/سم٢ (للقطع الانشائية المصنوعة من الفولاذ الكربونى العادى) ، اما البرشام المصنوع من الفولاذ ماركة 09Г2 ، باستطالة قدرها ١٨ ٪ ونقطة خضوع قيمتها ٣٠ كجم/سم٢ ، فيستخدم فى برشمة القطع المصنوعة من الفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة .

٢ – سلوك البرشام فى الوصلة

ان الوصلة المبرشمة تكون بالدرجة الرئيسية معرضة للقص . وهناك عدة أوجه مختلفة لسلوك الوصلة المبرشمة (شكل ٥ – ٣) ، يجب ان تؤخذ فى الاعتبار عند التصميم .



شكل (٥ – ٣) الرسم التخطيطى لسلوك الوصلات المبرشمة

ا) سلوك البرشام فى حالة القص – عند تحرك القطع المبرشمة حركة نسبية ، يمكن ان ينهار البرشام نتيجة لتعرض سيقانه للقص . وفى هذه الحالة ، قد يكون لساق البرشامة مستوى قص واحد (شكل ٥ – ٣ ، ا) او مستويان (شكل ٥ – ٣ ، ب) او اكثر من ذلك .

ب) سلوك البرشام فى حالة التهصر – عند تطور الفعالات القص فى القطع المبرشمة ، تتهصر كذلك سطوح الثقوب بتأثير البرشام . وفى هذه الحالة تتطور فى المعدن الموجود بين الثقوب (او بين الثقب وحافة اللوح) ، اجهادات قص تحاول تمزيق او اقتلاع اللوح (شكل ٥ – ٣ ، ج) . وهكذا تكون مراجعة سلوك البرشامة عند التهصر ، مشروطة ببعض الشروط ، وتعتبر فى الحقيقة بمثابة مراجعة مقاومة اللوح بالنسبة للانهيار الناتج عن التمزق او الاقتلاع ، الذى يتعرض له .

د) سلوك البرشام فى حالة الشد – ان هذا السلوك ، كقاعدة عامة ، لا يعتبر من سيزات الوصلات المبرشمة (شكل ٥ – ٣ ، د) . والشد الابتدائى للبرشامة ، الناتج عن تبريدها ، لا يؤثر على مقاومتها ، وذلك لانه يجب التغلب على قوى التقلص سلفا .

٣ – المقاومات التصميمية

بالاضافة الى تأثر سلوك البرشام بكل من تصميم الوصلة والترتيب الصحيح للبرشام والطريقة المتبعة فى البرشمة ، فانه يتأثر كذلك بتكنولوجية صناعة القطع ، وقبل كل شئ بطريقة تشكيل او حفر الثقوب – التخريم بواسطة مكابس خاصة او التثقيب .

وتكون الثقوب المخرومة ذات سطوح مخشوشنة ، ولا تنطبق او تتراصف بدقة عند تجميعها ، الامر الذى يقلل من مقاومة الوصلة . ويأخذ ذلك فى الاعتبار ، تشكل الثقوب فى القطع الانشائية المهمة ، اما بطريقة التثقيب بدلائل تشغيل خاصة (طبعات – templates) ، او بتوسيع الثقوب التى حفرت سلفا بأقطار اصغر من الاقطار المطلوبة . ولكن فى القطع الانشائية الاقل اهمية ، يمكن السماح بتخريم الثقوب باقطارها الكاملة ، حتى ان ذلك يعتبر من المرغوب فيه ، نظرا لبساطة عملية التخريم وانتاجيتها العالية . وعندما يزيد ثخن الالواح على ٢٥ مم ، يجب ان تحفر الثقوب حفرا .

ويقسم البرشام تبعا لنوعية الثقوب وطريقة ايلاج او ادخال البرشام بالذات ، الى فئتين هما B و C .

وتضم الفئة B ، البرشام المولج فى الثقوب ، المحفورة بواسطة دلائل التشغيل او بطريقة توسيع الثقوب المحفورة سلفا .

اما الفئة C ، فتضم البرشام المولج فى الثقوب ، المخرمة او المحفورة بدون دلائل تشغيل ، فى كل جزء على حدة . وتؤخذ مقاومة القص التصميمية ومقاومة الشد التصميمية للوصلات المبرشمة ، تبعا لماركة فولاذ البرشام ، اما مقاومة التهصر التصميمية ، فتؤخذ تبعا لماركة فولاذ القطع المراد وصلها (جدول ٥ – ١) .

جدول ٥–١

المقاومات التصميمية للوصلات المبرشمة R_r كجم/سم٢

حالة الاجهاد والفئة التى تنتمى اليها الوصلة	الرمز	المقاومات التصميمية						
		مقاومة القص والشد فى البرشام المصنوع من الفولاذ ماركة :		مقاومة التهصر فى القطع المراد ربطها ، المصنوعة من الفولاذ ماركة :				
		فولاذ برشام ٢ و ٣	فولاذ برشام 09Г2	فولاذ ٣ فولاذ ٤	فولاذ ٥	14Г2 و 14Г2 عندما يبلغ ثخن المعدن المدلفن (مم) :		10Г2С 10Г2СД 15ХСНД	10ХСНД
						٢٠ او اقل	٢١–٣٢		
قص B	$R_{r.sh}$	١٨٠٠	٢٢٠٠	–	–	–	–	–	–
قص C		١٦٠٠	–	–	–	–	–	–	–
تهصر B	$R_{r.cr}$	–	–	٤٢٠٠	٤٦٠٠	٥٨٠٠	٥٩٠٠	٥٨٠٠	٦٨٠٠
تهصر C		–	–	٣٨٠٠					
شد (انفصام الرأس)	$R_{r.t}$	١٢٠٠	١٥٠٠	–	–	–	–	–	–

وفى القطع الانشائية المبرشمة ، التى تحتاج الى مراجعة اطاقتها او احتمالها ، يحدد العامل γ بموجب الصيغة (41—2) ، وتؤخذ عوامل تركز الاجهادات k_r المناظرة ، طبقا للفقرة الاخيرة من الجدول (٢ — ١٣) . وبالنسبة للوصلات المبرشمة ، المعرضة لتأثير الاحمال المتناوبة الضاغطة فقط ، يؤخذ العامل γ مساويا للواحد .

البند الرابع والعشرون — حساب وتصميم الوصلات المبرشمة

ان حساب الوصلة المبرشمة يجب ان يتم دائما ، فى نفس الوقت الذى يجرى فيه تصميمها .

١ — اختيار قطر البرشامة

ان اندغام الوصلة المبرشمة ، وكذلك الجهد المبذول فى صنع القطعة الانشائية ، يعتمدان على الاختيار المنطقى لقطر البرشام .

ان اقطار البرشام ، المستخدمة على نطاق واسع ، هى كما يلى :

فى القطع الانشائية المتوسطة التخن (النقل) . . . . . ٢٠ — ٢٣ سم

فى القطع الانشائية التخينة والثقيلة . . . . . ٢٦ — ٢٩,٥ سم

ويحاول المصممون عادة ، استخدام برشام ذى قطر واحد فى كافة قطع الانشاء باكمله . ولكن فى الانشاءات الثقيلة فقط ، عندما يكون الفرق فى اجهادات بعض القطع الانشائية والوصلات ، كبيرا ، يمكن السماح باستخدام قطرين او ثلاثة اقطار مختلفة للبرشام .

ويتم انجاز الوصلات المبرشمة ، باستخدام برشام ذى رؤوس نصف مدورة (شكل ٥ — ١ ، أ) ، عندما يصل التخن الكلى للقطع المربوطة مع بعضها ، الى $5d$. اما فى القطع المربوطة التى يصل تخنها الى ما يتراوح بين $7d$ و $5d$ ، فيجب استخدام برشام ذى رؤوس مرتفعة (شكل ٥ — ١ ، د) . وعندما يزيد تخن القطع المربوطة على ذلك ، يجب استخدام المسامير المخروطة .

٢ — حساب البرشام فى حالتى القص والتهصر

عند حساب الوصلات المبرشمة ، تعتبر ان الاجهادات (الاحمال) تكون موزعة بانتظام بين البرشام باجمعه .

وعند مراجعة مقاومة البرشام فى حالة القص ، يجب ان تتذكر بان اجهاد القص فى البرشام ، يجب ان لا يزيد على مقاومة القص التصميمية لفولاذ البرشام :

$$\tau = \frac{F}{\sum A_{r.sh}} = \frac{F}{Nn_{sh}\frac{\pi d^2}{4}} \leqslant R_{r.sh} \qquad (5—1)$$

حيث F — القوة (الاحمال) التصميمية ، المؤثرة فى الوصلة (كجم) ،

N — عدد البرشام فى الوصلة ،

n_{sh} — عدد مستويات القص فى البرشامة الواحدة ،

$\frac{\pi d^2}{4}$ — مساحة المقطع العرضى للبرشامة المولجة (سم^2) .

وفى هذه الحالة ، سيكون عدد البرشام n ، اللازم لتحمل القوة (الاحمال) التصميمية ، مساويا لما يلى :

$$N \geqslant \frac{F}{n_{sh}F'_{r.sh}} = \frac{F}{n_{sh}\frac{\pi d^2}{4}R_{r.sh}} \qquad (5—2)$$

حيث $F'_{r.sh}$ — القوة (الاحمال) التصميمية القصوى ، التى يمكن تسليطها على مستوى قص واحد فى البرشامة .

ويقرب العدد N الى اقرب عدد صحيح يليه .

اما عند مراجعة مقاومة البرشام فى حالة التهصر ، فيجب ان نتذكر بان اجهاد التهصر الناتج عن البرشام فى القطع المربوطة مع بعضها ، يجب ان لا يزيد على مقاومة التهصر التصميمية لفولاذ البرشام :

$$\sigma_{cr} = \frac{F}{NA_{cr}} = \frac{F}{Nd\sum t} \leqslant R_{r.cr} \qquad (5—3)$$

حيث $d\sum t = A_{cr}$ — هى مساحة التهصر المصممة ، للبرشامة الواحدة ، والتى تؤخذ اصطلاحيا مساوية لحاصل ضرب قطر البرشامة فى التخن الكلى الاصغر $\sum t$ للالواح ، التى تتهصر على جانب واحد من ساق البرشامة .

ان عدد البرشام اللازم ، الذى نحصل عليه عند مراجعة التهصر فى الالواح ، يساوى ما يلى :

$$N \geqslant \frac{F}{F'_{r.cr}} = \frac{F}{d\sum tR_{r.cr}} \qquad (5—4)$$

حيث $F'_{r.cr}$ تمثل القوة (الاحمال) التصميمية القصوى ، التى يمكن تسليطها على كل برشامة واحدة ، من الناحية المتعلقة بالتهصر .

ان طريقة حساب البرشام المبينة اعلاه ، تسمى بطريقة حساب البرشام طبقا للقوة (الاحمال) المؤثرة فى الوصلة .

ويمكن كذلك حساب البرشام ، ليس طبقا للقوة او الاحمال الفعلية المؤثرة فى الوصلة ، بل طبقا للقوة او الاحمال القصوى الممكنة ، التى يمكن ان يتحملها مقطع القطعة المراد ربطها مع غيرها . وفى هذه الحالة تكون القوة (الاحمال) التصميمية فى الوصلة ، مساوية لما يلى :

للقطع المشدودة

$$F = A_n R \qquad (5—5)$$

للقطع المضغوطة

$$F = A_{gr}\varphi R \qquad (5—6)$$

حيث A_n و A_{gr} — هما المساحة الصافية والمساحة الاجمالية للقطعة المراد ربطها ،

R — المقاومة التصميمية للمعدن الاساسى ،

φ — عامل التحدب .

ان طريقة الحساب هذه تسمى بطريقة الحساب طبقا لمساحة المقطع العرضى ، وتضمن احتياطى الامان .

وتستخدم هذه الطريقة ، لحساب وصلات التناكب والتوصيلات الاخرى المماثلة ، عندما تكون قيمة الاجهادات في القطعة قريبة من الاجهاد الحدى (النهائى) ، او عندما تكون القوة او الاحمال الفعلية (التصميمية) فى القطعة ، غير معروفة .

٣ – حساب البرشام فى حالة الشد (القصاص الرؤوس)

ان مراجعة مقاومة البرشام فى حالة الشد ، تتم باستخدام الصيغة التالية :

$$\sigma = \frac{F}{N\frac{\pi d^2}{4}} \leqslant R_{r.s} \qquad (5-7)$$

ومنها نجد بان عدد البرشام اللازم ، يستخرج من الصيغة التالية :

$$N \geqslant \frac{F}{\frac{\pi d^2}{4} R_{r.s}} \qquad (5-8)$$

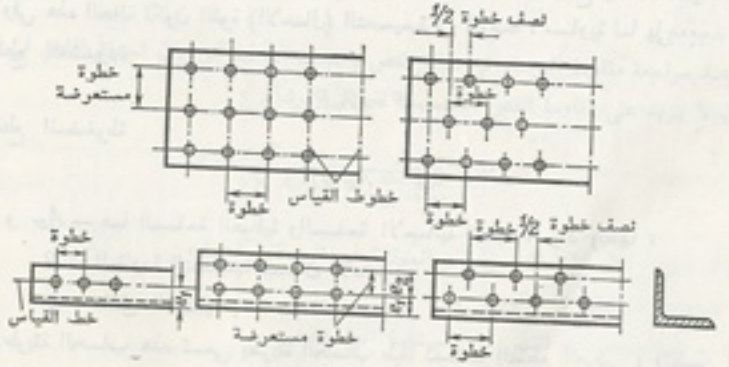
وعندما يتعرض البرشام للقص (التهصر) والشد فى نفس الوقت ، فان مراجعة مقاومته تتم فى كل حالة من الحالتين ، بصورة مستقلة .

٤ – ترتيب (وضع) البرشام والرموز الاصطلاحية

عند تصميم الوصلة المبرشمة، يجب ترتيب البرشام بطريقة تؤمن المقاومة اللازمة، واحسن انتقال للقوة (الاحمال) من قطعة الى اخرى . ان ترتيب البرشام على مسافات قريبة من بعضها (اقل من 3d) ، يؤدى الى ظهور اجهادات مفرطة فى المعدن الاساسى .

وطبقا لشروط الانتاج ، يجب ان يكون ترتيب او وضع البرشام بسيطا ، ولاجل ذلك توضع مراكز البرشام على امتداد خطوط مستقيمة (خطوط القياس) ، تمر بصورة موازية للخط المنصف للقطعة وعمودية عليه .

ان ترتيب البرشام على خطوط القياس ، قد يكون على هيئة صفوف منتظمة (شكل ٥ – ٤ ، أ) ، او بصورة متعرجة (شكل ٥ – ٤ ، ب) وتسمى المسافة بين البرشام ، على امتداد القوة (الاحمال)



شكل (٥ – ٤) ترتيب وضع البرشام

المؤثرة ، بخطوة البرشام ، اما المسافة العمودية على الامتداد المذكور فتسمى ؛ المسافة بين صفوف البرشام او بالخطوة المستعرضة .

وتؤخذ المسافات بين البرشام ، طبقا لمعطيات الجدول (٥ – ٢) .

جدول ٥–٢

ترتيب البرشام والمسامير فى القطع الفولاذية

مميزات المسافة	مقدار المسافة
المسافة بين مراكز البرشام والمسامير فى اى اتجاه كان :	
أ) المسافة الصغرى	للبرشام 3 d للمسامير 3.5 d
ب) المسافة الكبرى فى الصفوف الطرفية عند عدم وجود زوايا تحفيف – فى حالتى الشد والانضغاط	8 d او 12 t
حـ) المسافة الكبرى فى الصفوف المتوسطة ، وكذلك فى الصفوف الطرفية عند وجود زوايا تحفيف :	
فى حالة الشد	16 d او 24 t
فى حالة الانضغاط	12 d او 18 t
المسافة بين مركز البرشامة او المسمار وحافة القطعة :	
أ) المسافة الصغرى ، على امتداد القوة	2 d
ب) المسافة الصغرى ، العمودية على امتداد القوة :	
عندما تكون الحافات مقشية	1.5 d
عندما تكون الحافات مدلفنة	1.2 d
حـ) المسافة الكبرى :	4 d او 8 t

الرموز :

d = قطر الثقب للبرشام او المسامير

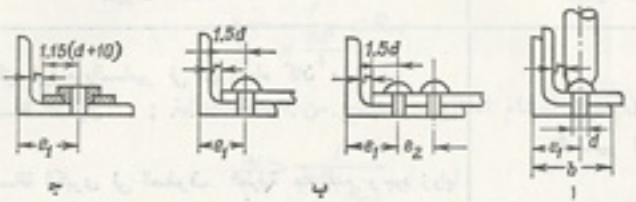
t = ثخن ارق قطعة خارجية .

ان الخطوات الصغرى للبرشام ، المبينة فى الجدول (٥ – ٢) ، تحدد بشرط مقاومة المعدن الاساسى ، اما الخطوات الكبرى ، فتحدد بشروط استقرار الاجزاء المضغوطة للقطع ، فى المسافة الواقعة بين البرشام ، وبشروط الربط المحكم للاجزاء المشدودة ، لتجنب وصول الاتربة والرطوبة الى داخل الوصلة ، الامر الذى سيساعد على الصدأ المتزايد .

وفى وصلات تثبيت القطع الانشائية مع بعضها ، يجب تعيين الخطوات الصغرى للبرشام ، لكى تتجنب الاسراف فى استخدام المعدن . وعند ترتيب البرشام الانشائى ، الذى يربط عدة مقاطع منفصلة ، ويحولها الى مقطع واحد متكامل ، يجب تعيين الخطوات الكبرى للبرشام ، لكى تقلل عدده حسب الامكان . ويؤخذ العدد الاصغر للبرشام ، الذى تربط بواسطة القطعة الانشائية المعرضة للاحمال ، مساويا لاثنين ، بغض النظر عن القوة (الاحمال) المؤثرة فى الوصلة (يمكن ان تستثنى من ذلك شبيكة توصيل القطع او الاجزاء المجمعة).

وتؤخذ المسافة بين خطوط القياس وظهر الزوايا ، طبقا للجدول (٥) — الملحق الثالث في آخر الكتاب .

وتعين خطوط القياس بحيث تجعل من الممكن القيام بعملية البرشمة وترتيب وضع ساندات رؤوس البرشام ، عند وصل الزوايا (شكل ٥ — ٥ ، أ) . وفي حالة استخدام شرائط معدنية (كتفية) في داخل الزاوية (شكل ٥ — ٥ ، ب) او استخدام دلائل تشغيل خاصة للتثقيب (شكل ٥ — ٥ ، حـ) ، يجب التأكد من كون خطوط القياس المتخذة ، مستوفية لشروط القيام بالعمل .



شكل (٥ — ٥) وضع خطوط القياس على الزوايا

وتؤخذ خطوط القياس على المقاطع شكل — I ، وعلى المقاطع التي على شكل مجرى (—)، طبقا للجدولين (٦) و (٧) — الملحق الثالث .

ان الرموز الاصطلاحية المستخدمة لتمثيل البرشام والثقوب على الرسوم التخطيطية ، مبينة في الجدول (٥ — ٣) .

جدول ٥—٣

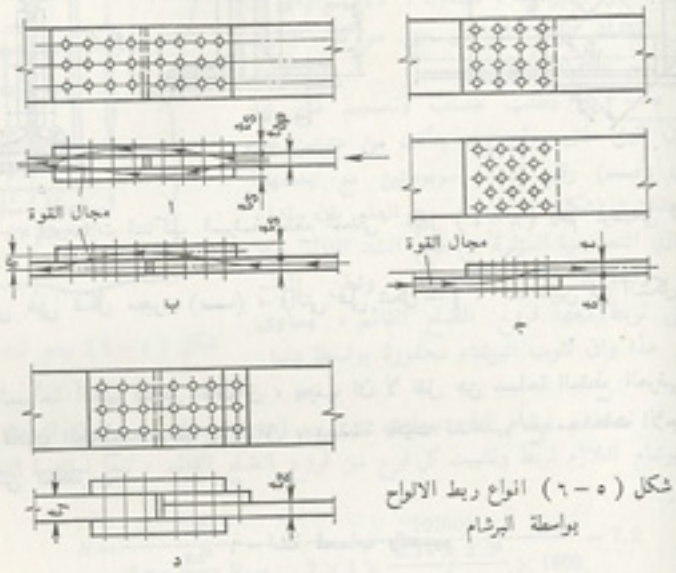
الرموز الاصطلاحية للبرشام والثقوب

نوع البرشام والثقوب	الرمز	ملحوظات
برشام عادي برؤوس نصف مدورة		—
برشام برؤوس غاطسة او نصف غاطسة ، من جهة واحدة او من جهتين		ترفق بمذكرة ايضاحية ، مثلا « من الجهة البعيدة» وغير ذلك
ثقوب مدورة		—
ثقوب مخرشة « تخريشا » اسطوانيا من جهة واحدة او من جهتين		ترفق بمذكرة ايضاحية ، مثلا « التخريش من اقرب جهة» وغير ذلك .

ان اقطار البرشام ، التي تغلب على الرسم التشغيلي المعين ، تبين في الملحوظات ، كما تبين مختلف الانحرافات او الارشادات الخاصة بأداء العمل .

٥ — انواع الوصلات المبرشمة

ان ربط او وصل الالواح والصفائح المعدنية مع بعضها ، يمكن ان يتم باستخدام وصلات التراكب والتناكب ذوات الطوق الواحد او ذوات الطوقين ، كما مبين في الشكل (٥ — ٦) .

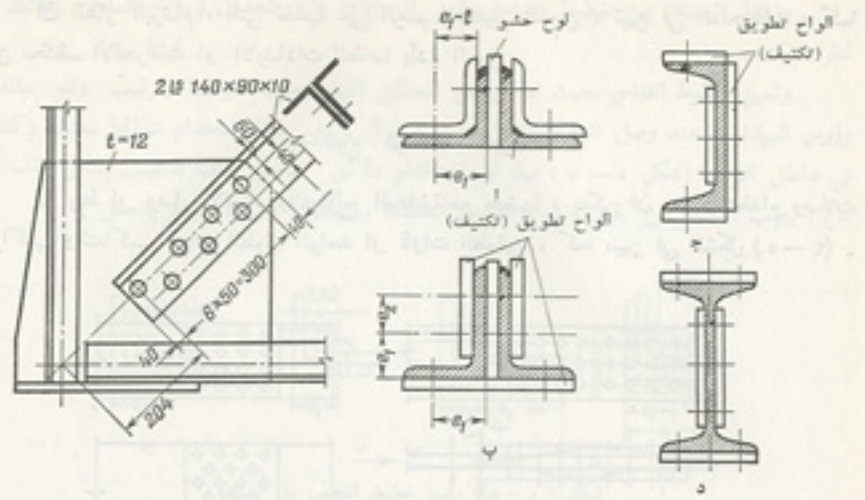


شكل (٥ — ٦) انواع ربط الالواح بواسطة البرشام

ان النوع الرئيسي من الوصلات ، هو وصلة التناكب ذات الطوقين ، التي تؤمن انتقال القوة (الاحمال) بصورة متماثلة من قطعة الى اخرى (شكل ٥ — ٦ ، أ) . ان استخدام وصلات التناكب ذوات الطوق الواحد (شكل — ٥ — ٦ ، ب) ، وكذلك وصلات التراكب (شكل ٥ — ٦ ، حـ) ، يولد اتصالا خارج المركز ، ينحرف فيه مجال القوة ، الى جهة واحدة من المحور ، الامر الذي يؤدي الى انحناء الالواح تحت تأثير الاحمال .

ولهذا السبب ، عند استخدام الوصلات ذوات الطوق الواحد ، وكذلك عندما تحتوي الوصلات على الواح حشو (شكل ٥ — ٦ ، د) ، يجب طبقا للمواصفات القياسية ، زيادة عدد البرشام بمقدار ١٠ ٪ على العدد المعين بموجب التصميم .

ان المقاطع الزاوية ، كقاعدة عامة ، تربط او توصل مع بعضها باطواق زاوية من نفس اشكال المقاطع المذكورة . وفي هذه الحالة ، يشطب الطرف الخلفي الحاد للطوق الزاوي ، وذلك لتأمين التركيب المحكم لساقي (شفتي) الطوق الزاوي (شكل ٥ — ٧ ، أ) . ويمكن ربط الزوايا غير المتساوية الاضلاع ، وكذلك الزوايا الكبيرة المتساوية الاضلاع ، باستخدام اطواق لوحية ، اذا كان في الامكان وضع صفين من البرشام على كل طوق لوحي (شكل ٥ — ٧ ، ب) . ويمكن ربط



شكل (٥ – ٧) وصلات التناكب المبرشمة للمقطع المعدني شكل (٥ – ٨) رسم توضيحي للمثال ٥ – ١

المقاطع التي على شكل مجرى (⎯⎯) ، والتي على شكل – I ، كما مبين في الشكل (٥ – ٧ ، ح ، د) .

ان المساحة الكلية لمقطع الاطواق ، يجب ان لا تقل عن مساحة المقطع العرضي الاساسي ، ويجب ان تكون المقاطع العرضية للاطواق ، مصممة بحيث تتناسب مع مساحات الاجزاء المغطاة (المربوطة) من المقطع .

٦ – امثلة للحساب والتصميم

مثال ٥–١ : يطلب حساب وتصميم وصلة لربط ضلع الانضغاط القطري لاحد الجمالونات السقفية ، مع لوح تقوية زاوي (شكل ٥ – ٨) . ويتألف مقطع الضلع القطري من زاويتين ١٤٠×٩٠×١٠ . هذا مع العلم بان مقدار القوة (الاحمال) التصميمية يساوي ٦٣ طنا ، وان الفولاذ المستخدم من النوع BCr.3 ، وثخن لوح التقوية هو $t=12$ مم ، وثقوب البرشام محفورة بواسطة دليل تشغيل .

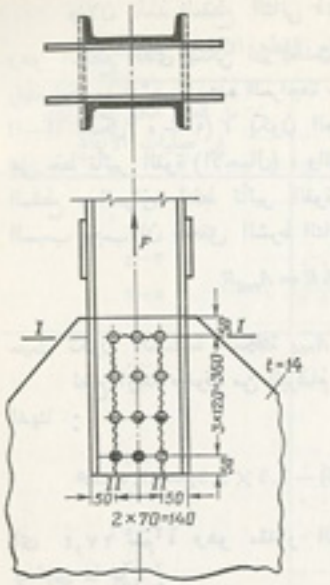
الحل : نستخدم برشام قطره يساوي ٢٠ مم ($d=20\ mm$) . ونقوم بحساب عدد البرشام اللازم لمقاومة القص والتهصر عند تسليط القوة (الاحمال) . ان عدد البرشام (المزدوج القص) ، اللازم لمقاومة القص ، يحدد من الصيغة (2–5) :

$$N=\frac{F}{n_{sh}\frac{\pi d^2}{4}R_{r.sh}}=\frac{63000}{2\times\frac{3.14\times 2^2}{4}\times 1800}=5.6$$

اي نأخذ ٦ برشامات بعد تقريب العدد .

وعدد البرشام اللازم لمقاومة التهصر ، يحدد من الصيغة (4–5) :

$$N=\frac{F}{dt\,R_{r.cr}}=\frac{63000}{2\times 1.2\times 4200}=6.3$$



شكل (٥ – ٩) رسم توضيحي للمثال ٥ – ٢

اي نأخذ ٧ برشامات بعد تقريب العدد. ويعتبر اكبر عدد تحصل عليه من الصيغتين المذكورتين ، بمثابة العدد اللازم للتصميم (وفي هذه الحالة نأخذ عدد البرشام اللازم لمقاومة التهصر) . وترتب السبع برشامات التي حصلنا عليها ، ترتيبا يطابق الوضع المبين في الشكل (٥ – ٨) . ولتقصير الطول الكلي للوصلة ، يوضع البرشام على اقصر مسافات ممكنة من بعضه البعض ، وذلك بجعل المسافة بين حافة الزاوية واقرب برشامة (طرفية) مساوية لـ ٤٠ مم (اي $2d$) ، وجعل نصف خطوة البرشامة ، مساويا لـ ٥٠ مم (اي ان الخطوة على امتداد القطر الواصل بين مراكز الثقوب تساوي ٧٠ مم ($3.5d=70\ mm$).

مثال ٥ – ٢ : يطلب حساب وتصميم ضلع شد قائم لجمالون ثقيل ذي سطحين ، يتألف من عتبتين على شكل مجرى (⎯⎯) رقم ٢٤ ، مربوطتين مع بعضهما بشريحتين معدنيتين (شكل ٥ – ٩) . مع العلم بان مقدار القوة (الاحمال) التصميمية المؤثرة في ضلع الشد القائم يبلغ ١٠٧ طنا ، والفولاذ ماركة BCr.3 ، وثخن الواح التقوية ، التي تربط معها فروع الضلع القائم ، يساوي $t=14$ مم . هذا وان ثقوب البرشام محفورة بواسطة دليل تشغيل .

الحل : نستخدم برشام قطره يساوي ٢٣ مم ($d=23\ mm$) . وبواسطة الصيغة (2–5) ، نحدد عدد البرشام اللازم لربط وتثبيت كل فرع من فروع الضلع القائم ، تبعا لمقاومة القص (برشام مفرد القص) :

$$N=\frac{F}{2\,n_{sh}\frac{\pi d^2}{4}R_{r.sh}}=\frac{107000}{2\times 1\times\frac{3.14\times 2.3^2}{4}\times 1800}=7.2$$

اي نأخذ ٨ برشامات بعد تقريب العدد . وعدد البرشام اللازم لربط وتثبيت كل فرع من فروع الضلع القائم ، تبعا لمقاومة تهصر وترة المجرى (عندما يبلغ ثخن هذه الوترة ٠٫٥٦ سم) ، يساوي ما يلي :

$$N=\frac{F}{2\,dtR_{r.cr}}=\frac{107000}{2\times 2.3\times 0.56\times 4200}=9.9$$

اي نأخذ ١٠ برشامات بعد تقريب العدد . ونصمم الوصلة الان ، كما مبين في الشكل (٥ – ٩) . نرتب البرشام بثلاثة صفوف ، بحيث تكون المسافة بين صف وآخر ٧٠ مم ، ونستخدم ١٢ برشامة قطر كل منها يساوي ٢٣ مم ($d=23\ mm$). ان المسافة بين الحافات وبين خطوط القياس الطولية لصفوف البرشام ، على امتداد وترة المجرى رقم ٢٤ ، تساوي ٥٠ مم . وخطوة البرشام التي تساوي ١٢٠ مم، حددت بعد مراجعة مقاومة وترة المجرى للتمزق (راجع الشرح في الاسفل).

والان نراجع مقاومة فروع الضلع القائم ، على امتداد المقاطع ذي الثقوب . ان مقطع كل مجرى يحتوي على ثلاثة ثقوب ، ومساحة مقطع المجرى ، الذي يحتوي على ثقوب (المقطع 1–1) ، تساوي :

$$A_n=30.6-0.56\times 2.3\times 3=26.74\ cm^2$$

والاجهاد الذي يتولد في المقطع ذي الثقوب (المقطع 1–1) ، يساوي :

$$\sigma=\frac{107000}{2\times 26.74}=2000\ kg/cm^2<p2100\ kg/cm^2$$

والان نأخذ المقطع الثانى ذى الثقوب ، على شكل — $\prod$ (المقطع II—II ، شكل ٥ — ٩) ، وهو المقطع الذى يمكن ان يحدث فيه تمزق الوترة . ونتيجة لكون وترات المجارى القياسية ، رقيقة نوعا ما ، تصبح هذه المراجعة مهمة للغاية . فى المقطع شكل — Π ذى الثقوب ، وهو المقطع II—II (شكل ٥ — ٩) ، يكون الجزء الاقفى من مساحة المقطع العرضى للقطعة (A'_n) ، العمودى على خط تأثير القوة (الاحمال) ، واقعا تحت تأثير الاجهادات المتعاندة ، بينما تكون اجزاء مساحة المقطع ، الموازية لخط تأثير القوة او الاحمال (A''_n) ، واقعة تحت تأثير اجهادات القص . ولهذا السبب يجب ان يتحقق الشرط التالى :

$$F \leqslant A'_n R + A''_n R_{sh} = A'_n R + A''_n \times 0.6 R = A_{red} R$$

حيث تكون المساحة المكافئة A_{red} مساوية لما يلى : $A_{red} = A'_{red} + 0.6 A''_n$ ، و $R_{sh} = 0.6 R$. نفتح اربعة صفوف من البرشام ، بخطوة طولية تساوى ١٢٠ مم (شكل ٥ — ٩) . عندئذ يكون لدينا :

$$A_{red} = A'_n + 0.6 A''_n =$$
$$= (14 - 2 \times 2.3)\, 0.56 + 0.6 \times 0.56 \times 2 [(3 \times 12 + 5) - 3.5 \times 2.3] = 27.4 \ cm^2$$

اى ٢٧,٤ سم^2، وهو مقدار المساحة المكافئة . والاجهاد فى المقطع ذى الثقوب II—II ، يساوى ما يلى :

$$\sigma = \frac{F}{2 A_{red}} = \frac{107000}{2 \times 27.4} = 1955 \ kg/cm^2 < 2100 \ kg/cm^2$$

وعندما تقل الخطوة الطولية للبرشام ، عن ١٢٠ مم ، يصبح الاجهاد فى المقطع II—II ، اكبر من المقاومة التصميمية .

٧ – حجم العمل اللازم لانتاج القطع الانشائية المبرشمة

تتألف عملية انتاج القطع الفولاذية المبرشمة ، من العمليات الرئيسية التالية ، التى تعتبر فى الاساس ، نفس العمليات التى تجرى عند انتاج القطع الانشائية الملحومة :

١) العمليات التحضيرية — وتتلخص فى انتقاء المعدن المدلفن وتسويته بواسطة مكنات دلفنة الزوايا والالواح ، او بواسطة مكابس تسوية ذات فرجة ، وكذلك فى قص او قطع المعدن ،

٢) العمليات الخاصة باعداد الطبعات (النماذج) فى قسم الترقيم (وضع العلامات) ، اى القيام بنقل العلامات (الابعاد) الضرورية للتشكيل ، من النموذج (الطبعة) الى القطع المعدنية ،

٣) العمليات الخاصة بتشكيل القطع بالمكنات فى الورشة التحضيرية : قطع المعدن بالغاز او قطعه ميكانيكيا بواسطة مقاصيص خاصة بذلك ، وتستحدث الثقوب بواسطة التخريم بمكنات تخريم معينة او بالحفر بواسطة مكنات تثقيب خاصة وتشكيل حافات الالواح بواسطة مكنات تسوية الحافات .

٤) العمليات الخاصة بتجميع وبرشمة القطع الانشائية فى ورشة التجميع والبرشمة ، وبالتحكم فى نوعية الانتاج ، ودهان القطع الانشائية ونقلها الى موضع اقامتها او تركيبها . ويبين الجدول (٥ — ٤) توزيع العمل فى المتوسط ، عند انتاج مختلف انواع القطع الانشائية المبرشمة . ويصرف

جدول ٥ — ٤

حجم العمل اللازم للقيام بالعمليات المستقلة عند انتاج القطع الانشائية المبرشمة

اسماء العمليات	٪ من العمل الكلى المصروف فى عمليات الانتاج
١ – العمليات التحضيرية :	
أ) تسوية الفولاذ	٣–٤
ب) اعداد الطبعات (النماذج) ووضع العلامات	٥–٦
المجموع	٨–١٠
٢ – العمليات الخاصة بتشكيل الاجزاء بالمكنات :	
أ) ترقيم الاجزاء	٢–٣
ب) القطع	٦–٨
ح) حفر الثقوب	١٢–١٥
د) التفريز وتشكيل الحافات بالمكنات	٢–٣
هـ) التسوية والحنى	٢–٣
المجموع	٢٤–٣٢
٣ – العمليات الخاصة بتجميع وبرشمة ونقل القطع الانشائية :	
أ) التجميع	٢٧–٢٨
ب) توسيع الثقوب	٤–٥
ح) البرشمة	٢٠–٢٢
د) حفر ثقوب التجميع	٣–٤
هـ) التبطين بالدهان (الطل) والشحن	٤–٥
المجموع	٥٨–٦٤

حوالى ٦٠٪ من وقت الشغل ، للقيام بعمليات التجميع والبرشمة . ومن الواضح انه لتقليص حجم العمل اللازم للانتاج ، يجب عند تصميم القطع الانشائية المبرشمة ، ان نحاول استخدام اقل عدد ممكن من الاجزاء واقل عدد ضرورى من البرشام فى القطع المذكورة .

٨ – الوصلات المبرشمة للقطع الانشائية الالومنيومية

ان الوصلات المبرشمة للقطع الانشائية الالومنيومية ، تحسب وتصمم بالدرجة الرئيسية ، بطريقة مشابهة لحساب وتصميم الوصلات المبرشمة للقطع الانشائية الفولاذية ، ولكن باستخدام المقاومات التصميمية المبينة فى الجدول (٥ — ٥) .

جدول ٥–٥

المقاومات التصميمية لوصلات القطع الالومنيومية المبرشمة على البارد R_r (كجم/سم²)

حالة الأجهاد	الرمز	المقاومة التصميمية للبرشام البارد المصنوع من السبيكة :					
		ABT-1	Д18т		B65		
		في القطع الانشائية المصنوعة من السبيكة					
		ABT-1	Д16-Т	Д1-Т	АД33-Т1	Д16-Т	Д1-Т	АД33-Т1
قص B	$R_{r.sh}$	١٠٠٠	١١٠٠	١١٠٠	١١٠٠	١٤٥٠	١٤٥٠	١٤٥٠
قص C		٨٠٠	٩٠٠	٩٠٠	٩٠٠	١١٥٠	١١٥٠	١١٥٠
تهصر B . . .	$R_{r.cr}$	٢٤٠٠	٣٩٠٠	٢٩٠٠	٢٤٠٠	٣٩٠٠	٢٩٠٠	٢٤٠٠
تهصر C . . .		٢١٥٠	٣١٠٠	٢٣٠٠	١٩٠٠	٣١٠٠	٢٣٠٠	١٩٠٠
شد (انفصام) الرؤوس	$R_{r.t}$	—	٥٠٠	٥٠٠	٥٠٠	٧٠٠	٧٠٠	٧٠٠

جدول ٥–٦

ترتيب البرشام والمسامير في القطع الانشائية الالومنيومية

مميزات المسافة	مقدار المسافة
المسافة بين مراكز البرشام والمسامير في اى اتجاه كان :	
أ) المسافة الصغرى	للبرشام $3\,d$
	للمسامير $3.5\,d$
ب) المسافة الكبرى في الصفوف الطرفية ، عند عدم وجود زوايا تخفيف – في حالتي الشد والانضغاط	$5\,d$ او $10\,t$
حـ) المسافة الكبرى في الصفوف المتوسطة ، وكذلك في الصفوف الطرفية عند وجود زوايا تخفيف :	
في حالة الشد	$12\,d$ او $20\,t$
في حالة الانضغاط	$10\,d$ او $14\,t$
المسافة من مركز البرشامة او المسمار الى حافة القطعة :	
أ) المسافة الصغرى ، بمحاذاة خط تأثير القوة (الاحمال) وعلى امتداد الضلع القطري	$2.5\,d$
ب) المسافة الصغرى في الاتجاه العمودي على خط تأثير القوة (الاحمال) :	
عندما تكون الحافات مقصية	$2.5\,d$
عندما تكون الحافات مدلفنة او مكبوسة	$2\,d$
حـ) المسافة الكبرى	$6\,t$

الرموز : d – قطر الثقب للبرشامة او المسمار ،

t – ثخن ارق قطعة خارجية .

ويجب ان يرتب البرشام ، وفقا لما جاء في الجدول (٥ – ٦) .

ويمكن اعتبار قطر الثقب ، بمثابة القطر المصمم للبرشامة .

ويجب ان لا يقل قطر البرشامة عن ثخن اغلظ قطعة في الوصلة المبرشمة، ولا يجب ان يزيد على ثلاثة اضعاف ثخن ارق قطعة في الوصلة المذكورة .

كما يجب ان لا يزيد الثخن الكلي للقطع المربوطة ، على ثلاثة اضعاف قطر البرشامة .

البند الخامس والعشرون – الوصلات المربوطة بالمسامير

١ – الخصائص العامة

تعتبر الوصلات المربوطة بالمسامير ، من الوصلات الواسعة الانتشار للغاية ، التي تستخدم لربط القطع الانشائية عند تجميعها واقامتها ، وخاصة في المباني الصناعية . وفي ظروف تجميع واقامة الانشاء في موقعه ، يجب استخدام ابسط واقوى انواع الوصلات ، التي لا تحتاج الى معدات خاصة ، تستهلك الطاقة .

والمسامير تقاوم القص والتهصر والشد ، كما هي الحالة بالنسبة للبرشام . والخاصية المهمة التي تميز الوصلة المربوطة بالمسامير ، عن الوصلة المبرشمة ، تتلخص في مطاوعتها الى حد اكبر (قابلية تشوه اكبر) ، وهذا الامر ناتج عن الشد المسبق ، الاصغر قيمة ، الموجود في المسامير (نتيجة لشد الصمولات) ، وكذلك عن وجود الخلوصات بين المسمار والثقب .

وعند تعرض المسامير للشد ، تكون قيمة الشد المسبق (الشد المبدئي) كبيرة جدا ، ويجب ان تكون هذه القيمة اكبر من قوة (احمال) الشد الخارجية . ونتيجة لصعوبة شد عدة مسامير في الوصلة ، شدا متساويا ، ولان هذه المسامير ستتعرض للقوى (الاحمال) بدرجات متفاوتة ، تؤخذ المقاومات التصميمية للمسامير ، بقيم اكثر انخفاضا .

ان الشد المفرط للمسامير (الذي يمكن حدوثه عند استخدام مفاتيح ربط للتجميع ، ممدودة بتركيب انابيب مقطوعة عليها)، يؤدي الى حدوث انفعالات لدنة ، والى اختلال نظام عمل الوصلة.

وفي القطع الانشائية الفولاذية ، تستخدم الانواع التالية من المسامير :

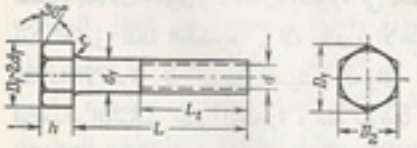
١ – مسامير سوداء او غير منجزة، مع صمولات خاصة بها.

٢ – مسامير نصف منجزة مع صمولات خاصة .

٣ – مسامير منجزة، وهي مسامير معدنية ناصعة، وتسمى ايضا مسامير مخروطة مع صمولات خاصة.

٤ – مسامير عالية المقاومة .

وتؤخذ الحلقات لجميع انواع المسامير ، طبقا للمواصفات القياسية . ان المسامير غير المنجزة (شكل ٥ – ١٠) تشكل بالكبس ، من الفولاذ المدور ، وفي هذه الحالة يسمح بوجود انحراف عن القطر الاسمي ، في كلتا الجهتين ، يصل مقداره الى ما يتراوح بين $+0{,}75$ – ١.



شكل (٥ – ١٠) مسمار غير منجز مم.

ويمكن ادخال المسامير غير المنجزة في ثقوب ، ذات خلوص يتراوح بين ٢ — ٣ مم .

وتصنع المسامير نصف المنجزة ، ذات الرؤوس المسدسة الشكل ، من فولاذ المعايرة المدور . ولهذا السبب يكون التفاوت المسموح في القطر ، بالنسبة للمسامير المذكورة ، سالبا فقط ، وفي حدود تتراوح بين — ٠,٥ الى ١ مم .

وللمسامير المنجزة ذات الرؤوس المسدسة الشكل ، سيقان مخروطة ، بتفاوت سلبي مسموح يصل الى — ٠,٣٤ مم . ويمكن ادخال هذه المسامير في ثقوب ذات خلوص يتراوح بين ٠,٣ — ٠,٥ مم ، الامر الذي يعني في الحقيقة ، الحصول على تداخل محكم ويمكن ادخال هذه المسامير في مثل هذه الثقوب ، بواسطة طرقات خفيفة بالمطرقة ، فقط .

وتصنع او تنتج المسامير باقطار متنوعة ، هي ١٠ ، ١٢ ، ١٤ ، ١٦ ، ١٨ ، ٢٠ ، ٢٢ ، ٢٤ ، ٢٧ ، ٣٠ ، ٣٦ ، ٤٢ ، ٤٨ مم ، ويتراوح طولها الكلي بين ٤٠ — ٢٠٠ مم . اما طول اللولب L_t فهو كما يلي : للمسامير التي يتراوح قطرها بين ١٠ — ١٤ مم ، يتراوح طول اللولب بين ٢٠ — ٢٥ مم ، وللمسامير التي يتراوح قطرها بين ١٦ — ٢٠ مم ، يتراوح طول اللولب بين ٢٨ — ٣٠ مم ، وللمسامير التي يتراوح قطرها بين ٢٢ — ٣٠ مم يتراوح طول اللولب بين ٣٥ — ٥٠ مم . وتنتج المسامير من الفولاذ الكربوني ماركة BCт.3 و BCт.5، ومن الفولاذ السبائكي المنخفض الاشابة ماركة 14Г2 و 15ГС وغيرها .

ان المسامير العالية المقاومة ، تستخدم في الوصلات التركيبية (في موقع العمل) ، وتنقل القوة (الاحمال) عن طريق الاحتكاك . وتصنع هذه المسامير من الفولاذ الكربوني او الفولاذ السبائكي (مثل الفولاذ الكرومي 40X، طبقا للمواصفات القياسية السوفييتية ، بحيث لا تقل المقاومة القصوى بعد المعاملة الحرارية، عن ١٠٠ كجم/مم^2 بالنسبة للفولاذ الكربوني ، وعن ١٣٠ كجم/مم^2 بالنسبة للفولاذ السبائكي .

٢ — سلوك الوصلة المربوطة بالمسامير عند تعرضها للاحمال

عند تعرض المسامير غير المنجزة للقص ، تكون للوصلة قابلية تشوه كبيرة نتيجة لوجود الخلوصات . وقد بينت ابحاث العالم شايبرو بان مقدار القص في البرشام ، عندما تصل الاجهادات الى نقطة الخضوع تقريبا ، يساوى في المتوسط ٠,٢٤ مم ، اما مقدار القص في المسامير غير المنجزة ، عند وجود خلوصات تتراوح بين ١ — ٤ مم ، فيتراوح تبعا لذلك ، بين ٢,٦٥ — ٣ مم (اى اكثر بحوالى ١٠ مرات تقريبا) . وفي نفس الوقت ، تكون المقاومة الاستاتيكية للوصلة المربوطة بالمسامير ، اقل من مقاومة الوصلة المبرشمة بمقدار ١٠ ٪ تقريبا ، لا غير ، الامر الذي يمكن تفسيره بتعادل القوى (الاحمال) المؤثرة في بعض المسامير المستقلة ، عندما يستمر تعرضها للاحمال ، بعد تجاوز نقطة الخضوع . ان مقاومة الاهتزاز في الوصلة المربوطة بالمسامير ، اقل بكثير من مقاومة الاهتزاز في الوصلة المبرشمة (بحوالى ٥٠ ٪) . ولهذا السبب ، يكون من الافضل عمليا ، استخدام المسامير غير المنجزة ، عند تعرضها للقص ، في حالة واحدة فقط ، وهي عند تأثير الاحمال الاستاتيكية ، عندما يكون من الضروري بالدرجة الاساسية ، تأمين المقاومة اللازمة ، بينما لا تكون لقابلية تشوه الوصلة ، اهمية كبيرة . والطريقة الفعالة ، والغالية في نفس الوقت ، التي يمكن اللجوء

اليها لتقليل تشوهات الوصلة المربوطة بالمسامير ، هي الانتقال الى استخدام المسامير المنجزة ، اى المسامير المعدنية الناصعة ، التي تملأ الثقوب باحكام .

ومن الاكثر منطقية ، استخدام المسامير عندما تكون معرضة للشد . ولكي تضمن مقاومة المسمار التي يعول عليها ، يجب ان يكون الشد محكما ، وذلك لانه يجب على قوة الشد الخارجية في بادئ الامر ، ان تتغلب على الشد الابتدائي ، اى تقلل من قيمته. ولتقليل التشوهات، يجب اما عدم ايصال قيمة الاجهاد في المسامير الى قيمة المقاومة التصميمية ، او تثبيت الصمولات المشدودة ، تثبيتا قويا ، بواسطة صمولات زنق او بلحامها مع المسامير . وبالنسبة للجمالونات التي يصل باعها الى ٣٢ م ، لا يتطلب عادة ان تكون المساند متحركة (متنقلة) .

٣ — حساب وتصميم الوصلات المربوطة بالمسامير

ان حساب الوصلات المربوطة بالمسامير ، يجرى باستخدام الصيغ التالية :

عند مراجعة مقاومة المسامير للقص

$$N \geq \frac{F}{n_{sh} \frac{\pi d^2}{4} R_{b.sh}} \qquad (5-2')$$

وعند مراجعة مقاومة المسامير للتهصر

$$N \geq \frac{F}{d \sum_i R_{b.br}} \qquad (5-4')$$

وعند مراجعة مقاومة المسامير للشد (مع أخذ المساحة الصافية لمقطع المسمار في الاعتبار):

$$N \geq \frac{F}{\frac{\pi d_m^2}{4} R_{b.t}} \qquad (5-8')$$

حيث F — القوة التصميمية ، المؤثرة في الوصلة ،

d — قطر القسم غير الملولب من المسمار ،

d_m — القطر الداخلي للولب الساق ،

R_b — مقاومات المسامير التصميمية للقص والتهصر والشد، المأخوذة من الجدول (٥ — ٧).

وتستخدم المسامير العالية المقاومة (المسامير الثقيلة) ، للحصول على وصلة تركيبية بتشوه اقل. ويجب في هذه الحالة ان يكون شد المسامير محكما، بحيث يجعل القوى المؤثرة في الوصلة، تنتقل عن طريق الاحتكاك ، الناشئ على امتداد السطوح المتلاصقة . ويتم التوصل الى ذلك ، باستخدام مفاتيح ربط معايرة او مدرجة للتحكم في شد (او ربط المسامير) . ومن الواضح ان الخلوص الموجود بين الثقب والمسمار ، يمكن ان يؤخذ اكبر قليلا ، في حالة استخدام المسامير العالية المقاومة ، مما هو عليه عند استخدام المسامير المنجزة (المعدنية الناصعة) ، وهنا تبرز ميزة اخرى من ميزات استخدام هذه المسامير بصورة مفضلة . وعندما يتم انجاز الوصلات التركيبية ، باستخدام المسامير العالية المقاومة ، بدلا من البرشام ، تنتفى الحاجة الى تنظيم عملية البرشمة على الساخن بالهواء المضغوط . ان لنظافة سطوح القطع المراد ربطها مع بعضها ، اهمية كبيرة بالنسبة لسلوك الوصلات المنجزة باستخدام مسامير عالية المقاومة . ولتنظيف السطوح ، تستخدم فرش من الاسلاك الفولاذية ، ولكن من الافضل استخدام التنظيف بالهواء المضغوط

جدول ٥-٧

المقاومات التصميمية للوصلات المربوطة بالمسامير R_b كجم/سم^2

نوع الوصلة المربوطة بالمسامير	حالة الاجهاد وقت الوصلة	الرمز	المقاومات التصميمية R_b: في القطع المراد ربطها، المصنوعة من الفولاذ ماركة:													
			الشد والقص في المسامير المصنوعة من الفولاذ ماركة:				للتهشير:									
			14Г2, 15ГС, 15ХСНД	0.9Г2	ВСт. 5	ВСт. 3	14Г2, 15ГС, 15ХСНД	0.9Г2	ВСт. 5	ВСт. 3	فولاذ ٣ — فولاذ ٤	فولاذ ٥ —	عندما يبلغ ثخن المعدن المدلفن (مم): ٢١-٣٢	عندما يبلغ ثخن المعدن المدلفن (مم): ٢٠ مم وأقل	10Г2С, 10Г2С2Л, 15ХСНД	16ХСНД
مسامير منجزة — معدنية ناصعة — ونصف منجزة (عالية الضبط)	شد	$R_{b.t}$	١٧٠٠	١٩٠٠	١٧٠٠	١٧٠٠	٢٣٠٠	٢٠٠٠	١٩٠٠	١٨٠٠	٢٨٠٠	٤١٠٠	٥٢٠٠	٥٢٠٠	٥٢٠٠	٦١٠٠
	قص B	$R_{b.sh}$	١٧٠٠	١٩٠٠	١٧٠٠	١٧٠٠	٢٣٠٠	٢٠٠٠	١٩٠٠	١٨٠٠	٢٨٠٠	٤١٠٠	٥٢٠٠	٥٢٠٠	٥٢٠٠	٦١٠٠
	تهشير	$R_{b.cr}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
مسامير غير منجزة (عادية الضبط) في الوصلات ذات المسمار الواحد	شد	$R_{b.t}$	١٣٠٠	١٤٠٠	١٢٠٠	—	٢٤٠٠	—	١٤٠٠	—	٣٨٠٠	—	—	—	—	—
	قص	$R_{b.sh}$	١٣٠٠	١٤٠٠	١٢٠٠	—	٢٤٠٠	—	١٤٠٠	—	٣٨٠٠	—	—	—	—	—
	تهشير	$R_{b.cr}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
مسامير غير منجزة (عادية الضبط) في الوصلات المتعددة المسامير	شد	$R_{b.t}$	١٥٠٠	١٧٠٠	١٤٠٠	—	٢٧٠٠	—	١٧٠٠	—	٤٤٠٠	—	—	—	—	—
	قص	$R_{b.sh}$	١٥٠٠	١٧٠٠	١٤٠٠	—	٢٧٠٠	—	١٧٠٠	—	٤٤٠٠	—	—	—	—	—
	تهشير	$R_{b.cr}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
مسامير الثبيت	شد	$R_{b.t}$	١٤٠٠	١٥٠٠	١٢٠٠	—	٢٣٠٠	—	١٥٠٠	—	٣٨٠٠	—	—	—	—	—

(بالرمل وبالمسحوق المعدني ، وغير ذلك) او باستخدام طريقة التحميض . ويتم حساب المسامير العالية المقاومة ، بالطريقة التالية : تعين قوة الشد المحورية للمسمار العالي المقاومة (الثقيل) — P_b ، عندما يكون مشدودا شدا محكما للغاية .

وتعتمد هذه القوة على الخواص الميكانيكية لمادة المسمار ، بعد معاملتها الحرارية . وبعد ان نأخذ عامل التجانس للمسامير العالية المقاومة ، مساويا لـ ٠,٨ ، وعامل خدمة المادة مساويا لـ ٠,٧٥ ، تقوم بايجاد قوة الشد القصوى للمسمار ، من الصيغة التالية :

$$P_b = 0.6\,\sigma_{b.u}\,A_{b.n} \qquad (5-9)$$

حيث $A_{b.n}$ — المساحة الصافية لمقطع المسمار (في القولب) .

اما القوة التصميمية، التي يمكن ان يتحملها كل سطح من سطوح الاحتكاك في القطع المراد ربطها مع بعضها ، والمشدودة بمسمار واحد عالي المقاومة ، فسوف تساوي ما يلي :

$$F_{b.h} = P_b f k_2 \qquad (5-10)$$

حيث f — معامل الاحتكاك ، المأخوذ من الجدول (٥ — ٨) ،

k_2 — معامل خدمة الوصلة ذات المسامير العالية المقاومة ، ويؤخذ مساويا لـ ٠,٩ .

جدول ٥-٨

قيم معامل الاحتكاك

طريقة التنظيف السطح المراد ربطها بعضها البعض	مادة القطع الانشائية المراد ربطها مع بعضها	
	فولاذ كوبوني	فولاذ سيانكي منخفض الاشابة
التنظيف بالهواء المضغوط (بالرمل او بالمسحوق المعدني وغير ذلك) او بالتحميض	٠,٤٥	٠,٥٥
التنظيف باستخدام فرش من الاسلاك الفولاذية	٠,٣٥	—
بدون تنظيف (مع استبدال البرشام او المسامير جزئيا) . . .	٠,٢٥	—

وهكذا فان العدد الضروري من المسامير العالية المقاومة ، في الوصلة (على فرض ان القوة تكون موزعة بين المسامير بانتظام) ، يحدد من الصيغة التالية :

$$N \geqslant \frac{F}{F_{b.h}} = \frac{F}{0.54\,\sigma_{b.u}\,A_{b.n}\,l} \qquad (5-11)$$

حيث F — القوة (الاحمال) التصميمية المؤثرة في الوصلة .

ويتم ترتيب وضع المسامير في الوصلة ، وفقا لقواعد ترتيب البرشام ، حسب الجدول ٥ — ٢ (باستثناء المسافة الصغرى بين المسامير ، التي تؤخذ في جميع الحالات ، مساوية للمقدار $3.5d$) . وبالاضافة الى ذلك ، يجب ان تؤخذ في الاعتبار ، امكانية ربط الصمولات بمفاتيح ربط قياسية .

ويبين الجدول (٥ — ٩) ، مقاييس ابعاد الثقوب ، التي ينصح باستخدامها للمسامير غير المنجزة ، من كلا النظامين القياسيين المتري او البوصوي .

جدول ٥—٩

مقاييس او ابعاد الثقوب ، التى ينصح باستخدامها للمسامير غير المنجزة

قطر المسمار (مم)	١٢	١٤	١٦	١٨	٢٠	٢٢	٢٤	٢٧	٣٠	٣٦
النظام القياسى المترى — مساحة المقطع A_b (سم^2)	١,١٣	١,٥٤	٢,٠١	٢,٥٤	٣,١٤	٣,٨	٤,٥٢	٥,٧٣	٧,٠٧	١٠,١٨
مساحة مقطع A_h القسم الملوب (سم^2)	٠,٧٦	١,٠٤	١,٤٤	١,٧٥	٢,٢٥	٢,٨١	٣,٢٤	٤,٢٧	٥,١٨	٧,٤٨
قطر المسمار بالبوصات	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	1	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$
النظام القياسى البوصى — قطر المسمار بالملليمترات	١٢,٧	١٥,٧	١٩,٠	٢٢,٢	٢٥,٤	٢٨,٦	٣١,٨	٣٤,٩	٣٨,١	٣٤,٩
مساحة المقطع A_b (سم^2)	١,٢٧	١,٩٨	٢,٨٥	٣,٨٨	٥,٠٧	٦,٤١	٧,٩٢	٩,٥٥	٧,٧٧	٩,٥٥
مساحة المقطع A_h (سم^2)	٠,٧٨	١,٣١	١,٩٦	٢,٧٢	٣,٥٧	٤,٩٣	٥,٧٧	٧,٠٧	٩,٥٥	٣٩,٥
قطر الثقب التى ينصح باستخدامه (مم)	١٤	١٦	١٨	٢٠	٢٢	٢٤	٢٦	٢٩,٥	٣٢,٥	٣٩,٥

جدول ٥—١٠

الرموز الاصطلاحية للمسامير والثقوب

نوع المسامير والثقوب	الرمز	ملحوظات
مسامير دائمية ثابتة ، فى الوصلات المنتجة فى الورشات		—
مسامير وقتية ، تستخدم لربط القطع فى مجموعة واحدة جاهزة للشحن		فى الرسوم والمخططات التركيبية للوصلات ، يستخدم هذا الرمز للاشارة الى المسامير الدائمية الثابتة ، فى الوصلات التركيبية
مسامير عالية المقاومة		—
ثقوب بيضوية الشكل		—

مثال ٥ — ٣ : يطلب حساب وتصميم وصلة لتثبيت الوتر العلوى لجمالون سقفى ، مع احد الاعمدة ، باستخدام مسامير غير منجزة (شكل ٥ — ١١) . مع العلم بان قوة (احمال) الشد التصميمية المؤثرة فى الوتر تساوى $F = ١٠$ اطنان ، وان القطع والمسامير مصنوعة من الفولاذ ماركة BCr.3 .

الحل : نستخدم مسامير قطرها يساوى $d = ١٨$ مم ، ومساحة مقطع اللولب الصافية تساوى $A_n = ١,٧٥$ سم^2 . والان نعين عدد المسامير اللازم لربط الوتر العلوى مع العمود ، وذلك من الصيغة (5—8) كما يلى :

$$N = \frac{F}{A_n R_{b.h}} = \frac{10000}{1.75 \times 1700} = 3.4$$

اى نستخدم اربعة مسامير ، يعد تقريب العدد ، قطر كل منها يساوى

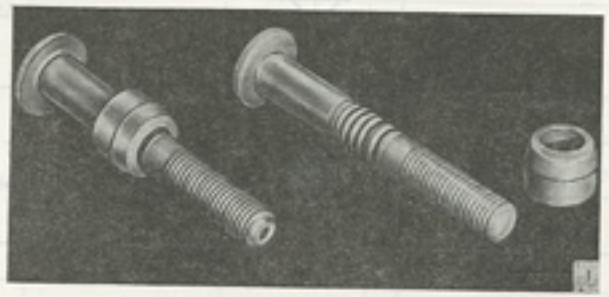
$d = ١٨$ مم .

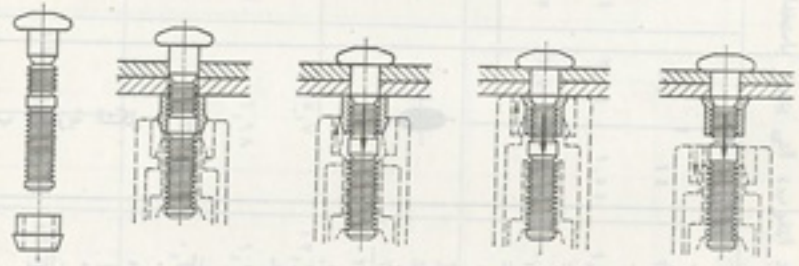
ونأخذ قطر الثقوب مساويا ٢٠ مم .

شكل (٥ — ١١) رسم توضيحى للمثال ٥ — ٣

يمكن ربط او وصل القطع الانشائية الالومنيومية ، بمسامير الومنيومية او فولاذية ، مع اتخاذ عدد من الاجراءات الكفيلة بحمايتها من الصدأ .

وقد انتشر في السنوات الاخيرة ، استخدام المسامير الالومنيومية ذات الحلقات القابضة (مسامير زنق ، المصنوعة من سبيكة عالية المقاومة (شكل ٥ – ١٢ ، أ) . وفي هذه الحالة تركب على المسمار حلقة قابضة ، مصنوعة من سبيكة خفيفة لدنة ، ثم يجرى ضبط الحلقة بواسطة مدسرة شد





شكل (٥ – ١٢) مسامير الومنيومية ذات حلقات قابضة :
أ – منظر المسمار ، ب – ترتيب العمليات في التركيب

خاصة ، وهكذا يتم سحب الالواح الى بعضها البعض ، في وصلة واحدة . ويكون السحب من القوة ، بحيث يؤدى الى قطع او انفصام ذيل المسمار ، في المقطع المحتوى على ثقوب (شكل ٥ – ١٢ ، ب) .

ان ترتيب وقواعد تصميم وحساب المسامير الالومنيومية ، تبقى كما هي عليه بالنسبة للبرشام المصنوع من الالمنيوم . ان المادة التي تصنع منها هذه المسامير ، ومقاوماتها التصميمية ، مبينة في الجدول (٥ – ١١) .

وفي حالة استخدام المسامير الفولاذية في وصلات القطع الانشائية الالومنيومية ، يجب ان تطلى المسامير الفولاذية بالزنك او بالكادميوم ، وذلك لتجنب الصدأ ، الذي يتكون في مواضع اتصال السبائك الالومنيومية مع الفولاذ . ولتلافي العطب الموضعي للسبائك الالومنيومية عند شد المسامير ، يجب ان تستخدم حلقات خاصة لهذه الحالة .

المقاومات التصميمية لوصلات القطع الانشائية الالومنيومية ،
المربوطة بمسامير الومنيومية R_b كجم/سم²

حالة الاجهاد	الرمز	قيم R_b للمسامير المنجزة ، المصنوعة من السبيكة :				قيم R_b للمسامير ذات الحلقات القابضة ، المصنوعة من السبيكة :	
		AMr5n	AB-T1	B94	Д16n	Д16n	B65
		في القطع الانشائية المصنوعة من السبيكة :				في القطع المصنوعة من السبيكة :	
		AMr6	AB-T1	АД33-T1	Д1-T	Д16-T	Д1-T	Д16-T	Д1-T	Д16-T
قص B	$R_{b.sh}$	٩٠٠	٩٠٠	٩٠٠	١٦٠٠	١٦٠٠	١٣٠٠	١٣٠٠	١٧٠٠	١٧٠٠
تهصر B	$R_{b.cr}$	١٩٠٠	٢٥٠٠	٢١٥٠	٢٦٠٠	٣٥٠٠	٢٦٠٠	٣٥٠٠	٢٦٠٠	٣٥٠٠
شد (انفصام الرؤوس)	$R_{b.t}$	١٢٥٠	١٧٠٠	١٧٠٠	٢٩٥٠	٢٩٥٠	٢٠٠٠	٢٠٠٠	١٦٠٠	١٦٠٠

ملحوظة : ان المعطيات الخاصة بالمسامير ذات الحلقات القابضة ، تعود الى المسامير التي يتراوح قطرها بين ٦–١٢ مم .

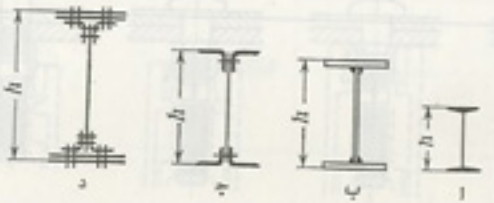
الفصل السادس

العتبات

البند السادس والعشرون – الخصائص العامة للعتبات . الشبكة العتبية

١ – انواع العتبات والعوارض

ان العتبات والعوارض المعدلية ، المصممة لمقاومة الانحناء ، تكون اما مدلفنة او مجمعة . ويفضل استخدام العتبات والعوارض المدلفنة ، وذلك لانها تقلص حجم العمل المطلوب (شكل ٦ – ١ ، أ) . ولكن نظرا لكون عدد مقاطعها القياسية محدودا ، اصبح من الضرورى تصميم العتبات والعوارض الثقيلة ، بصورة مجمعة ، ملحومة او مبرشمة . وتتألف العتبات الملحومة ، من ثلاثة الواح : احدها عمودى ، يسمى بالوترة ، والاثنان الاخران افقيان ، ويسميان بالشفتين ، اللتين تلحمان مع الوترة (شكل ٦ – ١ ، ب) . وتتألف العتبات شكل – I المبرشمة ، من لوح



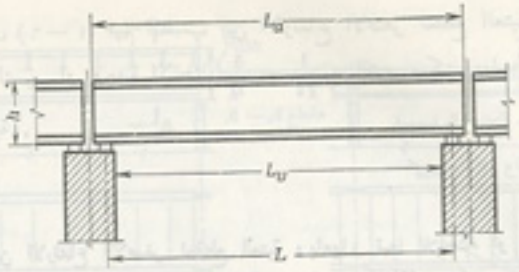
شكل (٦ – ١) مقاطع العتبات

عمودى (الوترة) ، ومن زوايا مشفهة تربط مع الوترة (شكل ٦ – ١، هـ) . واذا دعت الضرورة الى استخدام عتبات وعوارض مبرشمة ثقيلة ، عندئذ تربط مع شفهات الزوايا ، الواح افقية ، وذلك لزيادة قيمة معامل المقطع (شكل ٦ – ١ ، د) . والعتبات الملحومة ، افضل من نظيراتها المبرشمة ، من الناحية الاقتصادية .

ولهذا السبب اصبح استخدام العتبات والعوارض المبرشمة محدودا ، وخاصة فى القطع الانشائية الثقيلة ، وكذلك فى القطع الانشائية المعرضة لاحمال دينامية او اهتزازية كبيرة .

٢ – الابعاد العامة

ان الابعاد العامة للعتبة ، تتمثل فى طول باعها الفعال وفى ارتفاع مقطعها العرضى . ان الباع الفعال L للعتبة او العارضة ، هو المسافة بين مركزى جزئيها ، اللذين ترتكز بهما على المسندين (شكل ٦ – ٢) .



شكل (٦ – ٢) الابعاد الرئيسية للعتبة

والطول الفعلى للعتبة L_0 ، يكون دائما اكبر بقليل من طول الباع الفعال. والمسافة L_0 تسمى بالطول غير المسنود ، ويحدد عادة بشروط خدمة الانشاء او المبنى ، ويكون اختياره مبنيا على بعض الاعتبارات الاقتصادية المعينة . ويتم اختيار او تعيين ارتفاع المقطع h ، انطلاقا من تحقيق النسب المثلى بين ابعاد المقطع ، التى تجعل كمية الفولاذ المستهلكة ، اقل ما يمكن (اذا لم تكن هناك متطلبات تصميمية ، تحدد الابعاد الاجمالية للعتبة او العارضة) ، وكذلك من شرط تأمين جسوءة العتبة اللازمة، التى تحدد بنسبة الانحناء (انحراف) العتبة الى طول باعها – الانحناء النسبى او وحدة الانحناء وهى : $\frac{\delta}{L} \leqslant \frac{1}{r_0}$. وتثبت القيم القصوى للمقدار $\frac{1}{r_0}$ ، بموجب المواصفات القياسية (راجع الملحق الاول ، الجدول ٣) .

ان النسبة بين انحناء (انحراف) العتبة وباعها ، تكون ذات علاقة طردية مع النسبة بين ارتفاع المقطع والباع . واذا رمزنا الى الحمل الساكن الموزع بانتظام ، بالرمز p ، والى الحمل المتنقل بالرمز q ، نستطيع ايجاد عزم الانحناء الاقصى ، للعتبة البسيطة ، من الصيغة التالية :

$$M = \frac{(pn_p + qn_q) L^2}{8} = \sigma W = \frac{\sigma 2I}{h} \qquad (6-1)$$

حيث n_p و n_q – عاملا التحميل المناظران .

وكما ذكرنا فى الفصل الاول ، فانه عند تحديد الانحناءات (الانحرافات) ، لا يؤخذ فى الاعتبار الا حمل التشغيل او التصميم (بدون اخذ عوامل التحميل فى الاعتبار) . وفى هذه الحالة ، وبأخذ الصيغة (1—6) فى الاعتبار ، نستطيع ايجاد العلاقة بين الانحناء او الانحراف النسبى وبين حمل التصميم وارتفاع العتبة ، معبرا عنه بواسطة المقاومات التصميمية ، كما يلى :

$$\frac{\sigma}{L} = \frac{5}{384} \times \frac{(p+q) L^3}{EI} = \frac{5}{48} \times \frac{ML}{EI} \times \frac{p+q}{pn_p + qn_q} =$$

$$= \frac{5}{24} \times \frac{\sigma L}{Eh} \times \frac{p+q}{pn_p + qn_q} \leqslant \frac{1}{r_0} \qquad (6-2)$$

ومن هذه الصيغة ، يمكن تحديد ارتفاع العتبة الاصغر ، عند الانحناء النسبى المعطى :

$$h_{min} = \frac{5}{24} \times \frac{\sigma L r_0}{E} \times \frac{p+q}{pn_p + qn_q} \qquad (6-3)$$

وبعد ان نأخذ فى الاعتبار ، ضرورة الاستفادة من المقاومة التصميمية للمادة ($\sigma = R$) استفادة تامة ، فى العتبة ، وباعتبار ان للفولاذ – ٣ ، لدينا $\frac{R}{E} = \frac{2100}{2.1 \times 10^6} = \frac{1}{1000}$ ، وكذلك بفرض ان $n_p = n_q$ ، نحول الصيغة (3—6) الى الشكل التالى :

$$h_{min} = \frac{Lr_0}{4800} \times \frac{1}{n_q} \qquad (6-4)$$

ويبين الجدول (٦ — ١) قيم النسب بين الارتفاع الاصغر لمقطع العتبة وباعها ، تبعا لقيم الانحناء (الانحراف) النسبي او وحدة الانحناء $\frac{\delta}{L} = \frac{1}{r_0}$ ، التي يمكن بواسطتها تحديد الارتفاع الاصغر لمقطع العتبة .

جدول ٦—١

النسبة بين الارتفاع الاصغر لمقطع العتبة وباعها، تبعا للانحناء او الانحراف
(العتبات او العوارض المصنوعة من الفولاذ — ٣)

$\frac{\sigma}{L} = \frac{1}{r_0}$	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{750}$	$\frac{1}{600}$	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{200}$
$\frac{h_{min}}{L}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{30}$

وعندما يقل ارتفاع العتبة عن الارتفاع المبين في الجدول (٦ — ١) يكون من المحتمل ان تحصل كذلك على انحناء نسبي (وحدة انحناء) ، ولكن عند وجود اجهادات منخفضة فقط ، اى مع استهلاك زائد في المعدن .

والارتفاع الاصغر الضروري للعتبة ، لا يكون دائما افضل الارتفاعات الاخرى من حيث استهلاك الفولاذ او المعدن . ان مسألة اختيار افضل ارتفاع للعتبة ، مبحوثة على انفراد في البند الثامن والعشرين .

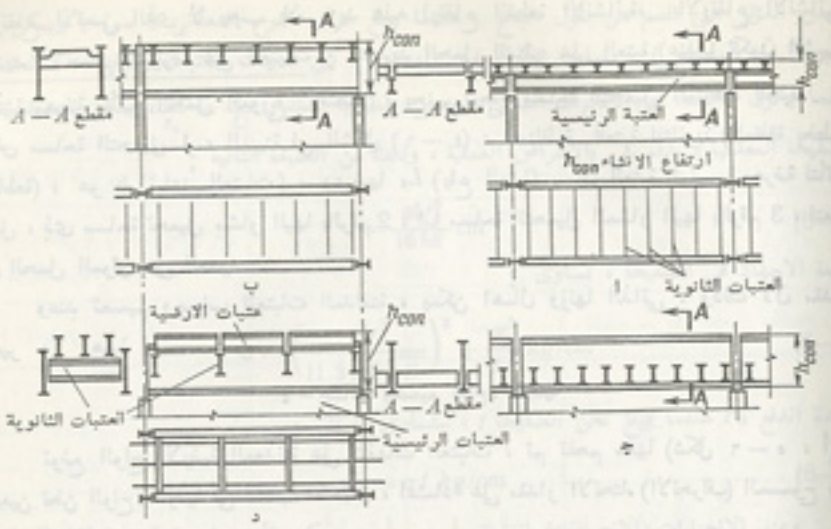
٣ — الشبكة العتبية

عند تصميم القطع الانشائية العتبية ، يكون من الضروري ، تبعا للغرض التي صممت لاجله العتبات ، وضع الرسم التخطيطي لوضعها وترتيبها ، وبيان ابعادها العامة وتحديد الحمل الذي يجب ان تتحمله تلك العتبات. وعندما تدعو الحاجة الى تغطية مساحة معينة فان العتبات السائدة للقطعة الانشائية ترتب عادة في اتجاهين. ان القطعة الانشائية التي تتألف احيانا من مجموعة كاملة من العتبات المتقاطعة، تسمى بالشبيكة العتبية. وتغطى الشبيكة العتبية بالواح الارضية (الواح التسقيف) ، التي تكون على هيئة الواح معدنية (ساحات العمل في الورشات، الانشاءات الخاصة بالهندسة الايدرولية)، وعلى هيئة بلاطات خرسانية مسلحة، وغير ذلك. وتتألف الشبيكة العتبية من العتبات الرئيسية ، اى العوارض ، التي تغطى باعا كبيرا ، ومن العتبات الثانوية (شكل ٦ — ٣ ، أ ، ب ، ح) .

وترتكز العتبات الرئيسية (العوارض) على المساند ، اما العتبات الثانوية فترتكز على العتبات الرئيسية . ان الشبيكات العتبية ، تكون على انواع مختلفة ، وهي :

١) شبيكات عتبية ذات عتبات مرتبة على هيئة طبقات (شكل ٦ — ٣ ، أ) ،

٢) شبيكات عتبية ذات عتبات ثانوية مرتبة او موضوعة في مستوى واحد مع العتبات الرئيسية (شكل ٦ — ٣ ، ب) ،

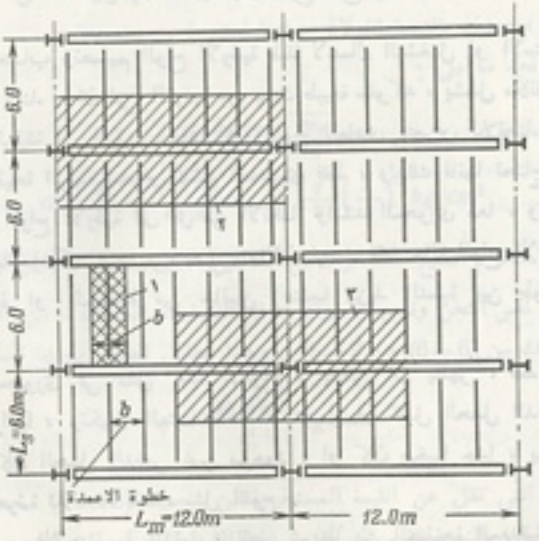


شكل (٦ — ٣) انواع العتبات التشابكية

٣) شبيكات عتبية ذات عتبات ثانوية ، واقعة في مستوى منخفض (شكل ٦ — ٣ ، ح) ،

٤) شبيكات عتبية من النوع المعقد ، تتألف من ثلاث مجموعات من العتبات ، وهي العتبات الرئيسية والثانوية وعتبات الارضية او التسقيف (شكل ٦ — ٣ ، د) .

ان اختيار او انتقاء نوع الشبيكة العتبية ، يخضع لعوامل اقتصادية معينة ، وكذلك للابعاد العامة المعطاة ، التي تمليها على المصمم ، ظروف خدمة القطعة الانشائية المراد تصميمها . ويسمى



شكل (٦ — ٤) الرسم التخطيطي لتوزيع الحمل على عتبة الشبيكة

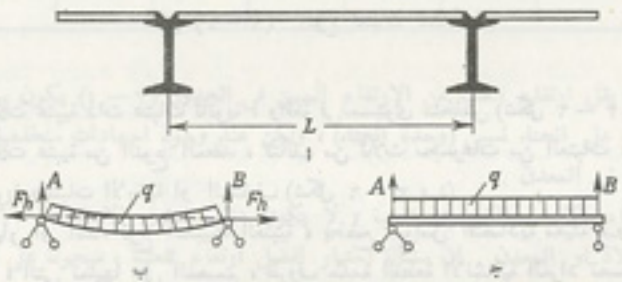
الارتفاع الاقصى الذى لا يجب ان يزيد عليه ارتفاع القطعة الانشائية، بالارتفاع الانشائى.

تحديد الاحمال المؤثرة على العتبات : لتحديد الحمل المؤثر على العتبة (عندما تكون الشبكة العتبية معرضة لتأثير الحمل الموزع بانتظام) ، يجب ايجاد مساحة التحميل المناظرة للعتبة . ان عرض مساحة التحميل 1 ، المبينة فى الشكل (٦ — ٤) ، المناظرة للعتبة الثانوية (المظللة بخطوط متقاطعة) ، هو b (تباعد العتبات) ، وعرضها L_1 (باع العتبة) . ان العتبة الرئيسية معرضة لتأثير حمل ، ذى مساحة تحميل مشار اليها بالرقم 2 ، اما مساحة التحميل المشار اليها بالرقم 3 ، فتعود الى الحمل المؤثر على العمود .

وعند تصميم وحساب العتبات المدلفنة ، يمكن اهمال وزنها الذاتى ، وذلك لان مقداره صغير ولا اهمية له .

٤ – حساب وتصميم الواح الارضية

توضع الواح الارضية المعدنية على شفهات العتبات ، ثم تلحم معها (شكل ٦ — ٥ ، أ) . ويعين ثخن الواح الارضية فى اغلب الاحيان ، اعتمادا على مقدار الانحناء (الانحراف) المسموح به ،



ب ج

شكل (٦ — ٥) ارضية من الالواح المستوية

ولهذا السبب يتم حساب وتصميم الواح الارضية طبقا لاحمال التشغيل او الاستخدام ، المبينة فى المواصفات القياسية للبناء . ان لوح الارضية من حيث طبيعة سلوكه ، يشغل مكانة متوسطة بين اللوح العادى والصفيحة الرقيقة او الرق . واذا كان اللوح العادى يتعرض للانحناء فقط ، عند تأثير الاحمال ، فان الصفيحة الرقيقة تتعرض للشد المحورى فقط ، ولذلك فانها تحتاج الى وجود مساند ثابتة . وقد تتعرض الواح الارضية الى كل من الانحناء والشد المحورى معا ، وتسلك سلوك القطعة الانشائية المرنة المعلقة (شكل ٦ — ٥ ، د) . والان نبحث فقط حالة الواح الارضية الطويلة بمافيه الكفاية ، والمرتكزة او المسندة من جانبين (عندما تزيد النسبة بين طول اللوح وباعه ، على ٢) .

ان الشد المحورى فى مثل هذه الالواح ، يمكن ان يظهر ، فقط عندما تكون مثبتة من جوانبها او اطرافها ، وتكون المثبتات صالحة لتحمل او تقبل الحمل الدفعى F_h — والانحناء مع الدفع . واذا كان الحمل الدفعى غير موجود ، او كان صغيرا جدا ، يمكن عندئذ اعتبار الصفيحة المعدنية معرضة للانحناء فقط ، مثل اللوح .

الحالة الاولى — الانحناء مع الدفع : نفرض شريطا من الصفيحة المعدنية ، عرضه b سم ، ونبحث سلوكه عند تعرضه لحمل موزع بانتظام قدره q كجم/سم^2 (اى نأخذ فى الاعتبار ،

الحمل المؤثر على اسم من طول الباع ، عندما يبلغ عرض اللوح المعدنى b سم) . ويمكن ان تعتبر الباع المصمم L ، مساويا للطول غير المسنود ، بين شفهات العتبات . وفى هذه الحالة ، عندما يكون الانحناء او الانحراف النسبى المعطى، مساويا للمقدار $\frac{\delta}{L} = \frac{1}{r_0}$، يمكن تحديد ثخن الصفيحة المعدنية ، بدقة تفى بالاغراض العملية ، وذلك من الصيغة التالية :

$$t = \frac{qLr_0^2}{16\,bE}\,cm \qquad (6—5)$$

وقيمة الاجهاد فى الصفيحة ، تساوى :

$$\sigma = \left(\frac{qLr_0^2}{11.3\,bt\sqrt{E}}\right)^2 + \frac{qr_0^2}{3\,b}\,kg/cm^2 \qquad (6—6)$$

وشدة الدفع F_h عندما يبلغ ثخن الصفيحة t ، ستساوى ما يلى :

$$F_h = \sigma t\ kg/cm \qquad (6—7)$$

وعند الانحنادات (الانحرافات) القليلة $\frac{1}{r_0} < \frac{1}{250}$ ، يمكن تأمين او تحقيق توازن الصفيحة المحنية ، وذلك عندما تتعرض للانحناء كلوح عادى ، بدون دفع .

الحالة الثانية — الانحناء بدون دفع : فى هذه الحالة يعين ثخن الصفيحة المعدنية ، من شرط انحناء العتبة البسيطة ، وذلك باستخدام صيغة مماثلة للصيغة (2—6) :

$$\frac{\delta}{L} = \frac{5}{384}\,\frac{qL^3}{EI_{\epsilon\mu t}} = \frac{5}{32}\,\frac{qL^3}{Ebt^3} = \frac{1}{r_0}$$

حيث $\frac{Ebt^3}{12\,(1-\mu^2)} = EI_{\epsilon\mu t}$ تمثل الكزازة الاسطوانية للصفيحة ، المقدار $(1-\mu)^2$ هو بمثابة تصميم يأخذ فى الاعتبار عدم تعرض اللوح او الصفيحة ، للتشوه الخطى المستعرض . (μ هو معامل « بواسون » ، ويؤخذ بالنسبة للفولاذ مساويا لـ ٠,٣) .

وبعد ذلك نجد ما يلى :

$$t = \frac{L}{1.93}\sqrt[3]{\frac{qr_0}{bE}}\,cm \qquad (6—8)$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{qL^2}{8}\,\frac{6}{bt^2} = \frac{3}{4}\,\frac{q}{b}\left(\frac{L}{t}\right)^2 kg/cm^2 \qquad (6—9)$$

والحدود التقريبية لاستخدام الصيغ المستخرجة فى الحالتين الاولى والثانية، تتمثل فى النسبة $\frac{L}{t}$ ، التى عندها تحصل على نفس الثخن ونفس الاجهادات فى الصفيحة المعدنية ، من الصيغتين (5—6) و (8—6)، ووفقا لذلك من (6—6) و (9—6) . وهذا يطابق احمال قيمتها تساوى ما يلى :

$$q = \frac{23.8\,bE}{r_0^4}\,kg/cm \qquad (6—10)$$

وبالنسبة لقيم q ، التى تقل عن القيمة المستخرجة من الصيغة (10—6) ، يجب اجراء الحساب طبقا للحالة الاولى ، اما بالنسبة للقيم التى تزيد على القيمة المذكورة ، فيجب اجراء الحساب طبقا للحالة الثانية .

جدول ٦–٢

الصيغ الحسابية لالواح الارضية

$\frac{\delta}{L}=\frac{1}{r_0}$	$\frac{1}{150}$		$\frac{1}{200}$	
الحمل الخطي q (كجم/سم) على شريط عرضه ١٠٠ سم	$q<10$	$q>10$	$q<3$	$q>3$
نوع التشوه في حالة التوازن	انحناء مع دفع	انحناء	انحناء مع دفع	انحناء
السمك t (سم)	$\frac{qL}{1000}$	$\frac{L\sqrt[3]{q}}{216}$	$\frac{qL}{420}$	$\frac{L\sqrt[3]{q}}{197}$
الاجهاد σ (كجم/سم^2)	$\left(\frac{qL}{73t}\right)^2+75q$	$\frac{3qL^2}{400t^2}$	$\left(\frac{qL}{41t}\right)^2+135q$	$\frac{3qL^2}{400t^2}$
الدفع F_h (كجم/سم)	σt	0	σt	0

ملحوظة : ان باع الواح الارضية L مقاس بالسنتمترات .

وعادة تعطى قيمة $\frac{1}{r_0}$ عند تصميم مختلف الانشاءات المعدنية ، في حدود تتراوح من $\frac{1}{100}$ الى $\frac{1}{300}$. وادرجت في الجدول (٦ – ٢) ، الصيغ الحسابية او التصميمية لالواح الارضية ، لقيمتين من قيم $\frac{1}{r_0}$ وهما : $\frac{1}{150}$ و $\frac{1}{200}$.

ولا ينصح باتخاذ سمك لالواح الارضية ، يقل عن ٦ سم .

مثال ٦ – ١ : يطلب حساب وتصميم الواح ارضية ، معرضة لاحمال تشغيل (احمال تصميم) قدرها $q_d=400$ كجم/م^2 ، مع العلم بان الطول المصمم لباع الارضية يساوى $L=80$ سم .

الحل : ١) نحدد الحمل المؤثر على كل ١ سم من طول الشريط ، الذى يبلغ عرضه $b=100$ سم :

$$q=q_d b=\frac{q_d\times 100}{10{,}000}=\frac{q_d}{100}=\frac{400}{100}=4\ kg/cm$$

٢) نعين الانحناء (الانحراف) النسبى :

$$\frac{\delta}{L}=\frac{1}{r_0}=\frac{1}{150}$$

٣) نستخرج سمك الصفيحة المعدنية من الصيغة المدرجة في الجدول (٦ – ٢) ، المناظرة للنسبة $\frac{1}{150}=\frac{1}{r_0}$ ، وللمقدار $q=4\ kg/cm<10\ kg/cm$ ويساوى ما يلى :

$$t=\frac{qL}{1000}=\frac{4\times 80}{1000}=0.32\ cm$$

أى حوالى ٤ سم .

٤) نقوم بايجاد الاجهاد في الصفيحة المعدنية ، ومقدار الدفع المؤثر فيها :

$$\sigma=\left(\frac{qL}{73t}\right)^2+75q=\left(\frac{4\times 80}{73\times 0.4}\right)^2+75\times 4=420\ kg/cm^2$$

$$F_h=\sigma t=420\times 0.4=168\ kg/cm$$

واذا اردنا الابتعاد عن الدفع ، بجعل صفائح الارضية تسلك عند تعرضها للحمل ، سلوك الالواح العادية ، فان سمك الصفيحة المعدنية سيكون مختلفا ، عند نفس قيمة الانحراف او الانحناء المسموح به ، وهذا السمك بالذات ، يساوى ما يلى :

$$t=\frac{L\sqrt[3]{q}}{216}=\frac{80\sqrt[3]{4}}{216}=0.59\ cm$$

اى حوالى ٦ سم .

وعند ذلك ، فان الاجهاد في الصفيحة المذكورة ، سيساوى المقدار التالى :

$$\sigma=\frac{3qL^2}{400t^2}=\frac{3\times 4\times 80^2}{400\times 0.6^2}=534\ kg/cm^2$$

مثال ٦ – ٢ : يطلب حساب وتصميم الواح الارضية ، المعرضة لاحمال تشغيل (احمال تصميم) تساوى $q_d=1800$ كجم/م^2 ، مع العلم بان الطول المصمم لباع الارضية هو $L=80$ سم .

الحل : ١) نحدد الحمل المؤثر على كل اسم من طول الشريط الذى يبلغ عرضه $b=100$ سم :

$$q=q_d b=\frac{q_d\times 100}{10000}=\frac{1800}{100}=18\ kg/cm$$

٢) نستخرج سمك الصفيحة ، المناظر للنسبة $\frac{1}{150}=\frac{1}{r_0}$ ، ولما كان لدينا $q=18>10\ kg/cm$ ،

اذن تكون هناك حالة انحناء بدون دفع : $t=\frac{L\sqrt[3]{q}}{216}=\frac{80\sqrt[3]{18}}{216}=0.97\ cm$ اى حوالى ١٠ مم .

٣) قيمة الاجهاد في الصفيحة ، تساوى ما يلى :

$$\sigma=\frac{3\times 18\times 80^2}{400\times 1^2}=864\ kg/cm^2$$

البند السابع والعشرون – العتبات الفولاذية المدلفنة

ان مقطع العتبات المدلفنة ، المستخدمة في الانشاءات ، يكون على شكل – I ، او على شكل مجرى (⊐) . ولكن استخدام العتبات التى مقطعها على شكل – I ، افضل من الناحية المنطقية ، وذلك بسبب تماثل المقطع المذكور . وفي نفس الوقت ، فان العتبات التى مقطعها على شكل (⊐) ، تسلك سلوكا افضل في حالة الانحناء المائل .

ويتلخص حساب العتبات المدلفنة ، في تحديد الرقم (الحجم) اللازم للمقطع المدلفن ، وبعد ذلك تتم مراجعة مقاومة وجسؤة (كزازة) واستقرار العتبات .

١ – حساب العتبات المدلفنة واختيار مقاطعها

بعد ان يتم اختيار او انتقاء نوع العتبة ، ويحدد باعها المصمم ، وتعين احمال التصميم المؤثرة عليها ، يجرى حساب عزم الانحناء التصميمى الاقصى M . وبواسطة العزم التصميمى المذكور ، يتم ايجاد معامل المقطع الاصغر ، اللازم للعتبة :

$$W_{req}=\frac{M}{R} \qquad (6-11)$$

اما عندما يمكن أخذ تطور التشوهات اللدنة فى الاعتبار (راجع البند الحادى عشر) ، فنجد ان :

$$W_{req} = \frac{M}{1.12\,R} \qquad (6-11')$$

وبعد تعيين معامل المقطع اللازم W_{req} ، يتم اختيار اقرب رقم مقطع ، له معامل مقطع فعلى W ، اكبر من المعامل اللازم W_{req} او يساويه ، وذلك بموجب كتالوجات المقاطع القياسية .

مراجعة المقاومة : بعد ان يتم اختيار شكل المقطع ، يعين الاجهاد الفعلى فى العتبة ، وهو الاجهاد الذى يجب ان يحقق المعادلة التالية :

$$\sigma = \frac{M}{W} \leqslant R$$

أو (6—12)

$$\sigma = \frac{M}{1.12W} \leqslant R$$

وعند تسليط حمل مركز عن طريق شفة العتبة ، فى موضع غير مثبت يضلع من الاضلاع (شكل ٦ — ٦) ، يجب ان تراجع مقاومة وترة العتبة ، بالنسبة لتأثير الحمل الموضعى ، وذلك بواسطة الصيغة التالية :

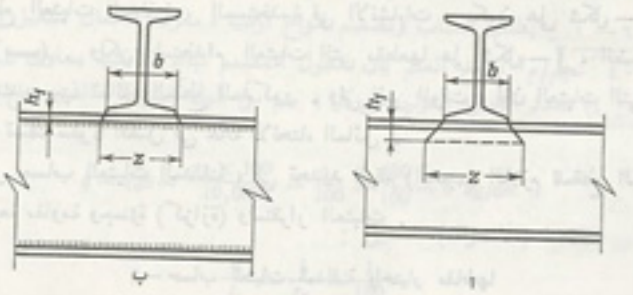
$$\sigma_{loc} = \frac{P}{tz} \leqslant R \qquad (6-13)$$

حيث σ_{loc} — الاجهاد فى وترة العتبة ، الناتج عن تأثير الحمل ، والعمودى على محور العتبة ،

P — حمل التصميم المركز ،

t — ثخن الوترة ،

$z = b + 2h_1$ ، حيث b — طول الجزء المحمل من العتبة ، h_1 — المسافة من السطح الخارجى لشفة العتبة ، الى منحنى اتصال الوترة فى العتبات المدلفنة (شكل ٦ — ٦ ، أ . راجع كذلك الجدول ٣ من الملحق الثالث) .



شكل (٦ — ٦) توزيع الضغط الموضعى على العتبة

مراجعة الجسرة (الكزازة) : وتتلخص فى تحديد الانحناء (الانحراف) النسبى ، الذى لا يجب ان يزيد على الانحناء النسبى التصميمى او القياسى .

مراجعة الاستقرار العام : عندما تكون الشفة العليا للعتبة ، غير مثبتة لتجنب التحدب الجانبى ، يمكن ان تفقد العتبة استقرارها العام ، بعد وصول الاحمال الى القيمة الحرجة .

وتتم مراجعة الاستقرار العام للعتبة ، بواسطة الصيغة التالية :

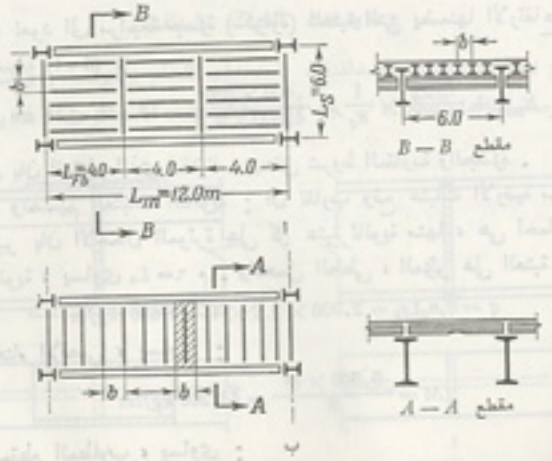
$$\sigma = \frac{M}{\varphi_b W_{gr}} \leqslant R \qquad (6-14)$$

وتحدد قيم العامل φ_b ، للعتبات المدلفنة على شكل — I ، طبقا لما جاء فى الفقرة الاولى من البند التاسع والعشرين .

وعندما تكون قيم φ_b صغيرة ، يجب وضع شدادات افقية لتقوية ربط الشفة العليا للعتبة . وفى حالة انتقال الاحمال الاستاتيكية عن طريق ارضية صلبة جاسئة ، تستند او ترتكز بصورة متواصلة على الشفة المضغوطة للعتبة (كما فى البلاطات الخرسانية المسلحة وفى الالواح الفولاذية المموجة ، وغير ذلك) ، لا تكون هناك حاجة الى مراجعة الاستقرار العام للعتبة .

مثال ٦ — ٣ : يطلب تصميم وحساب تركيب شبيكة عتبية (باستثناء العتبات الرئيسية ، اى العوارض) ، مغطاة بالواح او صفائح معدنية ، وتبلغ ابعاد كل فتحة من فتحات الشبيكة ١٢×٦ م . هذا مع العلم بان احمال التشغيل المنتظمة التوزيع على المساحة باكملها ، تساوى q_n = ٢٠٠٠ كجم/م^2 ، وعامل التحميل n = ١,٢ . ويجب ان لا يقل ثخن الواح الارضية t عن ٨ مم ، كما ان مادة الالواح هى من الفولاذ BCr. 3кп ، ومقدار الانحناء النسبى المسموح به (وحدة الانحناء) ، بالنسبة لالواح الارضية هو $\frac{\delta}{L} = \frac{1}{r_0} = \frac{1}{150}$ ، وبالنسبة للعتبات الثانوية هو $\frac{1}{r_0} = \frac{1}{250}$.

الحل : نتخذ مبدئيا نوعين من انواع الشبيكة العتبية ، النوع الاول معقد (شكل ٦ — ٧ ، أ) ، والنوع الثانى تكون فيه العتبات الثانوية مرتبة على هيئة طبقات (شكل ٦ — ٧ ، ب) .



شكل (٦ — ٧) رسم توضيحى للمثال ٦ — ٣

النوع الاول : ١) حساب الواح الارضية وعتباتها . بما ان الثخن الاصغر للالواح الارضية معلوم ($t = 8$ سم) فانه يستخدم لتحديد الباع الاقصى L_f ، الذى يساوى المسافة b بين العتبات (تباعد العتبات) . ومن الصيغة المعطاة فى الجدول (٦ — ٢) ، تستطيع ايجاد الباع الاقصى :

$$L_f = b = \frac{t \times 216}{\sqrt[3]{q}} = \frac{0.8 \times 216}{\sqrt[3]{20}} = 63.5 \text{ cm}$$

ان q فى المعادلة السابقة ، هى الحمل الخطى (كجم/سم) ، المؤثر على شريط عرضه ١٠٠ سم ، من الالواح (الصفائح) ، ويساوى ما يلى :

$$q = \frac{q_s \times 100}{10{,}000} = \frac{2{,}000 \times 100}{10{,}000} = 20 \text{ kg/cm}$$

نأخذ طول الباع الاقصى مساويا $L_f = b = ٦٠$ سم .

ان باع عتبة الارضية يساوى $L_{fb} = ٤$ م . وبمقدار الحمل المصمم ، الذى يؤثر على العتبة ، يساوى ما يلى :

$$q_1 = q_s n_q L_f = 2{,}000 \times 1.2 \times 0.6 = 1{,}440 \text{ kg/m}$$

وعزم الانحناء الاقصى ، يساوى :

$$M = \frac{q_1 L_{fb}^2}{8} = \frac{1{,}440 \times 4^2}{8} = 2{,}880 \text{ kg/m}$$

ومعامل المقطع المطلوب ، يساوى :

$$W_{req} = \frac{M}{1.12\,R} = \frac{288{,}000}{1.12 \times 2100} = 123 \text{ cm}^3$$

نستخدم مقطع شكل — I رقم ١٨ ، له معامل مقطع مقداره $W = ١٤٣$ سم^3 ، ووزنه يساوى $g_1 = ١٨{,}٤$ كجم/م .

ان الاجهاد التصميمى فى العتبة ، يساوى :

$$\sigma = \frac{M}{1.12\,W} = \frac{288{,}000}{1.12 \times 143} = 1{,}800 \text{ kg/cm}^2 < 2{,}100 \text{ kg/cm}^2$$

وبعد هذا ، نعود الى مراجعة جسوة (كزازة) العتبة التى يضمنها الارتفاع الاصغر للمقطع ، المستخرج من الصيغة (4—6) :

$$h_{\min} = \frac{L_f \sigma_0}{4{,}800} \times \frac{1}{n_q} = \frac{400 \times 250}{4{,}800 \times 1.2} = 17.4\text{cm} < 18 \text{ cm}$$

وهكذا نرى بان المقطع الذى اخترناه ، يحقق شروط المقاومة والجسوة .

٢) حساب وتصميم العتبات الثانوية : ان تقارب وضع عتبات الارضية من بعضها البعض ، يسمح لنا ان نعتبر بان الاحمال المؤثرة على كل عتبة ثانوية منها ، هى احمال موزعة بانتظام . ان باع العتبة الثانوية ، يساوى $L_b = ٦$ م . والحمل الخطى ، المؤثر على العتبة ، يساوى ما يلى :

$$q = q_s n_q L_{fb} = 2{,}000 \times 1.2 \times 4 = 9{,}600 \text{ kg/m}$$

وعزم الانحناء الاقصى ، يساوى :

$$M = \frac{9{,}600 \times 6^2}{8} = 43{,}200 \text{ kg/cm}$$

ومعامل المقطع المطلوب ، يساوى :

$$W_{req} = \frac{M}{1.12\,R} = \frac{43{,}200}{1.12 \times 2100} = 1{,}835 \text{ cm}^3$$

ونستخدم مقطع شكل — I رقم ٥٥ ، الذى له معامل مقطع يساوى $g_2 = ٢٠٠٠$ سم^3 ، ووزنه يساوى $W = ٨٩{,}٨$ كجم/م . ان الارتفاع الاصغر للعتبة المحدد من شرط تحقيق الجسوة (الكزازة) ، يساوى ما يلى :

$$h_{\min} = \frac{L_b \sigma_0}{4{,}800} \times \frac{1}{n_q} = \frac{600 \times 250}{4{,}800 \times 1.2} = 26 \text{ cm} < 55 \text{ cm}$$

والاجهاد التصميمى فى العتبة ، يساوى :

$$\sigma = \frac{M}{1.12W} = \frac{4{,}320{,}000}{1.12 \times 2{,}000} = 1{,}930 \text{ kg/cm}^2 < 2{,}100 \text{ kg/cm}^2$$

اى يساوى ١٩٣٠ كجم/سم^2 ، وهو اقل من ٢١٠٠ كجم/سم^2 .

وليس هناك حاجة لمراجعة الاستقرار العام للعتبات ، وذلك بسبب تثبيتها الكافى ، فى المستوى الافقى .

٣) ان كمية الفولاذ المستخدمة فى القطع تحدد بوزن هذه القطع للمتر المربع ، اى فى الالواح الارضية — $78.5 \times 0.8 = 62.8 \text{ kg/m}^2$ ، وفى عتبات الارضية — $\frac{g_1}{L_f} = \frac{18.4}{0.6} = 30.7 \text{ kg/m}^2$ ، وفى العتبات الثانوية —

$$\frac{g_2}{L_{fb}} = \frac{89.8}{4} = 22.5 \text{ kg/m}^2$$

الكمية المستهلكة من الفولاذ ، فى النوع الاول من الشبيكة العتبية :

$$g = 62.8 + 30.7 + 22.5 = 116 \text{ kg/m}^2$$

النوع الثانى : يمكن طبقا لشروط الجسوة (او الكزازة) الكافية $\left(\frac{1}{r_0} \leqslant \frac{1}{250}\right)$ ، وبنفس طول الباع السابق $L_f = b = ٦٠$ سم ، استخدام المقاطع شكل — I رقم ٢٧ ، التى يبلغ وزن المقطع الواحد منها ٣١,٥ كجم/م ، فى عتبات الارضية .

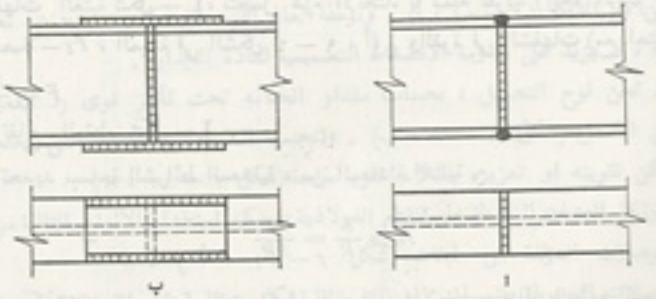
مقدار الفولاذ المستهلك فى النوع الثانى من الشبيكة العتبية ، يساوى :

$$g = 62.8 + \frac{31.5}{0.6} = 115.3 \text{ kg/m}^2$$

وهكذا نرى بان الشبيكة العتبية ، يجب ان تصمم طبقا للنوع الثانى ، وذلك لانها اسهل من ناحية الانتاج ، وتحتاج الى مجهود اقل ، اما من حيث الفولاذ المستهلك ، فان كلا النوعين متعادلين تقريبا .

٢ — وصلات العتبات المدلفنة

يمكن انتاج وصلات العتبات المدلفنة ، باستخدام اللحام والبرشمة . وابسط انواع الوصلات الملحومة ، هى الوصلة القائمة (شكل ٦ — ٨ ، أ) . ولكن مثل هذه الوصلة ، لا يمكن ان توضع على



(شكل ٦ — ٨) وصلات التناكب الملحومة للعتبات المدلفنة

طول العتبة ، الا فى المواضع ، التى لا تزيد فيها قيمة الاجهادات فى العتبة ، على القيم المسموح بها بالنسبة للحام ، اى فى المواضع التى تزيد فيها قيمة العزم ، على المقدار التالى :

$$M = M_{max}\frac{R_{w.t}}{R} = 0.85\ M_{max}$$

واذا دعت الحاجة الى استخدام وصلة ملحومة ، فى منتصف العتبة او العارضة ، اى فى موضع العزم الاقصى M_{max}، عندئذ تقوى الوصلة المذكورة بشرائط او اطواق معدنية افقية (شكل ٦ — ٨ ، ب) . وتحدد ابعاد الشرائط المعدنية ، من الشرط القاضى بعدم زيادة الاجهادات الموجودة فى اللحامات التناكبية ، على المقاومة التصميمية $R_{w.t}$.

وبعد ان نأخذ فى الاعتبار بان اللحامات التناكبية تتحمل جزءا من العزم ، والجزء الاخر تتحمله الشرائط او الاطواق المعدنية، تحصل على ما يلى $WR_{w.t}+F_s h=M_{max}$. ومن هنا تحصل على القوة فى الشريط المعدنى ، وهى : $F_s=\frac{M_{max}}{h}-\frac{WR_{w.t}}{h}$ ، وعلى المساحة الضرورية الصغرى لمقطع الشرائط ، وتساوى :

$$A_s \geq \frac{F_s}{R_{w.t}} = \frac{M_{max}}{hR_{w.t}} - \frac{W}{h} \qquad (6-15)$$

حيث h — ارتفاع مقطع العتبة ،

W — معامل المقطع للعتبة شكل I المدلفنة باجمعها .

ان القوة المصممة للحامات ، عندما توجد هناك شرائط او اطواق ملحومة ، تساوى ما يلى :

$$F = A_t R_{w.t} \qquad (6-16)$$

ويجب ان نعير الاهتمام الى ضرورة تتابع لحام الوصلة ، الذى له اهمية جوهرية بالنسبة لمقاومة الوصلة . وهكذا فعلى سبيل المثال ، عند لحام المقطع شكل — I ، يجب لحام الوترة اولا ، ومن ثم لحام الشفهات . وخلافا لذلك ، تظهر فى الوترة اجهادات شد داخلية كبيرة ، غالبا ما تؤدى الى ظهور الشدوخ او الصدوع .

ويمكن ايضا استخدام وصلة ابسط من حيث الانتاج ، وذلك باستخدام شرائط معدنية ، بدون لحام المقطع شكل — I ، لحاما تناكبيا . وفى هذه الحالة ، يجب ان تنقل الشرائط المعدنية ، كلا من العزم M وقوة القص Q ، المؤثرين فى الوصلة .

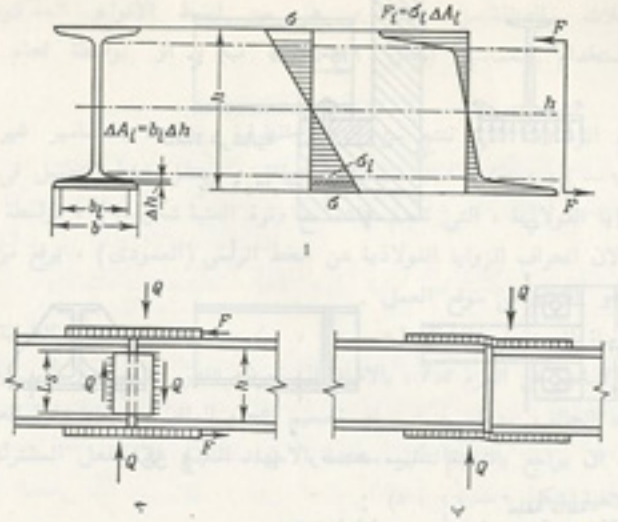
ان شفهات العتبة شكل — I، تتحمل عزم الانحناء باكمله تقريبا (راجع الرسم البيانى للقوى الداخلية المحصلة — F_t ، المبينة فى الشكل ٦ — ٩ ، أ) . والقوة فى الشفهات (مع احتياطى معين) ، تساوى : $F=\frac{M}{h}$

حيث h — ارتفاع المقطع شكل — I .

ويتم تحديد مساحة الشرائط المعدنية ، من المعادلة التالية :

$$A_s \geq \frac{F}{R} = \frac{M}{hR}$$

ومن الضرورى كذلك ، نقل قوة القص Q فى الوصلة ، والا ظهر هناك التشوه المبين فى الشكل (٦ — ٩ ، ب) . ولتحمل او تقبل قوة القص هذه ، تلحم مع الوترة شرائط معدنية من كلا



شكل (٦ — ٩) وصلة تناكب ملحومة للعتبات المدلفنة ، باستخدام الشرائط المعدنية

الطرفين (شكل ٦ — ٩ ، حـ) . وفى هذه الحالة ، تصمم او تحسب اللحامات تبعا للقص الذى تحدثه قوة القص :

$$\tau = \frac{Q}{2 \times 0.7 h_w l_w}$$

ونظرا لوجود الخلوص ، الذى يؤدى الى تركز الاجهادات ، يمكن استخدام هذا النوع من الوصلات ، عندما تكون القطع المربوطة معرضة لتأثير الاحمال الاستاتيكية فقط .

٣ — وصلات الارتكاز فى العتبات

عند ارتكاز او استناد العتبات مباشرة على الجدران الحجرية او القطع الخرسانية ، يجب ان يكون لها سطح تحميل كاف لنقل تأثير الاحمال الى المسند . وعادة يلحم مع العتبة لوح تحميل، كما هو مبين فى الشكل (٦ — ١٠ ، أ) . وتؤخذ ابعاد اللوح المذكور ، بحيث تجعل الضغط الموجود تحته ، لا يزيد على مقاومة الانضغاط التصميمية لمادة الجدار .

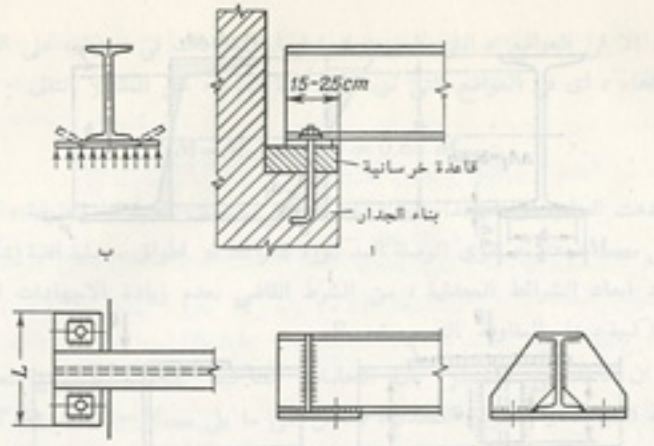
ويحدد ثخن لوح التحميل ، بحساب مقدار انحنائه تحت تأثير قوى رد الفعل ، الموثرة على اللوح من الاسفل (شكل ٦ — ١٠ ، ب) . ولتجنب التشوهات الكبيرة التى تحدث فى اللوح الطويل ، يمكن تقويته او تعزيزه باضلاع تقوية خاصة (شكل ٦ — ١٠ ، حـ) .

وعند ارتكاز العتبات البسيطة على القطع الفولاذية ، يمكن استخدام الانواع التالية من الوصلات :

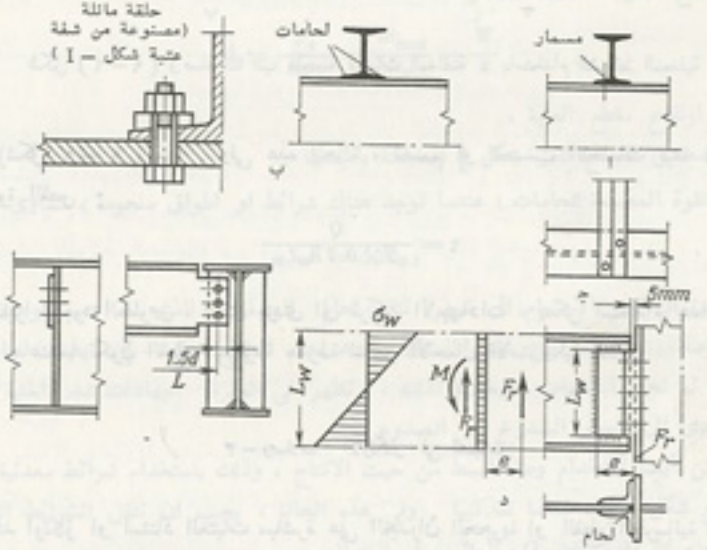
١) الوصلات المؤلفة من طبقات (شكل ٦ — ١١ ، أ) ،

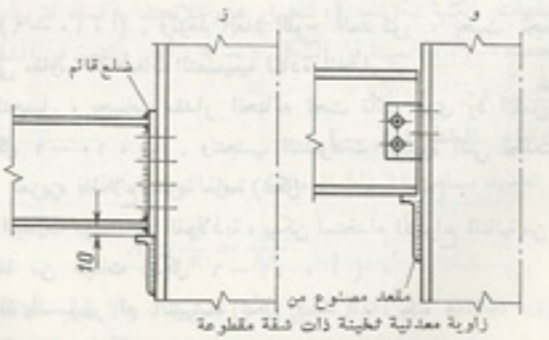
٢) الوصلات المربوطة بالمسامير او المبرشمة (شكل ٦ — ١١ ، حـ ، ه) ،

٣) الوصلات المزودة بمقاعد (شكل ٦ — ١١ ، و ، ز) .



شكل (٦ — ١٠) وصلات مساند العتبات





شكل (٦ — ١١) الوصلات المفصلية للعتبات المدلفنة

ان الوصلات المؤلفة من طبقات ، هي من ابسط الانواع المذكورة ، ويمكن انجازها اما باستخدام المسامير (شكل ٦ — ١١ ، ب) ، او بواسطة لحام التركيب في موقع العمل .

وتستخدم الوصلات التي تنتج من الزوايا الطرفية ، وتربط بالمسامير غير المنجزة او البرشام (شكل ٦ — ١١ ، ح) ، استخداما واسع النطاق . وينتقل ضغط التحميل في هذه الوصلة ، عن طريق الزوايا الفولاذية ، التي تلحم عادة مع وترة العتبة شكل — I ، بواسطة دلائل تشغيل خاصة ، وذلك لان انحراف الزوايا الفولاذية عن الخط الرأسي (العمودي) ، يرفع من تكاليف عملية تجميع الانشاء او اقامته في موقع العمل .

وفي الوصلة المبينة في الشكل (٦ — ١١ ، ح) ، نرى بان الزوايا الطرفية ملحومة بلحام معرض للانحناء الناجم عن العزم $F_r e$ ، بالاضافة الى تعرضه للقص الناجم عن تأثير رد فعل الارتكاز F_r . وفي هذه الحالة ، يهمل حساب او تصميم اللحام الواقع عند حافة وترة العتبة . ان سلوك اللحام ، يجب ان يراجع بالنسبة لتأثير محصلة الاجهاد الناتج عن الفعل المشترك للقوى ، طبقا للصيغة الاصطلاحية (شكل ٦ — ١١ ، د) :

$$\sigma_{res} = \sqrt{\sigma_w^2 + \tau_w^2} \leq R_{wf} \qquad (6-17)$$

وفي هذه الصيغة ، نجد بان :

$$\sigma_w = \frac{M}{W_w} = \frac{F_r e}{2 \times \frac{0.7\, h_w L_w^2}{6}} = \frac{3\, F_r e}{0.7\, h_w L_w^2}$$

$$\tau_w = \frac{F_r}{2 \times 0.7\, h_w L_w}$$

ويمكن كذلك وصل او ربط العتبات ، بواسطة الوصل المباشر لوترة العتبة مع اضلاع القطعة (شكل ٦ — ١١ ، ه) ، او مع اجزائها البارزة الاخرى . وفي هذه الحالة ، يجب قطع شفهات العتبة ، بحيث يجري هذا القطع حسب الامكان ، على امتداد الوترة وليس على امتداد الشفهات . اما في الوصلة المبينة في الشكل (٦ — ١١ ، ح ، ه) ، فنرى بان مسامير التثبيت ، تصمم عادة لمقاومة القص الناجم عن تأثير رد فعل ارتكاز العتبة ، الذي يزداد بمقدار ٢٠٪ (بعد ان يؤخذ في الاعتبار ، وجود بعض التثبيت الضئيل) .

ومن الوصلات الملائمة والمريحة بالنسبة لعملية التركيب والاقامة في موقع العمل ، هي الوصلة المبينة في الشكل (٦ — ١١ ، و ، ز) ، حيث ان جميع ضغط التحميل هنا ، ينتقل الى المسند عن طريق مقعد فولاذي ملحوم مع العتبة سلفا .

ولتحسين انتقال ضغط التحميل الى المقعد الفولاذي ، يستخدم عادة التصميم المبين في الشكل (٦ — ١١ ، ز) . وللحصول على اتصال او ارتباط اوثق ، يجب تقريز الحافة السفلى لضلع التحميل . وتستبعد امكانية لحام العتبة مع القطعة الانشائية مباشرة ، بواسطة لحامها على امتداد المحيط ، وذلك لانه في هذه الحالة ، يجب عند الاقامة والتركيب ، اجراء ثلاث عمليات في وقت واحد ، وهي : رفع القطع الانشائية وتسويتها ولحامها . ان القيام بهذه العمليات الثلاث في وقت واحد ، مستحيل تقريبا ، هذا بغض النظر عن ضرورة الالتزام بالدقة العالية للقطع ، عند انتاج مثل هذه العتبات .

١ – الابعاد العامة

ان العتبات المجمعة ، كما ذكرنا سابقا ، تكون اما ملحومة (على الاغلب) ، او مبرشمة . وتحدد الابعاد العامة او الاساسية لهذه العتبات – الباع والارتفاع – تبعا للنسب المثلى او الملائمة جدا ، بين ابعاد الانشاء باكمله .

وفي المباني والانشاءات الصناعية ، يحدد طول الباع تبعا لتكنولوجية الانتاج في المبنى او الانشاء المطلوب تصميمه .

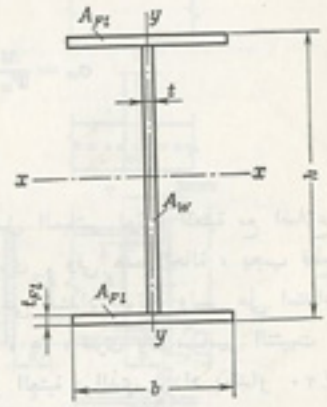
ان الارتفاع الاصغر لمقطع العتبة ، المحدد من شرط الجسؤة الكافية بموجب الجدول (٦ – ١)، او بموجب الصيغة (٦ – ٤) ، لا يعتبر بصورة عامة ارتفاعا مثاليا ، من ناحية كمية المادة المستهلكة . وان تحديد المقطع المثالي الافضل للعتبة ، يتلخص في ايجاد مساحة المقطع الصغرى ، المناظرة لعامل المقطع المعطى $W_{req} = \frac{M}{R}$ ، وفي التوزيع الافضل لمساحة المقطع هذه ، بين الوترة والشفهات ، ذلك التوزيع الذي يعتمد على ارتفاع المقطع h وعلى ثخن الوترة .

والان لنعبر عن نسبة قضافة الوترة (نسبة ارتفاع الوترة الى ثخنها) بما يلي :

$$\lambda_w = \frac{h}{t} \qquad (6-18)$$

ونعبر عن عامل توزيع المادة على مساحة مقطع العتبة ، بما يلي :

$$k_d = \frac{A_w}{A} = \frac{ht}{A} \qquad (6-19)$$



شكل (٦ – ١٢) المقطع العرضي للعتبة المجمعة شكل – I

واذا رمزنا الى مساحة مقطع العتبة شكل – I الملحومة ، بالحرف (شكل ٦ – ١٢) ، عندئذ سنرى بان مساحة مقطع كل شفة، سيساوي ما يلي : $A_{ft} = 0.5(A - ht)$ وبعد اهمال عزوم قصور الشفهات حول محاورها نظرا لصغر قيمها ، وكذلك بعد ان نفترض بان ارتفاع الوترة يساوي ارتفاع مقطع العتبة ، يمكن التعبير عن معامل مقطع العتبة ، بدقة كافية ، وذلك كما يلي :

$$W = 2\left[A_{ft}\left(\frac{h}{2}\right)^2\right]\frac{2}{h} + \frac{th^3}{12} \times \frac{2}{h} = A_{ft}h + \frac{th^2}{6} = \frac{Ah}{2} - \frac{th^2}{3} \qquad (6-20)$$

وبعد التعويض عن t بالمقدار $\frac{h}{\lambda_w}$ في المعادلة (6—20) ، نجد ما يلي :

$$A = \frac{2W}{h} + \frac{2h^2}{3\lambda_w} \qquad (6-21)$$

وبأخذ المشتقة الاولى بالنسبة للارتفاع ، وجعلها مساوية للصفر (مع نسبة القضافة الثابتة ، التي تم اختيارها بالنسبة للوترة λ_w) ، اي :

$$\frac{dA}{dh} = \frac{2W}{h^2} + \frac{4}{3}\frac{h}{\lambda_w} = 0$$

سنجد الارتفاع الافضل لمقطع العتبة المتماثل :

$$h_{opt} = \sqrt[3]{\frac{3}{2}\lambda_w W_{req}} \qquad (6-22)$$

وبعد اختيار نسبة قضافة الوترة λ_w ، وايجاد الارتفاع الافضل لمقطع العتبة تبعا لهذه النسبة ، تكون بذلك قد اثبتنا ايضا ، افضل توزيع للمادة على مساحة المقطع . وفي العتبة شكل – I المتماثلة تتوزع المادة، في حالة ايجاد الارتفاع الافضل، بالتساوي بين الوترة والشفهات ($k_d = 0.5$). وفي الواقع ، نرى بانه بناء على الصيغة (6—20) ، وبأخذ $A_{ft} = k_d A$ تحصل على ما يلي :

$$W = \frac{Ah}{2} - \frac{th^2}{3} = Ah\left(\frac{1}{2} - \frac{k_d}{3}\right)$$

او بما انه لدينا المعادلة التالية :

$$h = \lambda_w t$$

او

$$h^2 = \lambda_w th = \lambda_w k_d A$$

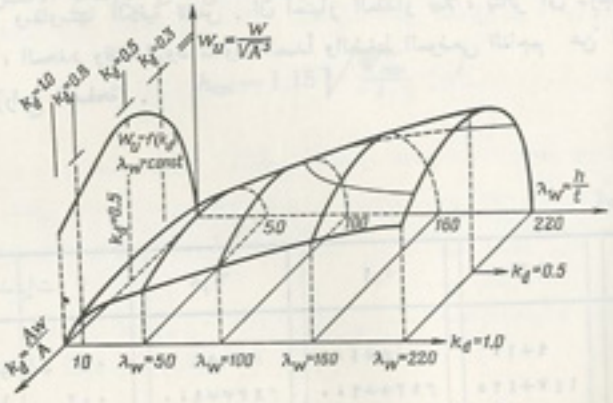
اذن نحصل على ما يلي :

$$W = A\sqrt{\lambda_w k_d A}\left(\frac{1}{2} - \frac{k_d}{3}\right) = \sqrt{A^3}\sqrt{\lambda_w k_d}\left(\frac{1}{2} - \frac{k_d}{3}\right) = W_w\sqrt{A^3} \qquad (6-23)$$

حيث

$$W_w = \frac{W}{\sqrt{A^3}} = \sqrt{\lambda_w k_d}\left(\frac{1}{2} - \frac{k_d}{3}\right) \qquad (6-24)$$

ان الكمية W_w ، التي تسمى بوحدة معامل المقطع (section modulus unit) ، تعتمد على كل من λ_w و k_d ، ولما كانت الكمية المذكورة كمية لابعدية (dimensionless) ، فانها تعتبر بمثابة خاصية مميزة لصلاحية المقطع المعرض للانحناء . ويبين الشكل (٦ – ١٣) ، زيادة وحدة معامل المقطع ، اعتمادا على نسبة قضافة الوترة λ_w وعلى العامل k_d .



شكل (٦ – ١٣) منحنيات وحدة معامل المقطع

ولكل قيمة من قيم λ_w ، قيمة نسبية قصوى من قيم العامل k_d . وباستخراج المشتقة الاولى بالنسبة للعامل k_d ، وجعلها مساوية للصفر (عند القيمة الثابتة للمقدار λ_w) ، نحصل على القيمة النسبية القصوى ، اى على افضل توزيع للمادة على مساحة مقطع العتبة :

$$\frac{dW_x}{dk_d} = \sqrt{\lambda_w}\left(\frac{1}{4\sqrt{k_d}} - \frac{\sqrt{k_d}}{2}\right) = 0$$

ومنها ينتج ان :

$$k_d = \frac{1}{2}$$

ان كل انحراف عن القيمة $k_d = 0.5$ (عندما تكون القيمة λ_w ثابتة) ، يؤدى الى زيادة مساحة المقطع ، اما زيادة المقدار λ_w (عندما تكون قيمة العامل $k_d = 0.5$ ثابتة) ، فتؤدى الى تقصان مساحة المقطع . واذا اخذنا فى الاعتبار بان للدالة المنتظمة انحرافات صغيرة عن قيمتها الصغرى ، يكون من المنطقى ان يؤخذ ارتفاع مقطع العتبة ، اقل بعض الشئ من الارتفاع الافضل او المثالى (اذا سمح بذلك طبقا لشرط الانحناء) . وعندما يصل مقدار الانحراف عن الارتفاع الافضل، الى ١٠ ٪ ، مع الحفاظ على القيمة المقررة للمقدار $\lambda_w = \frac{h}{t}$ ، تزداد مساحة المقطع بمقدار ١,٥ ٪ تقريبا ، اما عندما يصل الانحراف عن الارتفاع الافضل ، الى ٢٠ ٪ ، نرى بان مساحة المقطع تزداد بمقدار يتراوح بين ٥ — ٦ ٪ .

ولكى تكون القطع الانشائية موحدة قياسيا ، نجعل ارتفاع مقاطع العتبات المجمعة ، مقاسا بالاعداد الصحيحة ، من اضعاف العدد ١٠٠ مم .

وفى التصاميم الخاصة (او المنفردة) ، حيث يكون ارتفاع مقطع العتبة غير مقترن مباشرة ببعض الانحرافات الصغيرة فى ارتفاع الانشاء ، نرى انه من المنطقى فى هذه الحالة ، اخذ ارتفاع وترة العتبة بالاعداد الصحيحة من الملمترات او السنتمترات ، لان ذلك يسهل عملية انتاج القطعة الانشائية .

وهكذا كلما كان المقدار $\lambda_w = \frac{h}{t}$ ، اكبر ، كلما كانت العتبة اكثر ملائمة من الناحية الاقتصادية . ولكن من الناحية العملية ، نجد بان قيمة المقدار λ_w تكون محددة بضرورة تأمين استقرار الوترة ومقاومتها الكافية للقص . ان اختيار المقدار λ_w ، يتأثر الى درجة كبيرة بالثخن الاصغر للوترة ، المحدد وفقا لشروط مقاومة الصدأ والضغط الموضعى الناجم عن الاحمال المتنقلة او المتحركة (راجع الصفحة) .

جدول ٦-٣

القيم العملية

h بالملمترات	٠,٨	١	١,٢٥	١,٥
t بالملمترات	٦-٨	٨-١٠	٩-١٠	١٠-١٢
λ_w	١٣٣-١٠٠	١٢٥-١٠٠	١٤٠-١٢٥	١٥٠-١٢٥

وعادة يؤخذ الثخن الاصغر للوترة ، مساويا للمقدار $t = 8$ مم ، واحيانا $t = 6$ مم . ويمكن زيادة ثخن الوترة تدريجيا ، بمقدار ٢ مم فى كل مرة . اما عندما يوصى بانتاج كمية كبيرة من العتبات الفولاذية، يمكن تحديد ثخن الوترة بعدد فردى من الملمترات (بحيث لا يزيد على ١٥مم) .

ومن تجارب التصميم العملى، تم تحديد واقرار قيم نسبة القضافة $\lambda_w = \frac{h}{t}$ ، المدرجة فى الجدول (٦ — ٣) .

ويمكن كذلك تحديد ثخن الوترة ، من الصيغة التجريبية (imperical formula) ، التى تعكس جيدا زيادة المقدار λ_w ، مع زيادة ارتفاع مقطع العتبة ، وهى :

$$t = 7 + 3h \qquad (6-25)$$

حيث تقاس t بالملمترات و h بالامتار .

وعند وجود احمال مركزة كبيرة ، يجب مراجعة الثخن الاصغر للوترة طبقا لشروط المقاومة، وعلى اساس قوة القص القصوى Q (رد فعل الارتكاز) :

$$t_{min} \geq \frac{3}{2}\frac{Q}{hR_{sh}} \qquad (6-26)$$

حيث R_{sh} — مقاومة القص التصميمية للفولاذ .

وقد تم الحصول على هذه الصيغة ، من الشرط الذى يجعل وترة العتبة وحدها ، تتحمل اجهادات القص .

وتجدر الاشارة هنا ، الى ان الناحية الاقتصادية تتطلب من المصمم ان يعير اهمية بالغة لمسألة اختيار ثخن الوترة ، وذلك لانه بعد تعيين الثخن t سيكون هناك حل واحد لمسألة تحديد الارتفاع الافضل او المثالى لمقطع العتبة ، وبالتالى تحديد المساحة الصغرى لذلك المقطع (عندما يكون $k_d = 0.5$).

وفى الواقع، بعد تعويض القيمة $\lambda_w = \frac{h}{t}$ فى الصيغة (22—6)، يمكن ايجاد صيغة الارتفاع الافضل ، اعتمادا على ثخن الوترة ، وتكون الصيغة المذكورة على الشكل التالى :

$$h_{opt} = 1.23\sqrt{\frac{W_{req}}{t}} \qquad (6-27)$$

او اذا اعتبرنا بان ارتفاع مقطع العتبة ، يقل بعض الشئ عن الارتفاع الافضل ، نحصل على الصيغة التالية :

$$h_{opt} = 1.15\sqrt{\frac{W_{req}}{t}} \qquad (6-28)$$

لنسبة القضافة λ_w

١,٧٥	٢	٢,٥	٣	٤	٥
١٢-١٤	١٤	١٤-١٦	١٦-١٨	٢٠	٢٢-٢٤
١٤٦-١٢٥	١٤٣	١٧٨-١٥٦	١٨٧-١٦٦	٢٠٠	٢٢٧-٢٠٨

ومن الواضح بان ثخن الوترة يجب ان يؤخذ اصغر ما يمكن ، على ان يفي بشروط المقاومة والاستقرار (راجع البند التاسع والعشرون) . وبالنسبة للعتبات التي يكون فيها الارتفاع الافضل المستخرج ، اقل من الارتفاع المطلوب حسب شرط الانحناء او الانحراف المسموح به (حسب شرط تحقيق الجسؤة او الكوازة اللازمة) ، يصبح توزيع المادة الافضل ، مختلفا عما هو عليه عند $kl = ٠,٥$. وفي هذه الحالة ، يتلخص تعيين احسن مقطع ملائم اقتصاديا ، في ايجاد مساحة المقطع الصغرى A ، عند وجود عزم القصور I_{req} ، الذي يحدد المقطع الضروري لتحقيق الحفاظ على الانحناء او الانحراف النسبي المعطى $\frac{1}{r_0} = \frac{\delta}{L}$. وبالاستناد الى الصيغة (2—6) ، نجد تقريبا ان :

$$I_{req} = \frac{MLr_0}{10\,E} \qquad (6—29)$$

وبالتعبير عن عزم القصور ، بصيغة مماثلة للمعادلة (20—6) ، والتعبير عن مساحة مقطع العتبة A ، بواسطة المقدار I ، وبأخذ المشتقة الاولى ومساواتها بالصفر ، اى :

$$\frac{dA}{dh} = -\frac{8I}{h^3} + \frac{4}{3}\,\frac{h}{\lambda_w} = 0$$

نحصل على ما يلي :

$$h_{opt} = \sqrt[4]{61\,\lambda_w} = \sqrt[3]{3W\lambda_w} = 1.73\sqrt{\frac{W}{t}} \qquad (6—30)$$

ومثلما فعلنا اعلاه ، يمكن التعبير عن عزم القصور بواسطة وحدة عزم القصور (عزم القصور اللابعدي) ، وذلك كما يلي :

$$I = I_w/A^2 \qquad (6—31)$$

حيث

$$I_w = \lambda_w k_d \left(\frac{1}{4} - \frac{k_d}{6}\right)$$

وعندما تكون $\frac{dI}{dk_d} = 0$ ، نحصل على :

$$k_d = {}^3/_4 \quad \text{و} \quad A_w = {}^3/_4 A$$

وبالنسبة للعتبات المعطى ارتفاع مقطعها (غير الارتفاع الافضل) ، يمكن ايجاد او تحديد العامل الذي يبين توزيع المادة على مساحة المقطع ، وهو العامل k_d ، من الصيغة التالية :

$$k_d = \frac{h^3}{\lambda_w A} = \frac{3}{2\left(1 + \frac{3\,W_{req}\,\lambda_w}{h^3}\right)} \qquad (6—32)$$

مثال ٦ — ٤ : يطلب ايجاد الارتفاع الافضل لمقطع عتبة ، باعها يساوي $L = ١٢$ م ، محملة بحمل متنقل منتظم التوزيع قدرة $q_0 = ١٦$ طن/م ، مع العلم بان عامل التحميل هو $n = ١,٣$ ، ومادة العتبة هي الفولاذ ماركة BCT.3 . ان الانحناء او الانحراف النسبي المعطى هنا يساوي $\frac{1}{٦٠٠} = \frac{1}{r_0}$.

الحل : نحدد من الجدول (٦ — ١) الارتفاع الاصغر لمقطع العتبة ، الذي يؤمن الجسؤة او الكوازة الكافية ، فنجد بانه يساوي :

$$h_{min} \geq \frac{1}{10}\,L = \frac{1}{10} \times 12 = 1.2\ m$$

والان نأخذ الوزن الذاتي للعتبة ، مساويا لـ ٠,٣ طن/م (بموجب التصاميم المماثلة) . ان حمل التصميم الكلي ، المؤثر على العتبة ، سوف يساوي ما يلي :

$$q = 16 \times 1.3 + 0.3 \times 1.1 = 21.13\ t/m$$

ان العدد ١,١ يمثل في هذه الحالة عامل الحمل الساكن .

نستخرج عزم الانحناء التصميمي الاقصى في وسط باع العتبة ، ويساوي :

$$M = \frac{qL^2}{8} = \frac{21.13 \times 12^2}{8} = 380\ t/m$$

ومعامل المقطع اللازم ، يساوي ما يلي :

$$W_{req} = \frac{38,000,000}{2,100} = 18,100\ cm^3$$

والان نختار من الجدول (٦ — ٣) ، نسبة قطاعة λ_w تساوي ١٢٥ او ١٥٠ وعندما تكون $\lambda_w = ١٢٥$:

$$h_{opt} = \sqrt[3]{\frac{3}{2}\,h_w W_{req}} = \sqrt[3]{\frac{3 \times 125 \times 18,100}{2}} = 151\ cm$$

والثخن النظري لوترة المقطع t يساوي

$$t = \frac{h_{opt}}{\lambda_w} = \frac{151}{125} \approx 1.2\ cm$$

ثم نجد الارتفاع الافضل ، عندما تكون $\lambda_w = ١٥٠$:

$$h_{opt} = \sqrt[3]{\frac{3 \times 150 \times 18,100}{2}} = 160\ cm$$

وثخن وترة المقطع يساوي

$$t = \frac{h_{opt}}{\lambda_w} = \frac{160}{150} = 1.065\ cm$$

واذا اخترنا ثخن الوترة t وجعلناه يساوي ١٠ سم (١ سم) مثلا ، عندئذ نحصل من الصيغة (6—28) على ما يلي :

$$h_{opt} = 1.15\sqrt{\frac{W_{req}}{t}} = 1.15\sqrt{\frac{18,100}{1}} = 155\ cm$$

اما اذا جعلنا ثخن الوترة t يساوي ١٢ سم (١,٢ سم) مثلا ، فسوف نحصل على ما يلي :

$$h_{opt} = 1.15\sqrt{\frac{18,100}{1.2}} = 142\ cm$$

والان نحدد بواسطة الصيغة (6—26) ، الثخن الاصغر للوترة ، اللازم لمقاومة اجهادات القص القصوى ، التي يحتمل ظهورها على مسند العتبة ، عندما يبلغ ارتفاع مقطعها $h = ١٥٠$ سم ($Q = ١٢٧$ طن ، راجع المثال ٦—٥) :

$$t_{min} = \frac{3}{2}\,\frac{Q}{hR_{sh}} = \frac{3 \times 127,000}{2 \times 150 \times 1,300} = 0.975\ cm$$

واخيرا نحدد ارتفاع مقطع العتبة، بالمقدار التالي $h = ١٥٠٠$ مم، وثخن الوترة بالمقدار $t_w = ١٠$ مم.

العتبات الملحومة – بعد ان نحصل على معامل المقطع المطلوب W_{req} ، وتحدد الارتفاع الافضل للمقطع وثخن الوترة ، نأتي الى اختيار او انتقاء المقطع الافضل للعتبة شكل – I الملحومة. وعندما تكون العتبة متماثلة بالنسبة لمحور التعادل (مع تطابق الشفتين العليا والسفلى) ، تتلخص مسألة اختيار المقطع في تحديد ابعاد الشفهات ، التي تجعل معامل المقطع العام للعتبة ، مساويا لمعامل المقطع المطلوب W_{req} . ويمكن بصورة تقريبية ، التعبير عن معامل المقطع العام للعتبة ، بواسطة معاملات مقطع الوترة والشفهات (راجع الصيغة 20—6) .

ومن هنا يتضح بان المساحة الصغرى التقريبية ، اللازمة لمقطع كل شفة واحدة (عند $h_1 = h$)، سوف تساوي ما يلي :

$$A_{fl} = \frac{W_{req}}{h} - \frac{t_{wh}}{6} = \frac{3}{4}\,\frac{W_{req}}{h} \qquad (6-33)$$

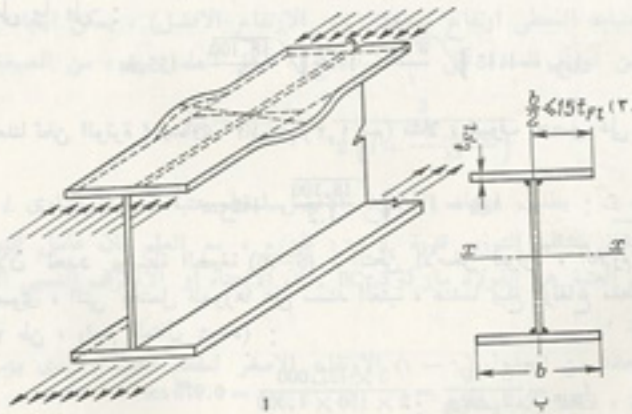
او بالنسبة للعتبات التي فيها قليل من عدم التماثل في المقطع ، نرى بان مساحة مقطع الشفتين معا ، تساوي ما يلي :

$$2A_{fl} = \frac{3}{2}\,\frac{W_{req}}{h} \qquad (6-34)$$

واذا رمزنا الى عرض الشفة بالرمز b ، والى ثخنها بالرمز t_{fl} ، نحصل على ما يلي :

$$A_{fl} = bt_{fl}$$

ان النسبة بين عرض الشفة وثخنها ، التي تعطي المساحة اللازمة للمقطع ، يجب ان تخضع لبعض متطلبات التصميم والانتاج . وكلما زاد عرض الشفة ، بثبات المساحة المعينة لها ، كلما كانت العتبة اكثر استقرارا ، واكثر ملائمة من حيث النقل والتجميع . ولكن عندما يكون العرض واسعا جدا ، وبالتالي يكون الثخن قليلا ، يمكن ان تفقد شفة الانضغاط استقرارها ، نتيجة لتأثير الاجهادات المتعامدة (شكل ٦ – ١٤ ، أ) . وسوف يكون الاستقرار الموضعي للجزء البارز من الشفة ، مضمونا ،



شكل (٦ – ١٤) العلاقة بين عرض الوتر العلوي للعتبة وثخنها

اذا لم يزد طول ذلك الجزء على المقدار $15t_{fl}$ ، بالنسبة للمقاطع المصنوعة من الفولاذ – ٣ (شكل ٦ – ١٤ ، ب)، وعلى المقدار $15t_{fl}\sqrt{\frac{2100}{R}}$ بالنسبة للفولاذ السيانكي المنخفض الاشابة . وهكذا فان العرض الكلي للشفة ، يجب ان يحقق النسب التالية :

للفولاذ – ٣ :

$$b_{fl} \leqslant 30\,t_{fl}$$

للفولاذ السيانكي المنخفض الاشابة :

$$b \leqslant 30t_{fl}\sqrt{\frac{2100}{R}}$$

حيث R – المقاومة التصميمية للفولاذ (كجم/سم٢) .

ان العرض الاصغر للشفة ، يجب ان يضمن الاستقرار العام للعتبة ، الذي يمنع تحدبها في المستوى الافقي ، حيث لا تحتاج الى ادخال عامل التحدب Φ_b في صيغة الحساب (راجع الصفحة ١٦٩). ويحدد هذا العرض الاصغر ، بالنسبة بين طول العتبة المصمم L ، وعرض الشفة b ، وهي النسبة التي لا يجب ان تزيد قيمتها على القيم المدرجة في الجدول (٦ – ٤) .

جدول ٦–٤

القيم القصوى للنسبة $\frac{L}{b}$ ، التي لا تحتاج عندها ، الى مراجعة الاستقرار العام للعتبات الفولاذية

نوع العتبة	$\frac{h}{b}$	$h/t_{fl} = 100$			$h/t_{fl} = 50$		
		عندما تكون الاحمال مسلطة على :		عند وجود مثبتات متوسطة للشفة العليا ، بغض النظر عن موضع تسليط الاحمال	عندما تكون الاحمال مسلطة على :		عند وجود مثبتات متوسطة للشفة العليا، بغض النظر عن موضع تسليط الاحمال
		الشفة العليا	الشفة السفل		الشفة العليا	الشفة السفل	
ملحومة	٢	١٨	٢٨	٢٢	١٩	٣٠	٢٣
	٤	١٦	٢٦	١٩	١٨	٢٧	٢١
	٦	١٥	٢٤	١٨	١٦	٢٥	١٩
مبرشمة	٢	٢١	٣٠	٢٤	٣٠	٤٢	٣٣
	٤	١٨	٢٨	٢١	٢٥	٣٥	٢٧
	٦	١٦	٢٥	١٩	٢١	٣٢	٢٤

ويؤخذ الطول المصمم للعتبة L ، مساويا للمسافة الموجودة بين نقطتي تثبيت الشفة المضغوطة (شفة الانضغاط) ، لمنعها من الازاحات الجانبية (lateral displacements).

ان قيم النسبة $\frac{L}{b}$ ، المدرجة في الجدول اعلاه ، تصح بالنسبة للعتبات المصنوعة من الفولاذ – ٣ والفولاذ – ٤ ، اما بالنسبة للعتبات المصنوعة من ماركات الفولاذ الاخرى ، فتضرب النسبة $\frac{L}{b}$ في المقدار $\sqrt{\frac{2100}{R}}$.

وفي الحالات التي تزيد فيها قيم النسبة $\frac{L}{b}$ ، على القيم المدرجة في الجدول (٦ — ٤) ، يجب عندئذ مراجعة الاستقرار العام للعتبات (راجع البند التاسع والعشرين ، الفقرة ١) .

وبناء على ما تمليه الاعتبارات التصميمية ، لا يجوز اخذ عرض الشفة ، الذي يقل عن ١٨٠ مم . ويعين ثخن الشفة في حدود تتراوح بين ٨ — ٤٠ مم، ولكنه لا يجب ان يقل عن ثخن الوترة ، ولا يزيد على (٢,٥ — ٣) اضعاف ذلك الثخن ، وذلك لانه عند لحام الالواح الثخينة ، تنشأ اجهادات شد متخلفة كبيرة ، ناجمة عن الانكماش او التقلص . ويتضح بتحديد عرض وثخن الشفة ، وفقا للمواصفات القياسية السوفييتية ، الخاصة بالمقاطع الفولاذية العامة الاستخدام ، وذلك بأخذ الابعاد التالية : للثخن الذي يزداد تدريجيا بمقدار ٢ مم في كل مرة ، ويصل الى ٢٢ مم ، ويليه الثخن الذي يبلغ ٢٥ ، ٢٨ ، ٣٠ ، ٣٣ ، ٣٦ ، ٤٠ مم ، وللعرض الذي يزداد تدريجيا بمقدار ٢٠ مم في كل مرة ، ويصل الى ٤٢٠ مم ، ويليه العرض الذي يبلغ ٤٥٠ ، ٤٨٠ ، ٥٠٠ ، ٥٣٠ ، ٥٦٠ ، ٦٠٠ مم والى آخره .

وبعد اختيار المقطع ، يحسب معامل المقطع الفعلي الخاص به W ، وتجرى مراجعة مقاومة العتبة والوترة ، بواسطة الصيغتين التاليتين :

$$\sigma = \frac{M}{W} \leqslant R, \qquad \text{و}$$

$$\tau = \frac{QS}{I_b t_w} \leqslant R_{sh} \qquad (6-36)$$

حيث M — العزم التصميمي الاقصى ،

Q — قوة القص القصوى ،

$W = \frac{I}{\frac{h}{2}}$ — معامل مقطع العتبة (شكل ٦ — ١٥) ،

h — ارتفاع مقطع العتبة ،

I_b — عزم القصور للعتبة بأكملها ، حول محور التعادل $x-x$،

$$I_b = I_w + I_{fl} = \frac{t_w h_w^3}{12} + 2(I_0 + c^2 A_{fl}) \qquad (6-37)$$

حيث I_w — عزم قصور الوترة حول محور التعادل ،

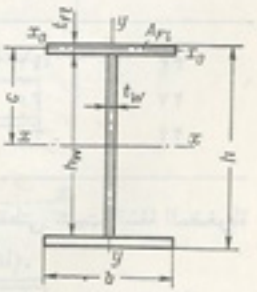
I_{fl} — عزم قصور الشفهات حول محور التعادل ،

I_0 — عزم قصور الشفة الواحدة حول محورها الخاص $x_0 - x_0$ وعادة يهمل المقدار I_0 ،

h_w — ارتفاع الوترة ،

c — المسافة من مركز ثقل الشفة الى محور التعادل ،

$S = A_{fl} c + \frac{A_w}{2} \cdot \frac{h_w}{4}$ — العزم الاستاتيكي لنصف المقطع، حول محور التعادل .



شكل (٦ — ١٥) رسم توضيحي لاختيار مقطع العتبة الملحومة

ان العتبات البسيطة الملحومة ، ذات المقطع الثابت ، المثبتة جيدا لمنع فقدان الاستقرار العام ، التي تحمل حملا استاتيكيا، تحسب او تصمم تبعا لتطور الانفعالات المذنة فيها، وفقا للتعليمات المذكورة في الفقرة الاولى من البند الحادي عشر .

مثال ٦ — ٥ : جد المقطع في عتبة ملحومة حسب المعطيات الواردة في مثال ٦ — ٤، اذا كان الباع $L = 12$ م والتحميل $q = 21{,}13$ طن/م ، والعزم التصميمي يساوي $M = 380$ طن/م .

وان قوة القص التصميمية القصوى تساوي :

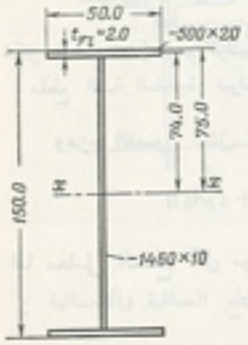
$$Q = \frac{qL}{2} = \frac{21.13 \times 12}{2} = 127t$$

وان معامل المقطع اللازم يساوي $W_{req} = 18100$ سم ٣ . وفي المثال ٦ — ٤ ، كانت ابعاد العتبة كما يلي : $h = 1500$ مم ، $t_w = 10$ مم .

الحل : نحدد المساحة اللازمة لمقطع الشفة من الصيغة (6 — 33) ، وذلك باعتبار ان $h_w = h = 146$ سم ، وان ثخن كل شفة يساوي ٢ سم :

$$A_{fl} = \frac{3 W_{req}}{4 h_w} = \frac{3 \times 18100}{4 \times 146} \approx 93\ cm^2$$

اى ان مساحة المقطع تساوي ٩٣ سم٢ تقريبا . ونختار الان مقطع شفة ابعاده ٢٠×٥٠٠ مم ، و مساحته تساوي $A_{fl} = 100$ سم٢ (شكل ٦ — ١٦) ، مع ادخال احتياطي امان معين ، يسمح باجراء التبسيطات الحسابية عند استنتاج المعادلة . ونأتي بعد ذلك الى مراجعة مقاومة المقطع . ولكي نقوم بذلك يجب ان نحدد مسبقا عزم قصور العتبة ، من الصيغة (6 — 37) :



شكل (٦ — ١٦) رسم توضيحي لمثال ٥ — ٥

$$I_b = \frac{t_w h_w^3}{12} + 2 c^2 A_{fl} = \frac{1 \times 146^3}{12} + 2 \times 74^2 \times 100 = 1355000\ cm^4$$

ومعامل المقطع يساوي ما يلي :

$$W = \frac{I_b}{\frac{h}{2}} = \frac{1355000}{75} = 18000\ cm^3$$

اما الاجهاد فيساوي :

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{38{,}000{,}000}{18100} = 2100\ kg/cm^2$$

اى ٢١٠٠ كجم/سم٢ .

والان نراجع مقاومة الوترة للقص عند المسند ، وللقيام بذلك يجب ان نحدد سلفا ، العزم الاستاتيكي لنصف المقطع كما يلي :

$$S = A_{fl} c + \frac{A_w}{2} \cdot \frac{h_w}{4} = 100 \times 74 + \frac{146 \times 1 \times 146}{2 \times 4} = 10{,}060\ cm^3$$

واجهاد القص يساوي ما يلي :

$$\tau = \frac{QS}{I_b t_w} = \frac{127{,}000 \times 10{,}060}{1{,}355{,}000 \times 1} = 945\ kg/cm^2 < 1300\ kg/cm^2$$

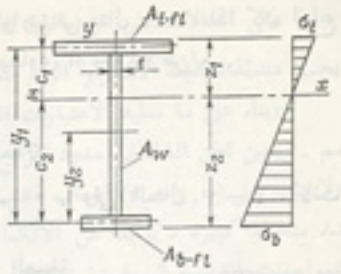
والمساحة الكلية لمقطع العتبة تساوي :

$$A = 200 + 146 = 346\ cm^2$$

اما لو كنا قد اخذنا لوحا رأسيا ثخنه ١٢ مم (راجع المثال ٦ — ٤) ، لكانت مساحة مقطع العتبة في الحالة ، ستساوي :

$$A = 192 + 175 = 367\ cm^2$$

اى بزيادة قدرها ٦ ٪ .



شكل (٦ — ١٧) رسم توضيحي لاختيار مقطع العتبة الملحومة غير المتماثلة

وعندما يكون مقطع العتبة غير متماثل ، يتم سلفا تحديد مركز ثقل المقطع المقصود ، الذى يمر من خلاله محور التعادل . ان المسافة من مركز ثقل المقطع الى منتصف لوح الشفة السفلى c_2 (شكل ٦ — ١٧) ، تحدد بواسطة الصيغة التالية :

$$c_2 = \frac{\sum A_y}{\sum A} = \frac{A_{t\cdot fl} y_1 + A_w y_2}{A_{t\cdot fl} + A_w + A_{b\cdot fl}} \qquad (6-38)$$

ان جميع رموز هذه الصيغة ، مبينة بوضوح فى الشكل (٦ — ١٧) .

وعزم القصور لمثل هذه العتبة ، يساوى :

$$I_b = I_w + I_{t\cdot fl} + I_{b\cdot fl} = \frac{t}{3}(z_1^3 + z_2^3) + c_1^2 A_{t\cdot fl} + c_2^2 A_{b\cdot fl}$$

اما معاملى المقطع لكل من الالياف العليا والسفلى فى المقطع فهما يساويان ما يلى :

$$W_{top} = \frac{I_b}{z_1}$$

و

$$W_{bot} = \frac{I_b}{z_2}$$

وتتم مراجعة الاجهادات فى الالياف الطرفية لمقطع العتبة ، بواسطة الصيغتين التاليتين :

$$\sigma_{bot} = \frac{M}{W_{bot}} \leqslant R$$

و

$$\sigma_{top} = \frac{M}{W_{top}} \leqslant R$$

وبالاضافة الى مراجعة مقاومة العتبة والوترة ، تجرى مراجعة استقرار الوترة ، والاستقرار العام للعتبة (راجع البند التاسع والعشرين) .

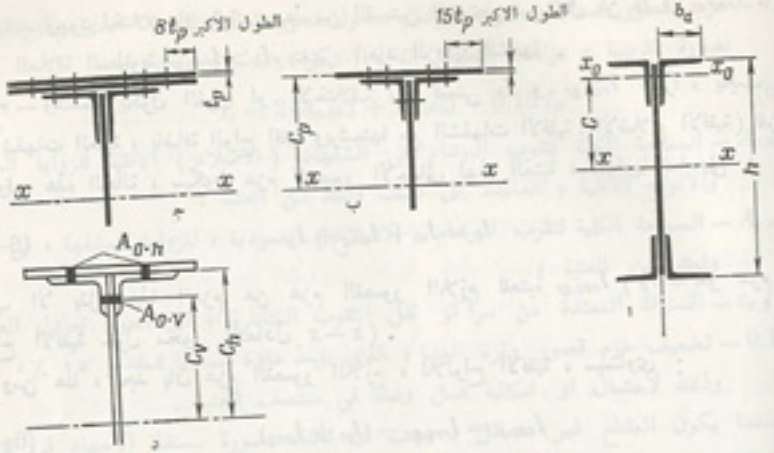
وعند تسليط حمل مركز عبر شفة العتبة ، فى موضع غير مدعم بضلع تقوية ، يجب عندئذ مراجعة مقاومة وترة العتبة ، لتأثير الضغط الموضعى ، بواسطة الصيغة (13—6) . وفى هذه الحالة يؤخذ الارتفاع h_1 مساويا للمسافة الممتدة من السطح الخارجى لشفة العتبة ، الى الحافة العليا للوترة (شكل ٦ — ٦ ، ب) .

العتبات المبرشمة : ان ابسط مقاطع العتبة المبرشمة ، يتألف من لوح رأسى واربع زوايا مشفهة flange angles (شكل ٦ — ١٨ ، أ) . ويمكن فى العتبات الثقيلة الكبيرة ، تطوير المقطع باضافة وتثبيت الواح افقية اليه (شكل ٦ — ١٨ ب ، ج) .

ويتم تحديد الابعاد العامة للعتبات المبرشمة ، بنفس الطريقة التى يتم بها تحديد ابعاد العتبات الملحومة . ويتميز حساب او تصميم العتبات المبرشمة ، بانه يجب ان يؤخذ فى الاعتبار تضعيف المقطع بواسطة ثقوب البرشام ، الذى يمكن اعتباره سلفا ، مساويا للمقدار ١٥ ٪ اى :

$$W_n = 0.85\, W_{gr} \qquad (6-39)$$

ان اختيار مقطع العتبة المبرشمة المتماثلة يتم بالطريقة التالية :



شكل (٦ — ١٨) مقاطع العتبات المبرشمة

١ — تحدد بالاعتماد على عزم الانحناء المعطى ، معاملات المقطع الصافية والاجمالية :

$$W_n = \frac{M}{R}, \quad W_{gr} = \frac{W_n}{0.85} \qquad (6-40)$$

ونستخدم قيمة W_{gr} ونسبة قضافة الوترة المختارة λ_w ، لتعيين او تحديد الابعاد العامة للمقطع — الارتفاع الافضل وثخن الوترة . وبعد تحديد ارتفاع مقطع العتبة نهائيا ، وهو الارتفاع h (فى العتبات المبرشمة ، سنأخذ الارتفاع h ، مساويا للمسافة الفاصلة بين السطوح الخلفية للزوايا المشفهة) ، نأتى الى ايجاد عزم القصور اللازم للمقطع كما يلى :

$$I_{req.gr} = W_{gr} \frac{h}{2} \qquad (6-41)$$

٢ — نختار ابعاد الزوايا المشفهة القياسية ، التى ستستخدم فى المقطع ، وتؤخذ عادة زوايا متساوية الساقين او الشفتين القائمتين بحيث يكون عرض الساق او الشفة مساويا لما يلى :

$$b_{ang} = \left(\frac{1}{10} t_0 \frac{1}{11}\right) h$$

ويكون ثخن الساق او الشفة مساويا لما يلى :

$$t_{ang} = \left(\frac{1}{10} t_0 \frac{1}{11}\right) b_{ang}$$

ان عزم قصور العتبة ، المؤلفة من لوح رأسى واربع زوايا يساوى ما يلى :

$$I_b = I_w + I_{ang} = \frac{t_w h^3}{12} + 4\,(I_0 + c^2 A_{ang}) \qquad (6-42)$$

حيث (راجع الشكل ٦ — ١٨ ، ١) :

I_{ang} — عزم قصور الزوايا المشفهة الاربع ، حول محور التعادل

I_0 — عزم قصور الزاوية الواحدة حول محورها الخاص $x-x$

c — المسافة من مركز ثقل الزوايا المشفهة ، التابعة لشفة واحدة الى محور التعادل .

A_{ang} — مساحة مقطع زاوية واحدة .

وعند وجود اختلاف او فرق بسيط بين القيمتين المستخرجتين لكل من I_b و $I_{req.gr}$ ، يمكن تحقيق العلاقة المطلوبة $I_b \geqslant I_{req.gr}$ بتغيير ابعاد الزوايا الشفهة .

٣ — وعندما يكون الفرق او الاختلاف بين قيمتى I_b و $I_{req.gr}$ كبيرا ، يجب تطوير مقطع شفهات العتبة ، باضافة الواح افقية وبرشمتها مع الشفهات الافقية (الاضلاع الافقية) للزوايا .

وفى هذه الحالة ، سيكون عزم القصور الاجمالى لهذه العتبة ، مساويا لما يلى :

$$I_b = I_w + I_{ang} + I_p \qquad (6-43)$$

ويجب الا يقل هذا العزم عن عزم القصور اللازم للعتبة $I_{req.gr}$ (I_p — هو عزم قصور الالواح الافقية حول محور التعادل $x-x$) .

ومن هنا ، نجد بان عزم القصور اللازم ، للالواح الافقية ، سيساوى :

$$I_{req.p} = I_{req.gr} - (I_w + I_{ang}) \qquad (6-44)$$

والمساحة الصغرى اللازمة للالواح الافقية ، الخاصة بشفة واحدة ستساوى :

$$A_{req.p} = \frac{I_{req.p}}{2\left(\frac{h}{2}\right)^2} = \frac{2\,I_{req.p}}{h^2} \qquad (6-45)$$

ويجب ان يكون عرض الالواح الافقية كافيا ، ليجعلها تخرج عن حافة الزوايا من الطرفين . وفى هذه الحالة يجب الا يزيد طول الجزء الخارج عن حافة كل لوح (النتوء المقاس اعتبارا من خط القياس الطرفى) ، على ١٥ ضعفا من اضعاف ثخنه ، اى على $15t_p$ (شكل ٦ — ١٨ ، ب) ، وذلك بسبب احتمال فقدان الاستقرار الذى يتعرض له اللوح . وعندما يتراوح الثخن t_p بين ٢٠ — ٢٥ مم ، يكون من المنطقى وضع او استخدام لوحين (شكل ٦ — ١٨ ، ج) . وعند وجود الواح افقية ، يجب ان تقوم الزوايا المشفهة بنقل القوى او الاحمال ، نقلا يعول عليه الى الوترة . ولتحقيق هذا الغرض ينصح باخذ مسافة مقطع الزاويتين المشفهتين ، بحيث لا تقل عن ٣٠ ٪ من مساحة الشفة الكلية .

٤ — بعد تعيين الابعاد النهائية لمقطع العتبة ، تقوم بمراجعة مقاومتها ، بحساب الاجهادات المتعامدة ، الناشئة فى موضع تأثير عزم الانحناء الاقصى ، واجهادات القص القصوى الناشئة عند مسند العتبة ، وذلك بموجب الصيغتين التاليتين :

$$\delta = \frac{M}{W_n} \leqslant R \qquad (6-46)$$

$$\tau = \frac{QS_{gr}}{I_{gr}t_w} \times \frac{a}{a-d} \leqslant R_{sh} \qquad (6-46a)$$

حيث a — خطوة البرشام ،

d — قطر ثقب البرشام ،

$W_n = \frac{I_n}{\frac{h}{2}}$ — معامل المقطع الصافى (h = الارتفاع الكلى لمقطع العتبة) ،

ان عزم قصور المقطع ، المضعف بثقوب البرشام ، يساوى ما يلى :

$$I_n = I_{gr} - I_r \qquad (6-47)$$

حيث I_r — عزم القصور لمساحات ثقوب البرشام ، حول محور تعادل العتبة ، الذى يمكن تحديده بصورة تقريبية ، بواسطة الصيغة التالية (شكل ٦ — ١٨ ، د) :

$$I_r = 2\left(A_{0.A}c_A^2 + A_{0.c}c_0^2\right) + 0.15\,I_w \qquad (6-48)$$

حيث $A_{0.A}$ — المساحة الكلية لثقوب البرشام فى الشفهات (الاضلاع) الافقية للزوايا المشفهة والالواح الافقية ، العائدة الى نصف واحد من العتبة ،

$A_{0.c}$ — المساحة الكلية لثقوب البرشام (الاضلاع) العمودية ، للزوايا المشفهة ، فى نصف واحد من العتبة ،

c_0 و c_A — المسافة الممتدة من مراكز ثقل الثقوب المتناظرة ، الى محور تعادل العتبة ،

$0.15I_w$ — تضعيف عزم قصور وترة العتبة ، الذى يؤخذ عادة مساويا للمقدار ١٥ ٪ ، وذلك لاحتمال او امكانية عمل وصلة فى منتصف العتبة .

وعندما يكون المقطع غير متماثل ، يجب ان تحدد بصورة مستقلة الاجهاد فى كل من الالياف العليا والسفلى للعتبة ، وذلك بعد ان نحسب سلفا معاملات المقطع المتناظرة $W_{n.t}$ ، $W_{n.b}$ (مثلما فعلنا ذلك بالنسبة للعتبات الملحومة ، فى الشرح المذكور على ص ١٥٨) .

وبالاضافة الى مراجعة المقاومة ، تتم مراجعة استقرار العتبة (راجع البند التاسع والعشرين) .

وعند تصميم العتبة المبرشمة ، تعد الترتيبات سلفا لجعل الحافات او السطوح الخارجية للزوايا المشفهة ، تبرز بمقدار ٥ مم عن حافة اللوح العمودى او الرأسى ، باستثناء الحالات التى تحتاج فيها الى التفريز التسطيحى للوترة — flush milling راجع ص ١٩٧) .

مثال ٦ — ٦ : يطلب اختيار مقطع عتبة مبرشمة ، حسب نفس المعطيات المذكورة فى المثالين (٦ — ٤) و (٦ — ٥) ، اى ان باع العتبة L = ١٢ م ، والعزم التصميمى M = ٣٨٠ طن م .

هذا مع العلم بان معامل المقطع المطلوب ، يساوى W = ١٨١ سم^3 .

الحل : ١) نحدد معامل المقطع الاجمالى اللازم ، من الصيغة (6 — 40) :

$$W_{gr} = \frac{W_n}{0.85} = \frac{18100}{0.85} = 21300\,cm^3$$

ونأخذ نفس ابعاد العتبة ، التى اخذناها فى المثالين السابقين ، اى h = ١٥٠٠ مم ، b_w = ١٤٩٠ مم ، t_w = ١٠ مم .

ونحدد عزم القصور الصافى المطلوب ، من الصيغة (6 — 41) :

$$I_{req.gr} = W_{gr}\frac{h}{2} = 21300 \times \frac{150}{2} = 1600000\,cm^4$$

٢) والان نختار ابعاد الزوايا كما يلى :

$$b_{ang} = \frac{h}{11} = \frac{1500}{11} = 137\,mm$$

$$t_{ang} = \frac{b_{ang}}{11} = \frac{137}{11} = 12.5\,mm$$

ونختار من بين اشكال الزوايا القياسية ، الزاوية التى ابعادها ١٤٠ × ١٢ ، ذات الخصائص الهندسية التالية : A_{ang} = ٣٢,٥ سم^2 ، I_o = ٦٠٢ سم^4 .

ان المسافة من مركز ثقل الزوايا ، الى محور التعادل ، تساوى ما يلى :

$$c = \frac{150}{2} - 3.9 = 71.1cm$$

وعزم قصور الوترة ، يساوى :

$$I_w = \frac{t_w h^3}{12} = \frac{1 \times 149^3}{12} = 276000\ cm^4$$

وعزم قصور الزوايا الاربع ، يساوى :

$$I_{ang} = 4\,(I_0 + c^2 A_{ang}) = 4\,(602 + 71.1^2 \times 32.5) = 660000\ cm^4$$

وعزم القصور الكلى للوترة والزوايا الاربع اقل بكثير من العزم المطلوب $I_{req.gr}$ ، ويساوى :

$$I_w + I_{ang} = 276,000 + 660,000 = 936,000 < 1,600,000\ cm^4$$

ولهذا السبب ، يصبح من الضرورى تطوير مقطع شفهات العتبة باستخدام الواح افقية .

٣) تحدد عزم القصور المطلوب للالواح الافقية بواسطة الصيغة (44—6) :

$$I_{req.pl} = I_{req.gr} - (I_w + I_{ang}) = 1,600,000 - 936,000 = 664,000\ cm^4$$

وتحدد بعد ذلك المساحة اللازمة للالواح الافقية التابعة لشفة واحدة بواسطة الصيغة (45—6) :

$$A_{req.pl} = \frac{2\,I_{req.pl}}{h^2} = \frac{2 \times 664,000}{150^2} = 59\ cm^2$$

نأخذ لوحا واحدا ابعاد مقطعه تساوى ١٨ × ٣٤٠ مم ، ومساحته هى :

$$A_{pl} = 34 \times 1.8 = 61.2\ cm^2$$

٤) تحدد القيمة المضبوطة لعزم القصور الصافى لمقطع العتبة المتخذ (شكل ٦ — ١٩) ، وذلك من الصيغة (43 — 6) :

$$I_b = I_w + I_{ang} + I_{pl} = 276,000 + 660,000 + 2 \times 61.2 \times 75.9^2 = 1,642,000\ cm^4$$

ولتحديد المقدار W_n ، يجب ان نحسب سلفا ، عزم قصور مساحة العتبة ، المضعفة بثقوب البرشام I_r .

ان الشكل (٦ — ١٩) يبين ترتيب ثقوب البرشام فى شفة العتبة ، وبعد هذه الثقوب عن محور تعادل المقطع . وقطر البرشام يساوى ٢٣ مم .

والان نحدد عزم القصور لمساحة التضعيف (مساحة الثقوب) ، من الصيغة (48—6) :

$$I_r = 2\,(A_{0.8}c_8^2 + A_{0.6}c_6^2) + 0.15\,I_w = 2\,(2 \times 2.3 \times 3.0 \times 75.3^2 + 2 \times 2.3 \times 1.2 \times 70^2) + \\ + 0.15 \times 276,000 = 251400\ cm^4$$

وبعد ذلك نجد من الصيغة (47—6) ما يلى :

$$I_n = I_{gr} - I_r = 1,642,000 - 251,400 = 1,390,600\ cm^4$$

ونجد كذلك بان :

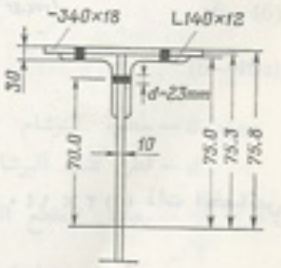
$$W_n = \frac{1390600}{76.8} = 18120\ cm^3$$

٥) نقوم بمراجعة مقاومة المقطع ، بواسطة الصيغة (46 — 6) :

$$\sigma = \frac{M}{W_n} = \frac{38000000}{18120} = 2100\ kg/cm^2$$

ثم ندرج القيم المستخرجة اعلاه ، فى الجدول (٦ — ٥) .

ان مساحة المقطع هنا ، وبالتالى وزن العتبة باكمله قد زادا بمقدار ٢٥ ٪ عما كانا عليه فى العتبة الملحومة المماثلة المبحوثة فى المثال (٦ — ٥) .



شكل (٦ — ١٩) رسم توضيحى للمثال ٦ — ٦

جدول ٦—٥

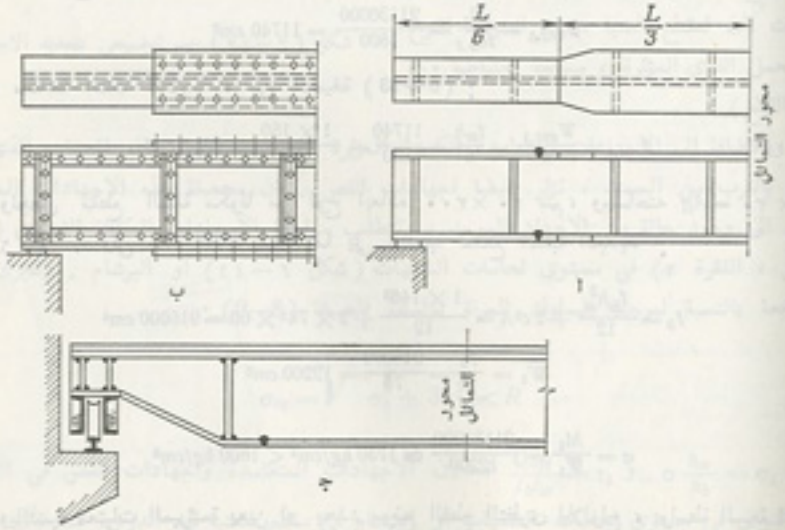
مكونات المقطع	A سم^2	I_{gr} سم^4	W_n سم^3	M طن م	σ كجم/سم^2
٢ — ١٨ × ٣٤٠	١٢٢,٤ = ٦١,٢ × ٢	٧٠٦٠٠٠			
٤ ⌊ ١٢ × ١٤٠	١٣٠ = ٣٢,٥ × ٤	٦٦٠٠٠٠			
		٢٧٦٠٠٠	١٨١٢٠	٣٨٠	٢١٠٠
— ١٠ × ١٤٩٠	١٤٩,٠	١٦٤٢٠٠٠ = I_{gr}			
		٢٥١٤٠٠ = I_r			
	$\sum A$ = ٤٠١,٤	١٣٩٠٦٠٠ = I_n			

ملحوظة : الرمز (—) يعنى لوح ، والرمز (⌊) يعنى زاوية .

٣ — تغير المقطع على طول العتبة

تكون العزوم بالقرب من المساند اقل بكثير من العزوم القصوى ، ولهذا السبب لا تكون هناك ضرورة لجعل المقطع ثابتا على طول العتبة باكمله ، وهو المقطع المختار على اساس العزم الاقصى . وهناك طريقتان لتقليل او اختصار المقطع ، وتقليل معامل المقطع ايضا .

وتتلخص الطريقة الاولى ، وهى الاكثر انتشارا ، فى تقليل مقطع الشفهات . ويتم ذلك فى العتبات الملحومة ، باختصار عرض (وفى حالات قليلة ثخن) الشفة (شكل ٦ — ٢٠ ، ١) ، اما فى العتبات المبرشمة فيتم ذلك بقطع او تقصير الالواح الافقية ، بحيث تجعل العتبة عند المساند مؤلفة من وترة واربع زوايا فقط (شكل ٦ — ٢٠ ، ب) .



شكل (٦ — ٢٠) تغير المقطع على طول العتبة

وتتلخص الطريقة الثانية فى تقليل ارتفاع الوترة الرأسية (العمودية) كما هو مبين فى الشكل (٦ — ٢٠ ، ج) ، الامر الذى يجعل شكل مقطع العتبة يأخذ هيئة شبه منحرف .

وبالنسبة للعتبات الملحومة ، المعرضة لتأثير الاحمال الموزعة بانتظام ، يقع الموضع الاكثر ملاءمة لتغيير شكل المقطع ، على مسافة تساوى $x \cong \frac{1}{6} L$ من المسند . ويمكن ايجاد العزم المؤثر فى هذا الموضع M_1 ، بطريقة تخطيطية من الرسم البيانى للعزوم ، او بطريقة تحليلية من المعادلة التالية :

$$M_1 = \frac{qx(L-x)}{2} \qquad (6-49)$$

وباستخدام العزم M_1 الذى استخرجناه ، نحدد معامل المقطع اللازم ، ونختار المقطع الجديد للشفهات بطريقة عادية (مع ابقاء ثخنها كما هو عليه ، كقاعدة) . وتربط الواح الشفة فى موضع تغيير المقطع ، بوصلة ملحومة قائمة (شكل ٦ — ٢٠ ، ا) . ولهذا السبب لا يجب ان يزيد الاجهاد فى العتبة على مقاومة اللحام التصميمية للشد ، وهى بالنسبة لقضبان اللحام (الالكترودات) من النوع 342 ، تساوى $R_{w.t} = 1800$ كجم/سم^2 .

مثال ٦ — ٧ : يطلب تغيير شكل المقطع على طول العتبة الملحومة التى تم اختيارها فى المثال ٦ — ٥ . ان باع العتبة $L = 12$ م ، وهى محملة باحمال موزعة بانتظام قدرها $q = 21{,}13$ طن/م ، مع العلم بان العزم الاقصى يساوى $M_{max} = 380$ طن م .

الحل : تحدد العزم M_1 على مسافة قدرها $x = \frac{L}{6} = \frac{12}{6} = 2\,m$ من المسند ، وذلك بواسطة الصيغة (49 — 6) :

$$M_1 = \frac{qx(L-x)}{2} = \frac{21.13 \times 2\,(12-2)}{2} = 211.3\,tm$$

اى يساوى ٢١١,٣ طن م .

ومعامل المقطع المطلوب يساوى :

$$W_{req.1} = \frac{M_1}{R_{w.t}} = \frac{21130000}{1800} = 11740\ cm^3$$

ونجد مساحة الشفة اللازمة ، من الصيغة (33 — 6) :

$$A_{req.1} = \frac{W_{req.1}}{h} - \frac{t_w h}{6} = \frac{11740}{150} - \frac{1 \times 150}{6} = 53.3\ cm^2$$

ونجعل مقطع الشفة مكونا من لوح ابعاده ٣٠٠ × ٢٠ مم ، ومساحته $A_{fl} = 30 \times 2 = 60$ سم^2 . وفى هذه الحالة سنجد ما يلى بالنسبة لمقطع العتبة الجديد :

$$I_b = \frac{t_w h_w^3}{12} + 2c^2A = \frac{1 \times 146^3}{12} + 2 \times 74^2 \times 60 = 916000\ cm^4$$

$$W_1 = \frac{I_b}{\frac{h}{2}} = \frac{916000}{75} = 12200\ cm^3$$

$$\sigma = \frac{M_1}{W_1} = \frac{21130000}{12200} \cong 1730\ kg/cm^2 < 1800\ kg/cm^2$$

وبالنسبة للعتبات المبرشمة يعين او يحدد موقع القطع النظرى للالواح ، بواسطة السعة الحملية للقسم الباقى من مقطع العتبة ، مع تقليل عدد الالواح ، او بدون الواح بتاتا . مثلا ، بالنسبة

للعتبة الموحوثة فى المثال (٦ — ٦) ، كان عزم القصور الاجمالى للمقطع ، بدون الواح اقتية ، مساويا للمقدار $I_{gr} = 936000$ سم^4 (راجع الجدول ٦ — ٥) . وعزم القصور الصافى يساوى $I_n = 859400$ سم^4 ، ومن هنا تجد بان معامل المقطع الصافى لمقطع هذا القسم من العتبة التى تتألف من لوح رأسى وزوايا مشفهة ، سيساوى ما يلى :

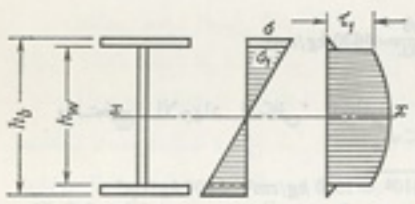
$$W_{n.1} = \frac{859400}{75} = 11450\ cm^3$$

ان هذا المقطع فى حالة استخدام المادة بصورة تامة يمكن ان يتحمل العزم التالى :

$$M_1 = WR = 11450 \times 2100 = 24045000 \cong 240\ t/m$$

وبمعرفة قيمة العزم M_1 ، نستطيع من الرسم البيانى للعزوم ، ايجاد الموضع الذى يمكن فيه قطع الالواح . ويمكن تحديد هذا الموضع المسمى بموضع (خط) القطع النظرى للالواح ، بالطرق التحليلية ايضا .

ولتحقيق هذا الغرض ، نجد من الصيغة (49 — 6) ، المسافة من المسند x ، التى تحدد موضع القطع النظرى للالواح . وفى الواقع يجب مد الالواح الافقية الى مسافة ابعد وراء خط القطع النظرى ، وذلك لضمان مشاركتها فى العمل ابتداء من هذا الخط ، بعد ان تكون قد برشمت فى محلها بعدد معين من البرشام . ان عدد البرشام اللازم لتثبيت اللوح وراء خط القطع النظرى يحدد من مساحة مقطع اللوح ، بافتراض ان اللوح يتحمل قوة قدرها $0.5A_pR = F$ (وذلك لان لمقطع العتبة ، بعد اشتراك اللوح فى تحمل القوى المؤثرة ، مساحة احتياطية وراء خط القطع) .



شكل (٦ — ٢١) رسم توضيحى لتحديد الاجهادات المكافئة

وبالاضافة الى الاجهادات المتعامدة الكبيرة المؤثرة فى موضع تغيير مقطع العتبة ، الذى يقع عادة بالقرب من المسند ، تؤثر ايضا اجهادات القص . ان محصلة هذه الاجهادات الموحدة تؤدى الى وجود حالة من الاجهاد الموحد ، وتتطلب مراجعة الاجهادات المكافئة القصوى (البند الثامن ، الفقرة ٣) فى مستوى لحامات الشفهات (شكل ٦ — ٢١) او البرشام . وتجرى هذه المراجعة بالنسبة لمرحلة السلوك المرنة بواسطة الصيغة (8 — 2) :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \leq R$$

حيث $\sigma_1 = \sigma \frac{h_w}{h_b}$ و $\tau_1 = \frac{QS_{fl}}{I_b t_w}$ تمثلان الاجهادات المتعامدة واجهادات القص فى الوترة ، على التوالى فى مستوى لحامات الشفهات او البرشام فى مقطع العتبة قيد الدرس ، عند تأثير نفس الاحمال .

مثال ٦ — ٨ : يطلب تحديد الاجهاد المكافئ σ_{eq} ، في المقطع المختصر للعتبة الملحومة ، الذي تم اختياره في المثال (٦ — ٧) . ان باع العتبة يساوى $L = 12$ م ، والاحمال الموزعة بانتظام تساوى $q = 21{,}13$ طن/م . ومميزات مقطع العتبة المختصر هي :

$$A_{fl} = 30 \times 2 = 60\ cm^2$$
$$I_b = 916{,}000\ cm^4$$
$$\sigma = 1730\ kg/cm^2$$

الحل : نحدد او نجد قوة القص Q في المقطع ، على مسافة تساوى $x = 2$ م من المسند ، بالصيغة التالية :

$$Q = q\frac{L - 2x}{2} = \frac{21.13\,(12 - 2 \times 2)}{2} = 84.5\ tons$$

اى تساوى ٨٤,٥ طن .

والعزم الاستاتيكي للشفة حول محور التعادل $S_{fl} = 30 \times 2 \times 74 = 4440\ cm^3$

واجهادات القص في مستوى لحام الشفة تساوى ما يلي :

$$\tau_1 = \frac{QS_{fl}}{I_b t_w} = \frac{84500 \times 4440}{916000 \times 1} = 410 kg/cm^2$$

والاجهاد المتعامد في مستوى لحام الشفة يساوى ما يلي :

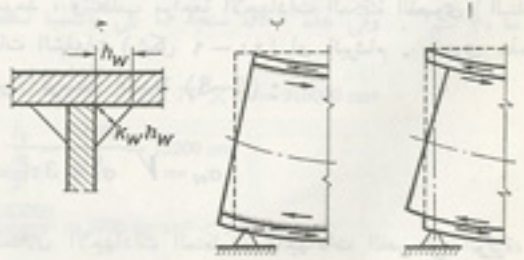
$$\sigma_1 = \sigma\frac{h_w}{h_b} = 1730 \times \frac{146}{150} = 1680\ kg/cm^2$$

وتستخرج الاجهاد المكافئ المطلوب من الصيغة (8 — 2) :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} = \sqrt{1680^2 + 3 \times 410^2} = 1820\ kg/cm^2 < 2100\ kg/cm^2$$

٤ — حساب وتصميم وصلة الشفهات مع الوترة

ان وصلة الشفهات مع الوترة تنجز في العتبات الملحومة ، بواسطة اللحامات المتواصلة ، اما في العتبات المبرشمة ، فتنجز باستخدام البرشام . واذا لم توصل الشفة مع الوترة ، لادى ذلك الى ابتعادهما عن بعضهما البعض، في حالة تعرضهما للانحناء (شكل ٦ — ٢٢ ، أ) . ان اتصال او وصل الشفة مع الوترة ، لا يسمح بحدوث القص ، ونتيجة لذلك تظهر في هذه الوصلات اجهادات قص يكون اتجاهها محاذيا لمحور العتبة (شكل ٦ — ٢٢ ، ب) . وفي العتبات



شكل (٦ — ٢٢) رسم توضيحي لحساب اربطة (توصيلات) اوتار العتبة الملحومة

الملحومة تحدد اجهادات القص في الوترة ، على امتداد خط اتصال الشفة مع الوترة بواسطة الصيغة (36—6) :

$$\tau = \frac{QS_{fl}}{I_b t_{web}}\ kg/cm^2$$

حيث S_{fl} — العزم الاستاتيكي للشفة (القسم المتحرك من المقطع في حالة القص) حول محور التعادل .

وقوة القص F_{sh} المؤثرة على كل متر واحد من طول العتبة تساوى ما يلي :

$$F_{sh} = \tau t_{web} = \frac{QS_{fl}}{I_b}\ kg/cm \qquad (6—50)$$

ويتحمل قوة القص هذه لحامان طولهما ١ سم ، ومساحتهما الفعالة تساوى (شكل ٦ — ٢٢ ، ج) :

$$A_w = 2k_w h_w$$

حيث h_w — الضلع القائم للحام (ثخن اللحام)

k_w — عامل اختصار مساحة اللحام الزاوى ، وهو العامل الذى اشرنا اليه في ص...

وهكذا نجد بان صيغة مراجعة مقاومة اللحامات التي تربط شفة العتبة مع الوترة تأخذ الشكل التالي :

$$\tau = \frac{QS_{fl}}{2k_w h_w I_b} \leqslant R_{w.s} \qquad (6—51)$$

او

$$h_w \geqslant \frac{QS_{fl}}{2k_w I_b R_{w.s}} \qquad (6—52)$$

وسوف تكون القيمة القصوى لاجهادات القص موجودة عند المسند ، عند تأثير قوة القص القصوى Q . وعادة تكون لحامات الشفهات في العتبة متواصلة وذات حجم او ثخن واحد . وعندما تستخدم شفهات ثخينة ، تظهر في لحامات الشفهات اجهادات داخلية كبيرة . ولهذا السبب يجب انجاز هذه اللحامات اما باللحام الاوتوماتي ، او بالكترودات من النوع 342A ، التي يكون المعدن المرسب منها اكثر لدونة . ان القيم الصغرى لثخن (حجم) لحامات الشفهات ، مدرجة في الجدول (٦ — ٦) .

جدول ٦—٦

القيم الصغرى لثخن لحامات الشفهات h_w (اللحامات الزاوية)

ثخن الشفهات t_{fl} (مم) في القطع المصنوعة من :	الى ١٠ مم	١١—٢٠	٢١—٣٠	٣١—٥٠	اكثر من ٥٠ مم
الفولاذ الكربوني	٤	٦	٨	١٠	١٢
الفولاذ السبائكي المنخفض الاشابة	٦	٨	١٠	١٢	—

شكل (٦ – ٢٣) رسم توضيحي لحساب اربطة (توصيلات) اوتار العتبة المبرشمة

وفي العتبات المبرشمة يتحمل برشام الشفهات قوة القص F_{sh} المؤثرة في المقطع . وتتعرض كل برشامة الى مجموع وحدات قوى القص المحددة بموجب الصيغة (50—6) ، على امتداد يساوي نصف طول خطوة البرشام (شكل ٦ – ٢٣ ، ا) . وهذه القوة الاجمالية لا يجب ان تزيد على قوة التهصر او القص المزدوج المسموح بها للبرشامة الواحدة F'_r ، اى :

$$F_{sh}a \leqslant F'_r$$

ومن هذه المعادلة تتحدد خطوة برشام الشفهات (راجع الصيغة [(6—46a)] كما يلى :

$$a \leqslant \frac{F'_r}{F_{sh}} = \frac{F'_r I_b}{QS_{fl}} \qquad (6—53)$$

حيث S_{fl} – العزم الاستاتيكى الاجمالى للشفة حول محور التعادل (القسم المخطط فى الشكل ٦ – ٢٣ ، ب) .

I_b – عزم القصور الاجمالى لمقطع العتبة باكمله .

ولتقليص حجم العمل المبذول فى صنع العتبة يجب ان يكون عدد البرشام اقل ما يمكن ، بالتالى تكون خطوة البرشام اكبر ما يمكن ، بحيث لا تزيد على المقدار $12d$ (الجدول ٥ – ٢) .

وعادة يتم تحديد خطوة البرشام ، اعتمادا على مقدار قوة القص عند المسند ، بعد ترك مسافات فاصلة متتالية ، على طول العتبة ، الامر الذى يسهل سير العمل فى الورشة . اما بالنسبة للعتبات الطويلة الباع ، فانه من الافضل عمليا زيادة خطوة البرشام فى القسم المتوسط من العتبة حيث تقل قيمة قوة القص .

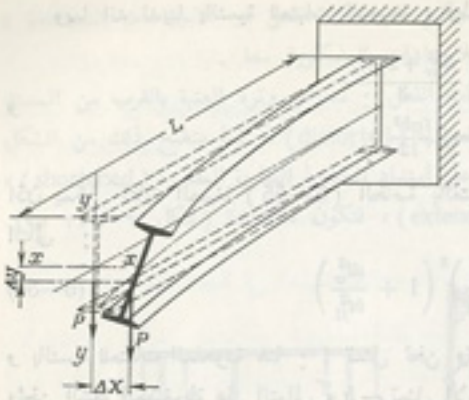
البند التاسع والعشرون – الاستقرار العام والاستقرار الموضعى للعتبات الفولاذية

١ – الاستقرار العام للعتبات

ان العتبة الرفيعة الطويلة غير المثبتة فى الاتجاه الجانبى والمحملة فوق الحد المعين يمكن ان تفقد استقرارها وتتحدب منحرفة الى حد كبير فى المستوى الافقى (شكل ٦ – ٢٤) .

وتسمى هذه الظاهرة بفقدان الاستقرار العام للعتبة ، اما الاحمال والاجهادات التى يحدث عندها فقدان الاستقرار العام فتسمى بالاحمال والاجهادات الحرجة .

وفى حالة فقدان الاستقرار العام يبدأ مقطع العتبة بالالتواء ، الامر الذى يؤدى الى الازاحة الجانبية للشفهات فى المستوى الافقى . وبالاضافة الى انحناء العتبة فى المستوى الرأسى فانها تتعرض كذلك الى الانحناء فى المستوى الافقى والى الالتواء . ومن الواضح انه كلما كانت الشفهات اعرض وزادت قيمة I_y ، كلما كانت الاجهادات الحرجة اكبر ، وكانت العتبة اكثر استقرارا . ويمكن كذلك رفع قيمة الاجهادات الحرجة الى حد كبير ، وذلك بتثبيت بعض مواضع



شكل (٦ – ٢٤) فقدان الاستقرار العام للعتبة الكابولية

الشفة العليا للعتبة على امتدادها لمنع حدوث الازاحات الجانبية المحتملة . ان قيمة الاجهادات الحرجة تعتمد على الشكل التصميمى او الرسم التخطيطى للعتبات ، وفى الدرجة الاولى على النسبة بين الباع (او المسافة الموجودة بين نقاط تثبيت الشفة المضغوطة) وعرض الشفة، اى $\frac{L}{b}$ (جدول ٦ – ٤) .

وعندما تكون النسبة $\frac{L}{b}$ كبيرة، يجب مراجعة الاستقرار العام للعتبة ، مع ادخال عامل التحدب φ_b فى الصيغة الحسابية (14—6) :

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_b W_{gr}} \leqslant R$$

وبالنسبة للعتبات ذات المقطع شكل – I المتماثل ، يتم تحديد قيمة عامل التحدب φ_b ، الذى يمثل النسبة بين الاجهاد الحرج للفقدان الاستقرار ونقطة الخضوع ، من الصيغة التالية :

$$\varphi_b = \psi \frac{I_y}{I_x}\left(\frac{h}{L}\right)^2 10^3 \qquad (6—54)$$

حيث ψ – عامل يتم تحديده من الجدول – ٣ (للعتبات او العوارض العادية) ، ومن الجدول – ٤ (للعتبات الكابولية) ، وهما الجدولان المبينان فى الملحق الثانى فى آخر الكتاب . ويتم ذلك بالاعتماد على البارامتر (المقدار المتغير القيمة) التالى :

$$\alpha = 1.54 \frac{I_t}{I_y}\left(\frac{L}{h}\right)^2 \qquad (6—55)$$

حيث I_t – عزم القصور عند الالتواء الذى يؤخذ للعتبات شكل – I المدلفنة طبقا للقيم المدرجة فى الجدول (٦ – ٧) .

جدول ٦-٧

عزوم القصور عند الالتواء، I_t، للعتبات شكل – I المدلفنة

رقم العتبة – I	١٠	١٢	١٤	١٦	١٨	ا١٨	٢٠	ا٢٠	٢٢	ا٢٢	٢٤	ا٢٤	٢٧
I_t (سم^4)	٢,٣	٢,٩	٣,٦	٤,٥	٥,٦	٦,٥	٦,٩	٧,٩	٨,٦	٩,٨	١١	١٣	١٤
رقم العتبة – I	٢٧ا	٣٠	٣٠ا	٣٣	٣٦	٤٠	٤٥	٥٠	٥٥	٦٠	٦٥	٧٠	٧٠ا	٧٠ب
(سم^4)	١٧	١٧	٢٠	٢٤	٣١	٤١	٥٥	٧٥	١٠٠	١٣٥	١٨٠	٢٤٤	٣٥٢	٥٣٤

وبما انه لدينا بالنسبة للعتبات المجمعة ، وطبقا للصيغة (22—2) ما يلي :

$$I_t = 1.3\,\frac{hb_w^3 + 2\,b_{fl}^3}{3}$$

و

$$I_p = 2\,\frac{t_{fl}b^3}{12}$$

اذن يمكن كتابة الصيغة (55—6) الخاصة بالعتبات المجمعة (الملحومة والمبرشمة) ، بالشكل التالي :

$$\alpha = 8\left(\frac{Lt_{fl}}{bh}\right)^2\left(1 + \frac{dh_w^3}{bt_{fl}^3}\right) \qquad (6—56)$$

و بالنسبة للعتبات الملحومة هنا : t تمثل ثخن وترة العتبة ، $d = 0.5h$ و b و t_{fl} تمثلان عرض وثخن الشفة المضغوطة على التوالي ، h — تمثل الارتفاع الكلي لمقطع العتبة . اما بالنسبة للعتبات المبرشمة فنرى بان : t_w تمثل ثخن الوترة مع الاضلاع (الشفهات) الرأسية للزوايا ، t_{fl} تمثل ثخن الشفة مع الضلع الافقي للزاوية ، d — تمثل ارتفاع الضلع الرأسي للزاوية ، زائدا ثخن مجموعة الالواح الافقية .

وعندما يكون عامل التحدب φ_b اكبر من ٠,٨٥ ، تكون الاجهادات الحرجة واقعة في المنطقة اللدنة من سلوك المادة، وفي هذه الحالة ، يدخل في المعادلة (14—6) ، العامل φ_b' المأخوذ من الجدول (٦ — ٨) ، وذلك بدلا من العامل φ_b .

جدول ٦—٨

قيم العامل φ_b' للعتبات الفولاذية

φ_b	٠,٨٥	٠,٩٠	٠,٩٥	١,٠٠	١,١٠	١,٢٠	١,٣٠	١,٤٠	١,٥٥
φ_b'	٠,٨٥٠	٠,٨٧١	٠,٨٩٠	٠,٩٠٤	٠,٩٢٧	٠,٩٤٨	٠,٩٦٤	٠,٩٨٠	١,٠٠

ان مراجعة استقرار العتبات التي مقطعها على شكل مجرى (⎓) تتم كما هي عليه بالنسبة للعتبات التي مقطعها على شكل — I ، وفي هذه الحالة تحسب قيمة α من الصيغة (56—6) .

ولكن تضرب قيم عامل التحدب φ_b المستخرجة بناء على ذلك في المقدار ٠,٥ في حالة تسليط الحمل على امتداد المحور الرئيسي ، المار بمركز ثقل المقطع . وتضرب في ٠,٧ عند تسليط الحمل في مستوى الوترة .

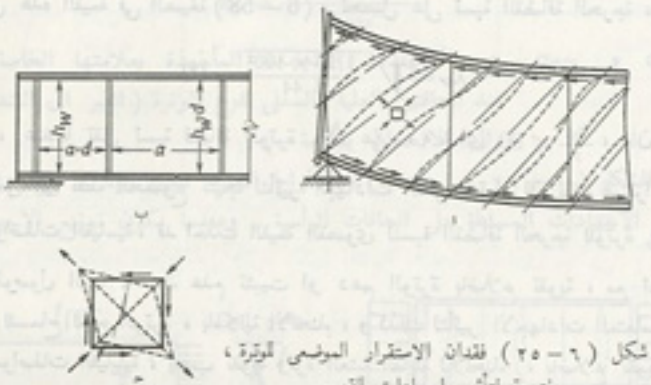
وبالنسبة للعتبات التي تكون شفتها المضغوطة اكثر تطورا ، يتم تحديد عامل التحدب φ_b طبقا للمواصفات القياسية لتصميم الانشاءات الفولاذية .

٢ — الاستقرار الموضعي

ان التحدب الموضعي لبعض اجزاء القطع الانشائية ، تحت تأثير الاجهادات المتعامدة (الضاغطة) او اجهادات القص ، يسمى بفقدان الاستقرار الموضعي . ان فقدان الاستقرار الموضعي للشفة او الوترة في العتبات غالبا ما يكون السبب الرئيسي لفقدان السعة الحملية .

ويمكن ان تفقد وترة العتبة استقرارها نتيجة لتأثير اجهادات القص او الاجهادات المتعامدة ، وكذلك نتيجة للتأثير الموحد او المشترك للاجهادات المذكورة معا .

فقدان استقرار الوترة نتيجة لتأثير اجهادات القص : تتعرض وترة العتبة بالقرب من المسند الى تأثير اجهادات القص التي تؤدي الى تعوجها (distorted) ، كما يتضح ذلك من الشكل (٦ — ٢٥ ، أ) : ان الوترة تكون منضغطة على امتداد الخطوط القطرية المقصرة (shortened) ، اما على امتداد الخطوط القطرية المطولة (extended) ، فتكون مشدودة (شكل ٦ — ٢٥ ب).



شكل (٦ — ٢٥) فقدان الاستقرار الموضعي للوترة ، نتيجة لتأثير اجهادات القص

ويمكن ان تتحدب الوترة تحت تأثير الضغط وتشكل تموجات مائلة تصنع مع المحور زاوية قدرها ٤٥° تقريبا . ولمنع تحدب الوترة توضع اضلاع تقوية رأسية (عرضية) تحول دون حدوث تموجات التحدب المحتملة (شكل ٦ — ٢٥ ، ج) . وتصبح الوترة في هذه الحالة مقسمة الى مستطيلات محاطة من جهاتها الاربع بالشفهات واضلاع التقوية . واذا رمزنا الى المسافة بين اضلاع التقوية بالرمز a والى ارتفاع الوترة بالرمز h_w ، والى الضلع الاصغر للمستطيل الواحد بالرمز d ، عندئذ يمكن التعبير عن اجهادات القص الحرجة في الوترة بالصيغة التالية (بعد ان نأخذ في الاعتبار تثبيت الوترة المرن في الشفهات) :

$$\tau_{cr} = \left(1.25 + \frac{0.95}{\mu^2}\right)\left(\frac{100\,t}{d}\right)^2 t/cm^2 \qquad (6—57)$$

حيث μ — النسبة بين الضلع الاكبر (a او h_w) والضلع الاصغر d ،

t — ثخن الوترة .

ويحسب الاستقرار ، عادة ، بالاطنان والسنتمترات .

وعندما تكون μ او a كبيرة جدا (وهو الامر الذي يعني انه في الحالة الحدية توجد اضلاع تقوية عند مساند العتبة فقط) ، يصبح الضلع الاصغر d مساويا للمقدار h_w ، وعندئذ نحصل على ما يلي :

$$\tau_{cr} = 1.25\left(\frac{100\,t}{h_w}\right)^2 = \frac{1.25 \times 100^2}{\lambda_w^2}\,t/cm^2 \qquad (6—58)$$

حيث $\lambda_w = \frac{h_w}{t}$ هي نسبة قضافة الوترة .

ان الصيغة التى حصلنا عليها الان تشبه من حيث تركيبها معادلة " اويلر " (13—2) .

والان نجد عند اية قيمة من قيم نسبة قضاة الوترة $\lambda_w = \frac{h_w}{t}$ ، يمكن ان تصل الاجهادات الحرجة τ_{cr} الى نقطة الخضوع τ_y ، وتسمى نسبة القضاة هذه بنسبة القضاة الحرجة λ_{cr} وقد ذكرنا سابقا (البند الثامن ، الفقرة ٣) بانه بالنسبة للفولاذ — ٣ ، لدينا ما يلى :

$$\tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \approx 0.6\,\sigma_y = 0.6 \times 2400 = 1440\ kg/cm^2 = 1.44\ t/cm^2$$

وبتعويض هذه القيمة فى الصيغة (58 — 6) ، نحصل على نسبة القضاة الحرجة ، وتساوى :

$$\lambda_{cr} = \sqrt{\frac{1.25 \times 100^2}{1.44}} \approx 90$$

وهكذا ، عندما تقل نسبة قضاة الوترة $\frac{h_w}{t}$ عن ٩٠ ، اى $\frac{h_w}{t} < 90$ ، فان الوترة عند تحميلها ، تصل الى نقطة الخضوع نتيجة لتأثير اجهادات القص ، قبل ان تفقد استقرارها . ولكننا نرى بان المواصفات القياسية ، قد اخذت القيمة القصوى لنسبة القضاة الحرجة للوترة $\lambda_w = \frac{h_w}{t}$ ، التى يمكن الوصول اليها ، عند عدم تثبيت او دعم الوترة باضلاع تقوية ، مع احتياطى امان معين ، وذلك للسماح للوح الوترة ، بامكانية الانحناء ، وكذلك لتأثير الاجهادات المتعامدة المعين .

وطبقا للمواصفات القياسية ، يجب تقوية وترة العتبة القابلة للانحناء ، باضلاع تقوية مستعرضة ، عندما تكون نسبة القضاة $\frac{h_w}{t} > 70\sqrt{\frac{2100}{R}}$ حيث R تمثل المقاومة التصميمية للفولاذ (كجم/سم٢) .

والمسافة القصوى او النهائية بين اضلاع التقوية تؤخذ مساوية لما يلى :

$a_{max} = 2\,h$ — عندما تكون $\frac{h}{t} < 100$

و

$a_{max} = 2.5\,h$ عندما تكون $\frac{h}{t} > 100$

وعند ترتيب اضلاع التقوية بهذا الشكل تحصل على نسبة القضاة الحرجة للوترة بعد اخذ $\mu = 2$ فى الصيغة (57—6) :

$$\lambda_{cr} = \sqrt{\frac{1.49 \times 100^2}{1.44}} = 102$$

ويأخذ بعض التأثيرات الناجمة عن تثبيت اضلاع التقوية ، مع عدد من التبسيطات الاخرى ، فى الاعتبار تسمح المواصفات القياسية بعدم مراجعة استقرار وترة العتبة ، عندما تبلغ قيم نسبة القضاة : $\lambda_w = \frac{h_w}{t} < 110\sqrt{\frac{2100}{R}}$ ، اما عند وجود ضغط موضعى بين اضلاع التقوية ($\sigma_{loc} \neq 0$) ، فيسمح بعدم مراجعة الاستقرار عندما تبلغ قيم نسبة القضاة :

$$\frac{h_w}{t} < 80\sqrt{\frac{2100}{R}}$$

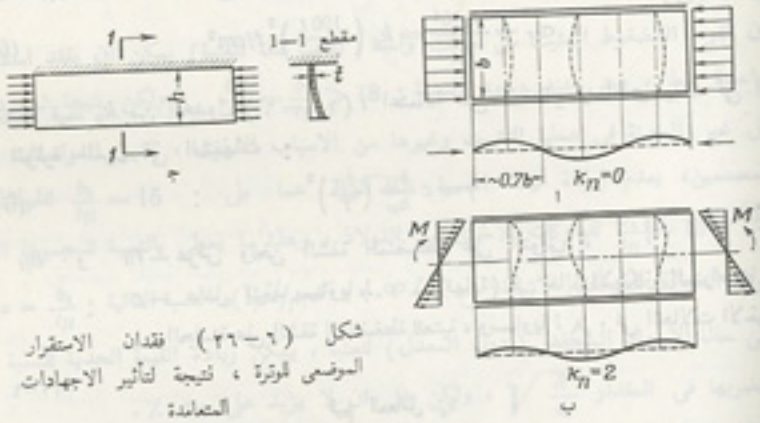
وفى حالة تحديد قيمة $\frac{h_w}{t}$ بالنسبة للعتبات المبرشمة ، يؤخذ ارتفاع الوترة المصمم h_w ، بين خطوط القياس الداخلية لبرشام الزوايا المشفهة .

فقدان استقرار الوترة والشفة نتيجة لتأثير الاجهادات المتعامدة : ان تأثير اجهادات القص على الوترة ، فى المواضع البعيدة عن المسند والقريبة من منتصف العتبة ، لا يكون تأثيرا كبيرا ، لان الوترة فى هذه المواضع تتعرض بالدرجة الاولى لتأثير الاجهادات المتعامدة ، وهو الامر الذى يمكن ان يجعل العتبة تفقد استقرارها ايضا . وتعتمد قيمة الاجهادات المتعامدة الحرجة ، على قانون او نظام توزيع الاجهادات المتعامدة المسلطة على حافات لوح الوترة المستطيل وهى الاجهادات المميزة بالعامل k_n :

$$k_n = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{\sigma_{max}} \qquad (6—59)$$

حيث σ_{max} و σ_{min} — هى الاجهادات المتعامدة المأخوذة بعلاماتها الخاصة ، والمؤثرة عند الحافتين العليا والسفلى للوح الوترة (اشير الى الشد بعلامة + ، والى الانضغاط بعلامة —) .

ويبين الشكل (٦ — ٢٦ ، ا و ب) ، الالواح المثبتة تثبيتا مرنا ، على امتداد الحافات الافقية ، مع الاجهادات المسلطة على الحافات الرأسية . وعندما يكون توزيع الاجهادات منتظما



شكل (٦ — ٢٦) فقدان الاستقرار الموضعى لوترة ، نتيجة لتأثير الاجهادات المتعامدة

(انضغاط بحت ، شكل ٦ — ٢٦ ، ا)، نجد بان k_n = صفر ، اما فى حالة الانحناء (شكل ٦ — ٢٦ ، ب) ، فان $k_n = ٢$.

ويبين الشكل (٦ — ٢٦ ، جـ) لوحا منتظم الانضغاط مثبتا من احد جانبيه الطويلين ، وطليقا من الجانب الاخر .

ان الصيغة العامة المستخدمة لتحديد الاجهادات المتعامدة الحرجة التى تكون صحيحة فى حدود السلوك المرن للوترة تأخذ الشكل التالى :

$$\sigma_{cr} = \frac{\xi\, 10^4}{\lambda_w^2}\ t/cm^2 \qquad (6—60)$$

حيث ξ — معامل يعتمد على قيمة k_n ، وقيم المعامل ξ مدرجة فى الجدول (٦ — ٩) ، $\lambda_w = \frac{h_w}{t}$ — نسبة قضاة الوترة .

جدول ٦–٩

قيم المعامل k في الصيغة (6—60)

الرسوم البيانية للاجهادات	اللوح مثبت تثبيتا مرنا من جانبيه الطويلين			اللوح مثبت من احد جانبيه الطويلين
	انضغاط	انضغاط وانحناء	انحناء	انضغاط
k_0	صفر	١	٢	–
ξ	١,٠٠	٢,١٠	k_0	٠,٠٨

ان الاجهاد المتعامد الحرج في وترة العتبة القابلة للانحناء يساوى ما يلى :

$$\sigma_{cr} = \frac{k_0 10^4}{\lambda_w^2} = k_0 \left(\frac{100\,t}{h_w}\right)^2 t/cm^2 \qquad (6—61)$$

حيث تؤخذ قيمة k_0 من الجدول (٦ — ١٠) ، اعتمادا على المقدار γ الذى يأخذ فى الاعتبار تثبيت الوترة المرن فى الشفهات :

$$\gamma = c\,\frac{b_{fl}}{h_w}\left(\frac{t_{fl}}{t}\right)^3 \qquad (6—62)$$

حيث b_{fl} و t_{fl} — عرض وثخن الشفة المنضغطة على التوالى ،

c — عامل يؤخذ مساويا لـ ∞ (لانهاية) فى حالة الارتكاز المتواصل للالواح الجاسئة على الشفة المنضغطة للعتبة ، ومساويا لـ ٠,٨ فى الحالات الاخرى .

جدول ٦–١٠

قيم المعامل k_0

γ	العتبات الملحومة							العتبات المبرشمة
	≤٠,٨	١,٠	٢,٠	٤,٠	٦,٠	١٠	≥٣٠	لاية قيمة من قيم γ
k_0	٦,٣	٦,٦٢	٧,٠	٧,٢٧	٧,٣٢	٧,٣٧	٧,٤٦	٠,٧

والان نحدد قيمة نسبة القضافة الحرجة التى عندها يصل الاجهاد المتعامد الحرج الى نقطة الخضوع $\sigma_y = 2{,}4$ طن/سم² (للفولاذ — ٣).

ومن الصيغة (6—60) نجد ما يلى :

عند $k_0 =$ صفر

$$\lambda_w = \frac{h_w}{t} = 100\sqrt{\frac{\xi}{\sigma_y}} = 100\sqrt{\frac{1}{2.4}} \approx 65$$

وعند $k_0 = 2$ و $\sigma_y = 6{,}3$:

$$\lambda_w = \frac{h_w}{t} = 100\sqrt{\frac{6.3}{2.4}} \approx 162$$

وعندما يكون احد الجانبين مثبتا والاخر حرا او طليقا ، نجد بان :

$$\lambda_w = \frac{h_w}{t} = 100\sqrt{\frac{0.08}{2.4}} \approx 18$$

وفى حالة انضغاط اللوح المثبت تثبيتا مرنا من الجانبين الطويلين (وترة العمود الصلد) ، عند النسبة التالية $\frac{h_w}{t} < ٦٥$ ، تصل الوترة الى الاجهاد الحدى (النهائى) ، طبقا لشروط المقاومة، قبل ان تفقد استقرارها .

وفى حالة الانحناء تبدأ الوترة بفقدان الاستقرار تحت تأثير الاجهادات المتعامدة عند النسبة التالية $\frac{h_w}{t} < ١٦٢$. ولكن نظرا للطبيعة التقريبية لعدد من الافتراضات الحسابية المستخدمة عند استخراج او اشتقاق الصيغ المذكورة اعلاه ينصح بان تؤخذ نسبة القضافة الحرجة للوترة (عند تأثير الاجهادات المتعامدة فقط)، مساوية لما يلى : $\frac{h_w}{t} = < ١٦٠$ ، للفولاذ — ٣، و $\frac{h_w}{t} = 160\sqrt{\frac{2100}{R}}$ للماركات الاخرى .

ان اللوح المضغوط المثبت من جانب واحد (نصف شفة العتبة) يمكن ان يفقد استقراره فى حالة واحدة فقط ، وهى عند وجود النسبة : $\frac{h_w}{t} = \frac{h_1}{t_{fl}} > 18$. ولكن نتيجة لوجود بعض المسائل غير المعينة فى عملية التثبيت وغيرها من الاسباب الاخرى ، تشير المواصفات القياسية على المصممين، بعدم زيادة قيمة النسبة المذكورة عما يلى : $\frac{h_1}{t_{fl}} = 15$ للفولاذ — ٣، و $\frac{h_1}{t_{fl}} = 15\sqrt{\frac{2100}{R}}$ للماركات الاخرى من الفولاذ ، وهذا ما يعطى بالنسبة للمجموعة الرئيسية من الفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة (مع $R = ٢٩٠٠$ كجم/سم²)، النسبة التالية : $\frac{h_1}{t_{fl}} = ١٢{,}٥$.

وفى حالة الاجهاد المنخفض (دون المعدل) للعتبة ، يمكن زيادة القيمة الحدية للنسبة $\frac{h_1}{t_{fl}}$ ، وذلك بضربها فى المقدار $\sqrt{\frac{R}{\sigma}}$ ، ولكن على ان لا يزيد على ٢٥ ٪ .

فقدان استقرار الوترة نتيجة للتأثير الموحد للاجهادات المتعامدة واجهادات القص : وعند انحناء العتبة تظهر فى الوترة حالة اجهاد موحدة ، نتيجة للتأثير الموحد للاجهادات المتعامدة واجهادات القص ، الذى يمكن ان يؤدى الى فقدان الاستقرار الموضعى للوترة .

وكما ذكرنا سابقا يجب مراجعة استقرار الوترة اذا كانت النسبة كما يلى :

$$110\sqrt{\frac{2100}{R}} < \frac{h_w}{t}$$

وفى هذه الحالة يجب ان تثبت الوترة بازواج من اضلاع التقوية الجانبية التى توضع على امتداد الارتفاع باكمله .

وعندما تكون النسبة $\frac{h_w}{t} > 160\sqrt{\frac{2100}{R}}$ ينصح بتقوية وترات العتبة المرتفعة المقطع بضلع مزدوج طولى ، بالاضافة الى اضلاع التقوية الجانبية ، ويوضع ذلك الضلع فى منطقة انضغاط الوترة (راجع البند الحادى والثلاثين ، فيما بعد) .

وتجرى مراجعة استقرار وترة العتبة على امتداد القطاعات (المستطيلات) المتكونة بين شفهات العتبة واضلاع التقوية (شكل ٦ — ٢٥ ، ج) . وبتغيير المسافة الموجودة بين اضلاع التقوية يمكن الحصول على نسبة معينة بين اضلاع او جوانب القطاع ، يكون عندها استقرار وترة العتبة مضمونا .

وبعد تخطيط مواضع اضلاع التقوية باقصى مسافة ممكنة بين ضلع وآخر تجرى مراجعة استقرار الوترة ، فى حالة التأثير الموحد للاجهادات المتعامدة واجهادات القص . وقد اثبتت ابحاث العلماء الثلاثة س . تيموشنكو و ب . بابكوفيتش و ب . براوديه ، بان استقرار الوترة يكون مضمونا عند تحقيق الشرط التالى :

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}\right)^2+\left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2}<1 \qquad (5-63)$$

حيث σ و τ — الاجهادات التصميمية فى وترة العتبة ،

σ_{cr}, τ_{cr} — القيم الحرجة للاجهادات المتعامدة واجهادات القص ، عند تأثيرها بصورة منفردة والتى تساوى ما يلى ، بموجب الصيغتين (61—6) و (57—6) :

$$\sigma_{cr}=k_0\left(\frac{100\,t}{h_w}\right)^2 t/cm^2$$

$$\tau_{cr}=\left(1.25+\frac{0.95}{\mu^2}\right)\left(\frac{100\,t}{d}\right)^2 t/cm^2$$

ان الاجهاد التصميمى σ ، يحسب بالنسبة للمقطع الاجمالى بدون ادخال عامل التحدب φ_b فى صيغة الحساب ، وطبقا للمواصفات القياسية ، يحدد بالاعتماد على القيمة المتوسطة لعزم الانحناء فى حدود القطاع ، اذا لم يزد طوله على ارتفاع مقطع العتبة . اما فى خلاف ذلك فتحسب قيمة σ ، بالاعتماد على القيمة المتوسطة للعزم ، فى القسم الاكثر اجهادا ، الذى طوله يساوى ارتفاع القطاع . وتحسب القيمة المتوسطة لاجهاد القص فى الوترة بواسطة الصيغة التالية :

$$\tau=\frac{Q}{h_w t} \qquad (6-64)$$

حيث Q — القيمة المتوسطة لقوة القص فى حدود القطاع ،

h_w — الارتفاع الكلى للوترة .

وفى الحالة التى يكون فيها موضع تغيير مقطع العتبة واقعا فى حدود القطاع المبحوث تتم مراجعة استقرار الوترة لذلك الموضع ، وفقا للاجهادات المحسوبة بالنسبة للمقطع المختصر .

وعند تسليط الاحمال المركزة فى المواضع غير المدعمة باضلاع تقوية يجب مراجعة استقرار الوترة باستخدام الصيغة (84—6) . وفى هذه الحالة يحدد الاجهاد الموضعى σ_{loc} من الصيغة (13—6) ، مع اخذ الملاحظة الموجودة على الصفحة ١٥٨ فى الاعتبار .

مثال ٦ — ٩ : يطلب مراجعة استقرار وترة العتبة الملحومة المحسوبة فى المثالين (٦ — ٥) و (٦ — ٧) مع حساب ترتيب اضلاع التقوية . هذا مع العلم بان باع العتبة $L=12$ م ، واحمال التصميم الموزعة بانتظام تساوى $q=21{,}13$ طن/م . وان مقطع العتبة (المختصر) المختار يتألف من وترة ابعادها ١٤٦٠ × ١٠ مم ، وشفهات ابعادها او حجمها ٣٠٠ × ٢٠ مم . وفى موضع تغيير مقطع العتبة، يؤثر عزم مقداره $M_1=211{,}3$ طن/م ، وقوة قص تساوى $Q=84{,}5$ طن .

الحل : ١) نتأكد من ضرورة وجود او وضع اضلاع التقوية. والان بما ان النسبة $\frac{h_w}{t}=\frac{146}{1}=146$ هى اكبر من ٧٠ ، اى لا بد من وضع اضلاع تقوية ، وبما ان $\frac{h_w}{t}$ اكبر من ١١٠ ، اذن يجب مراجعة استقرار الوترة ايضا .

٢) نجد قيم الاجهادات المتعامدة واجهادات القص التصميمية فى الوترة σ و τ ، فى موضع تغيير المقطع .

ان اجهاد الانضغاط المتعامد فى الالياف الطرفية للوترة ، بالنسبة لمقطع العتبة المختصر ، تساوى ما يلى :

$$\sigma=\frac{M_1}{W_1}\frac{h_w}{h}=\frac{21130\times 146}{12200\times 150}=1.68\ t/cm^2$$

(تؤخذ قيمة $W_1=12200$ سم^3 ، طبقا لما جاء فى المثال ٦ — ٧) .

وتحدد القيمة المتوسطة لاجهادات القص ، من الصيغة (64—6) كما يلى :

$$\tau=\frac{Q}{h_w t}=\frac{84.5}{146\times 1}=0.58\ t/cm^2$$

٣) نحدد الاجهاد المتعامد الحرج ، ولقيام بذلك يجب ان نحدد سلفا ، العامل γ الذى يميز درجة تثبيت الوترة ، وذلك بواسطة الصيغة (62—6) :

$$\gamma=c\frac{b_{fl}}{h_w}\left(\frac{t_{fl}}{t}\right)^3=\frac{0.8\times 30}{146}\left(\frac{2}{1}\right)^2=1.31$$

ونستخرج من الجدول (٦ — ١٠) قيمة المعامل $k_0=0{,}74$ ، ثم نحدد الاجهاد المتعامد الحرج من الصيغة (61—6) :

$$\sigma_{cr}=k_0\left(\frac{100\,t}{h_w}\right)^2=6.74\left(\frac{100\times 1}{146}\right)^2=3.16\ t/cm^2$$

٤) نعين او نخطط ترتيب اضلاع التقوية باكبر مسافة ممكنة بين ضلع وآخر ، وتساوى : $a=2h=2\times 150=300\ cm$ اى نفرض بان :

$$\mu=\frac{a}{h_w}=\frac{3}{1.46}=2.05$$

٥) نستخرج قيمة اجهاد القص الحرج من الصيغة (57—6) :

$$\tau_{cr}=\left(1.25+\frac{0.95}{\mu^2}\right)\left(\frac{100\,t}{h_w}\right)^2=\left(1.25+\frac{0.95}{2.05^2}\right)\left(\frac{100\times 1}{146}\right)^2=0.695\ t/cm^2$$

٦) والان نستخدم الصيغة (63—6) لمراجعة استقرار الوترة :

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}\right)^2+\left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2}=\sqrt{\left(\frac{1.68}{3.16}\right)^2+\left(\frac{0.58}{0.695}\right)^2}=0.97<1$$

اذن يكون ترتيب اضلاع التقوية على مسافة قدرها ٣ م من بعضها البعض ، كافيا تماما .

٣ — تصميم اضلاع التقوية

فى العتبات الملحومة تصنع اضلاع التقوية من شرائط معدنية عرضها b_{rib} ، ويحدد هذا العرض من الصيغة التجريبية التالية :

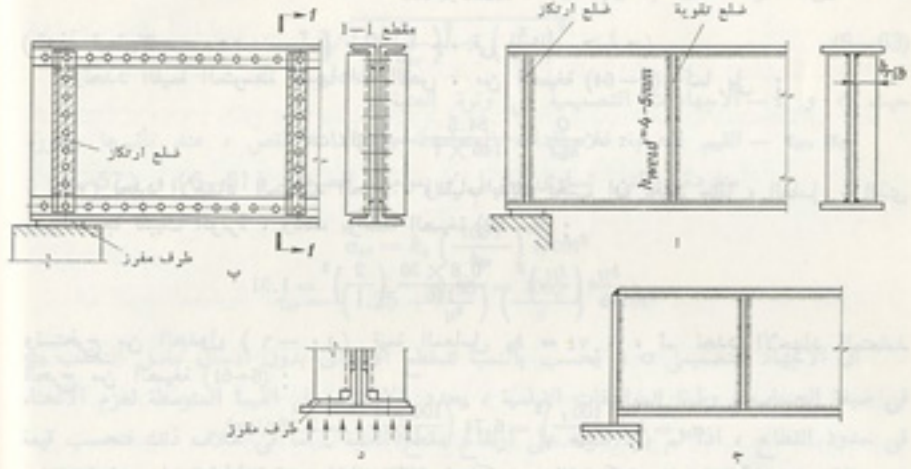
$$b_{rib}\geq\frac{h_w}{30}+40\ mm \qquad (6-65)$$

حيث h_w — ارتفاع الوترة (مم) .

وفى العتبات المبرشمة تصنع اضلاع التقوية من زوايا معدنية بعين عرض شفهاتها البارزة بواسطة نفس الصيغة السابقة (65—6) .

ويؤخذ ثخن الضلع الواحد بحيث لا يقل عن $\frac{1}{15}\,b_{rib}$ وتصمم جميع الاضلاع بطريقة تجعل ترتيبها متماثلا بالنسبة لمحور العتبة ، وتوضع بصورة متقابلة .

ويتم لحام اضلاع التقوية (باستثناء اضلاع الارتكاز) مع وترة العتبة ، بواسطة اللحامات المتواصلة التى يتراوح ثخنها الاصغر بين ٤ — ٥ مم . وتقطع الاضلاع من كلا الطرفين (شكل ٦ — ٢٧ ، أ) ، وتبلغ ابعاد اضلاع القسم المقطوع كما يلى : العرض ٤٠ مم ، والارتفاع ٦٠ مم.



شكل (٦ — ٢٧) تصميم اضلاع التقوية

وفى العتبات المبرشمة تمد الاضلاع المصنوعة من الزوايا المعدنية حول الزوايا المشفهة، حتى تصل الى منحنى اتصال اضلاع او شفهات الزوايا (شكل ٦ — ٢٧ ، ب) . ولاجل ذلك يوضع بين زوايا التقوية (الدعم) وبين وترة العتبة ، لوح حشو ، ثخنه يساوى ثخن الزوايا المشفهة . وتبرشم زوايا التقوية باقل عدد ممكن من البرشام بخطوة تساوى 12d على وجه التقريب .

ويؤثر فى موضع ارتكاز العتبة على المسند رد فعل الارتكاز الموزع على مساحة صغيرة نسبيا من العتبة . ويجرى انتقال رد فعل الارتكاز باعتباره قوة مركزة فعالة عن طريق اضلاع الارتكاز المتصلة مع الشفة السفلى للعتبة ، اتصالا محكما (شكل ٦ — ٢٧ ا و ، ب) ، او عن طريق لوح معدنى ملحوم مع حافة العتبة (شكل ٦ — ٢٧ ، ج) .

وفى هذه الحالة نرى بان السطح الجانبى السفلى البارز للوح (الدعم) التحميل ، يتعرض للتهصر .

وتحدد مساحة مقطع لوح التحميل او اضلاع الارتكاز بواسطة الصيغة التالية :

$$A = \frac{F_{r.s}}{R_{cr.s}} \qquad (6—66)$$

حيث $F_{r.s}$ — رد فعل الارتكاز التصميمى ،

$R_{cr.s}$ — مقاومة الفولاذ التصميمية للتهصر ، فى السطح الجانبى (الطرفى) .

وفى العتبات المبرشمة تستخدم الصيغة (66—6) لتحديد مساحة ذلك الجزء من شفهات (اضلاع) الزوايا البارزة التى يجب ان تربط جيدا مع الشفة ، وذلك لان شفة الزاوية الملاصقة للوترة ، وجزءا من الشفة البارزة ، يقطعان لمتعهما من الوصول الى منحنى اتصال الزاوية المشفهة (شكل ٦ — ٢٧ ، د) .

ويجب ايضا مراجعة موضع اتصال اضلاع الارتكاز مع وترة العتبة ، فيما يتعلق بنقل رد فعل الارتكاز F_r .

وبالاضافة الى ذلك ، يجب مراجعة اضلاع او زوايا الارتكاز فيما يتعلق بالانحناء الجانبى (التحدب) ، فى المستوى العمودى على مستوى العتبة ، باعتبارها اضلاع قائمة ، واقعة تحت تأثير رد فعل الارتكاز . ويدخل ضمن مساحة مقطع مثل هذا الضلع القائم A ، كل من اضلاع التقوية وشرائط الوترة ، الى حد $15t$ من كل جانب من جوانب الوترة ، بحيث ينتج عن ذلك مقطع على شكل صليب . ويؤخذ الطول التصميمى للضلع القائم L_d ، مساويا لارتفاع الوترة . وتجرى المراجعة بواسطة الصيغة التالية :

$$\sigma = \frac{F_r}{\varphi A} \leqslant R \qquad (6—67)$$

وتحسب وصلة تثبيت اضلاع او زوايا الارتكاز (الدعم) مع الوترة تبعا للقص الناجم عن رد فعل الارتكاز F_r .

البند الثلاثون — وصلات (قطع توصيل) العتبات

١ — الوصلات

هناك نوعان من وصلات العتبات وهما : الوصلات المنتجة فى المصنع ، والوصلات المنتجة فى موقع العمل .

الوصلات المنتجة فى المصنع : ان هذه الوصلات المنتجة فى المصنع ، هى عبارة عن قطع توصيل المقاطع أو الالواح المدلفنة المنفردة ، الداخلة فى تركيب المقطع ، الضرورية للحصول على الطول اللازم . ان وصلات المقاطع او الالواح المستقلة ، يمكن ان تنجز فى مواضع مختلفة من طول العتبة ، تبعا لمقتضيات التصميم .

اما الوصلات المنتجة فى موقع العمل ، فهى عبارة عن قطع توصيل الاجزاء المستقلة من القطع الانشائية (القطع المشحونة) ، التى تحتم وجودها ظروف شحن أو نقل القطع الانشائية ، من المصنع الى موقع اقامة الانشاء .

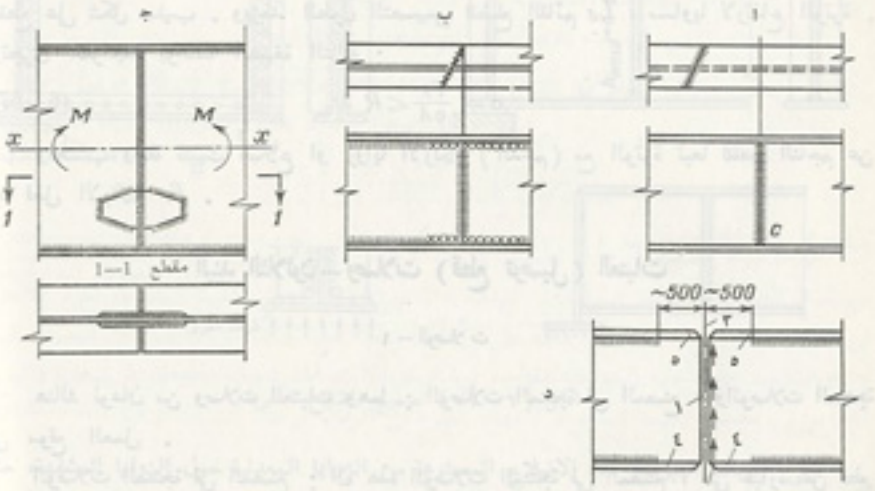
ومن اكثر الوصلات الاخيرة ملائمة ، هى الوصلة التى ترتبط او تلتحم جميع قطعها المدلفنة ، فى مقطع انشائى واحد . وتسمى مثل هذه الوصلة ، بالوصلة الجامعة .

ان طول القطعة المشحونة الواحدة ، عند شحنها على عربة سكة حديد ، مسطحة ذات أربع عجلات ، حمولتها ٢٠ طنا ، لا يجب ان يزيد على ٩,١ م ، اما عند شحنها على عربة مسطحة ذات ثمان عجلات، حمولتها ٥٠ و ٦٠ طنا ، فلا يجب ان يزيد طول القطعة المشحونة على ١٣ م . ويمكن كذلك شحن القطع الانشائية ، على عربتين مسطحتين ، مربوطتين مع بعضهما البعض. وفى هذه الحالة ، يمكن ان يصل طول القطع المشحونة ، الى ١٩ و ٢٧م على التناظر .

ان الوصلات التى تنتج فى موقع العمل ، أغلى بكثير من الوصلات المنتجة فى المصنع ، ولهذا السبب يجب تقليل عددها الى اقل ما يمكن . ويجب ان نحاول جعل معامل استخدام عربات السكك الحديدية، الذى يساوى النسبة بين وزن القطع الانشائية المشحونة وحمولة العربة ، قريبا من الواحد ، قدر الامكان .

أ – تصميم الوصلات الملحومة

يبين الشكل (٦ – ٢٨) وصلات عتبة ملحومة مجمعة . وتظهر فى الشكل (٦ – ٢٨ ، أ) وصلة منتجة فى المصنع ، وفيها قطع الشفهات والوترة متصلة مع بعضها اتصالا متعرجا (staggered)، اما الشكل (٦ – ٢٨ ، ب) فيبين تركيب الوصلة المنتجة فى الموقع . ان الوصلة القائمة للوترة ،



شكل (٦ – ٢٨) وصلات العتبات الملحومة

المستخدمة هنا ، يمكن ان تنجز بواسطة اللحام اليدوى ، وباستخدام الطرق العادية للتحكم فى اللحام فى ذلك المقطع من العتبة ، حيث لا تزيد الاجهادات فى النقطة c من اللحام التناكبى شكل (٦ – ٢٨ ، أ) على قيمة مقاومة اللحام التصميمية للشد . ويمكن عمل الوصلة القائمة للوترة (شكل ٦ – ٢٨ ، أ ، ب) ، فى موضع العزم الاقصى ايضا ، ولكن بشرط استخدام طرق راقية للتحكم فى نوعية اللحام ، او فى بعض الحالات الخاصة ، عند تقوية اكثر الاقسام المجهدة فى الوصلة الملحومة القائمة ، باستخدام شرائط معدنية على شكل معين (شكل ٦ – ٢٨ ، ح) .

وتربط او توصل شفهات العتبات ، بواسطة لحامات متساوية المقاومة (equistrength) ، تكون اما مائلة او قائمة .

ولتتابع خطوات اللحام ، اهمية جوهرية بالنسبة لصنع العتبة . وفى بداية الامر ، يجب تجميع القطع التى تحتوى على لحامات مستعرضة ، ثم تلحم على انفراد (وصلات الواح الشفهات ، وصلات الوترة ، ولحام اصلاح التقوية) ، وذلك لأن اللحامات المستعرضة ، تولد اقصى انكماش ممكن .

وبعد تجميع العتبة ، توضع لحامات الشفهات الطولية . وفى حالة استخدام اللحام الاوتوماتى ، تثبت اضلاع التقوية بعد وضع لحامات الشفهات ، وذلك لأنها تعرقل مرور رأس مكنة اللحام . وفى الشكل (٦ – ٢٨ ، د) تبين الارقام من ١ الى ٥ ، تتابع خطوات لحام الوصلة المنتجة فى الموقع . ففى بداية الامر ، تلحم او تنجز اللحامات المستعرضة ، ولكى نجعل اللحامين رقم ٢ و ٣ يتكمشان بحرية ، الامر الذى يعتمد على امكانية تشوه الواح الشفهات ، يترك قسم ، من لحامات الشفهات ، يبلغ طوله ٥٠٠ مم تقريبا ، من كل جانب ، بدون انجاز . وآخر اللحامات التى تنجز ، هى اللحامات الطولية الواقعة فى القسمين ٤ و ٥ ، التى يكون انكماشها الطولى قليلا .

ب – حساب وتصميم الوصلات الملحومة

ان حساب كل قطعة من قطع مقطع العتبة ، يجرى بصورة مستقلة . وفى هذه الحالة ، يوزع عزم الانحناء بين قطع العتبة ، توزيعا يتناسب مع عزوم قصورها الذاتى . ويمكن ايجاد العزم الذى تتحمله وترة العتبة ، من الصيغة التالية :

$$M_w = M_b \frac{I_w}{I_b} \qquad (6-68)$$

حيث M_b – العزم التصميمى الكلى فى وصلة العتبة ؛

I_w – عزم القصور الذاتى لوترة العتبة ؛

I_b – عزم القصور الكلى للعتبة بأجمعها .

ان قوة القص التصميمية Q ، المؤثرة فى الوصلة ، تنتقل كليا الى الوترة . وتتم مراجعة مقاومة وصلة الوترة ، الملحومة لحاما تناكبيا (شكل ٦ – ٢٨ ، أ) بواسطة صيغ الانحناء العادية . وتحدد القوة المؤثرة فى وصلة الشفة ، بواسطة الصيغة التالية :

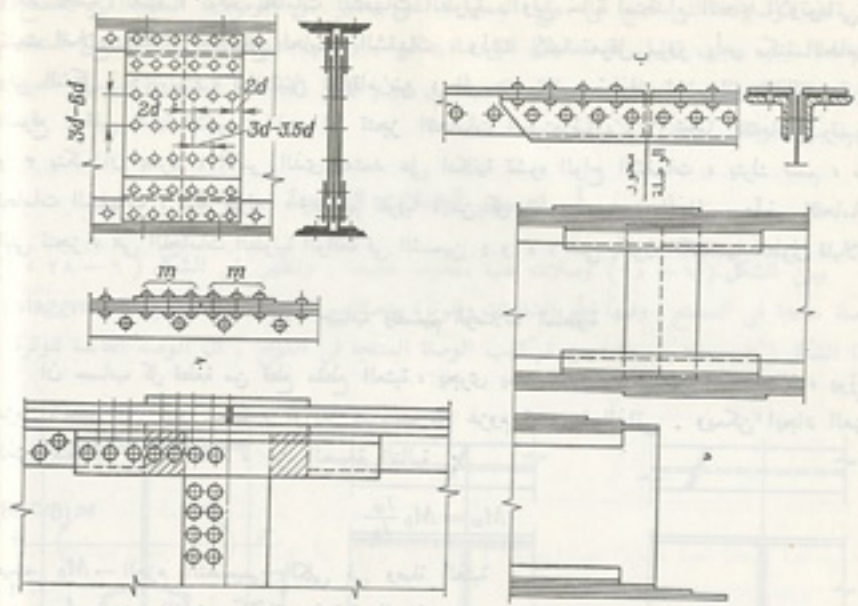
$$F_{fl} = \frac{M_b - M_w}{h} \qquad (6-69)$$

ويجرى حساب وصلة الوترة ، المبينة فى الشكل (٦ – ٢٨ ، ح) مثلما يجرى حساب المقطع المستقل الكامل ، المؤلف من لحام تناكبى وشريطين معدنيين . ان اجهاد الشد التصميمى الاقصى ، فى هذا المقطع ، لا يجب ان يزيد على المقدار R_{wr} .

ح – تصميم الوصلات المبرشمة

يبين الشكل (٦ – ٢٩ ، أ) وصلة منتجة فى المصنع ، لوترة عتبة مبرشمة ، مغطاة بشرائط معدنية على طول ارتفاع الوترة من الجانبين . ويبين الشكل (٦ – ٢٩ ، ب و ح) وصلات منتجة فى المصنع ، للزوايا المشفهة وللواح الشفهات . وتتلخص القاعدة الاساسية لتصميم الوصلة ، فى تغطيتها بشرائط معدنية ، لا تقل مساحة مقطعها عن مساحة مقطع القطع المراد وصلها أو ربطها مع بعض . ويبين الشكل (٦ – ٢٨ ، د) ، احد امثلة الوصلة المنتجة فى الموقع ، لاحدى العتبات . كما يبين الشكل (٦ – ٢٩ ، ه) ، وصلة مدرجة منتجة فى الموقع ، مؤلفة من الواح افقية ، تستخدم لوصل القطع المكونة من الواح متعددة .

وفى الوصلات ، تعين الخطوة الصغرى للبرشام ($3-3.5d$)، بحيث لا تحدث اية زيادة فى وزن القطع المراد وصلها او ربطها . وفى حالة استخدام دليل تشغيل لحفر ثقوب البرشام فى



شكل (٦ – ٢٩) وصلات العتبات المبرشمة

موقع العمل ، يجب ان تؤخذ الخطوة بحيث تكون من اضعاف المقياس المقرر من قبل المصنع (٣٠ ؛ ٤٠ او ٥٠ سم) . ومن المحبذ ان تؤخذ الخطوات القصوى لبرشام الشفهات خارج الوصلة ، من اضعاف مقياس المصنع ايضا .

وفي حالات معينة ، يمكن انجاز وصلات العتبات الملحومة ، المنتجة في الموقع ، باستخدام البرشام او المسامير العالية المقاومة ، مع وضع شرائط معدنية من كلا الجانبين . ويجب ان نتذكر بأن ثقوب البرشام او المسامير ، تعمل على اضعاف مقطع العتبة .

د – حساب وتصميم الوصلات المبرشمة

ان الوصلة المبرشمة لكل قطعة ، تحسب بصورة مستقلة . وعدد البرشام اللازم ، لتغطية وصلة الالواح الافقية والزوايا المشفهة ، يحدد وفقا لمساحة القطعة ، على اعتبار انها ستستخدم كليا لمقاومة الانضغاط او الشد ، اى :

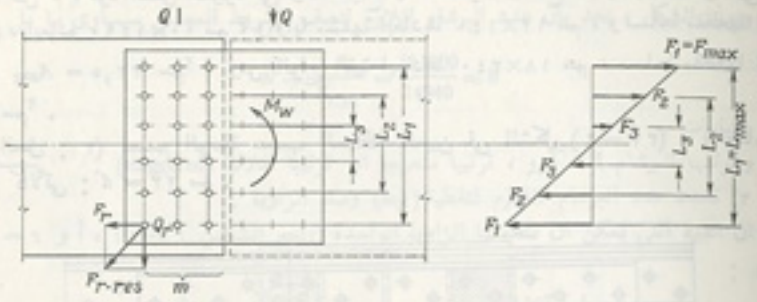
$$N = \frac{F}{F'_r} \qquad (6-70)$$

حيث N – عدد البرشام في نصف الشريط المعدني (من جانب واحد من الوصلة) ؛

F – القوة التصميمية ، المحددة وفقا لمساحة مقطع القطعة .

ويجرى حساب وصلة الوترة المبرشمة ، المعرضة للانحنا" ، على فرض ان العزم الخارجي المؤثر في الوترة ، يتعادل من مجموع ازواج العزوم الداخلية ، المتولدة من القوى المؤثرة عن

امتداد صفوف البرشام الافقية ، الموجودة على نصف الشريط المعدني للوصلة ، مع كون اذرع القوى ، مرتبة ترتيبا متماثلا ، بالنسبة لمحور التعادل (شكل ٦ – ٣٠) :



شكل (٦ – ٣٠) رسم توضيحي لحساب وصلة الوترة في حالة الانحناء

$$M_w = \sum F_i L_i = F_1 L_1 + F_2 L_2 + F_3 L_3 + \dots$$

ولما كان بالامكان التعبير عن كافة القوى F_i ، بواسطة القوة القصوى F_1 ، وهي بالذات :

$F_2 = F_1 \frac{L_2}{L_1}$ و $F_3 = F_1 \frac{L_3}{L_1}$ ، وعلم جرا ؛ اذن نحصل على ما يلي :

$$M_w = \frac{F_1}{L_1}\left(L_1^2 + L_2^2 + L_3^2 + \dots\right)$$

ومن هنا نجد بأن القوة القصوى ، المؤثرة في صف البرشام الطرفي ، المحمل الى اقصى حد ، سوف تساوي ما يلي :

$$F_{max} = \frac{M_w L_{max}}{\sum L_i^2} \qquad (6-71)$$

وفي كل برشامة على انفراد ستؤثر القوة الافقية التالية :

$$F_r = \frac{F_{max}}{m}$$

حيث m – عدد صفوف البرشام الرأسية ، في نصف الشريط المعدني .

وبالاضافة الى العزم ، يمكن ان تؤثر في الوصلة قوة القص Q ، التي نفترض بانها تنتقل بانتظام الى جميع البرشام ، الموجود في نصف الشريط . وفي هذه الحالة ، ستؤثر في كل برشامة طرفية ، قوة راسية قدرها :

$$Q_r = \frac{Q}{N}$$

حيث N – عدد البرشام الموجود في نصف الشريط المعدني .

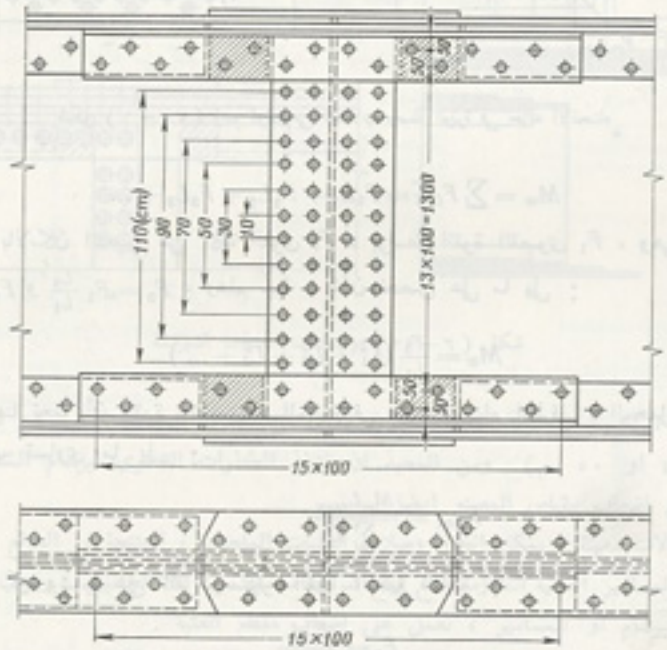
ان القوة المحصلة ، المؤثرة في كل برشامة طرفية واحدة ، تساوي ما يلي :

$$F_{r,res} = \sqrt{F_r^2 + Q_r^2} = \sqrt{\frac{M_w L_{max}}{m \sum L_i^2} + \left(\frac{Q}{N}\right)^2} \leqslant F'_r \qquad (6-72)$$

حيث F'_r – القوة المسموح بتأثيرها في البرشامة الواحدة .

مثال ٦ — ١٠ : يطلب حساب وصلة العتبة المختارة فى المثال (٦ — ٩) ، الواقعة فى وسط الباع . مع العلم بأن معطيات التصميم هى : L = ١٢ م ؛ q = ٢١,١٣ طن/م ؛ M_{max} = = ٣٨٠ طن م ؛ قوة القص المؤثرة فى وسط الباع Q = صفر . ومقطع العتبة يتألف من لوح رأسى (الوترة) ، ابعاده ١٠×١٤٩٠ مم ، وزوايا مشفهة ابعادها ١٢×١٤٠ مم ، ومساحة مقطعها العرضى تساوى A_{ang} = ٣٢,٥ سم^2 ، ومن الواح افقية ابعادها ١٨×٣٤٠ مم ، مساحة مقطعها العرضى ٦١,٢ سم^2 .

الحل : ١) نصمم الوصلة حسب المخطط المبين فى الشكل (٦ — ٣١) ، ونختار قطر البرشام كالآتى : d = ٢٣ مم .



شكل (٦ — ٣١) رسم توضيحى لمثال ٦ — ١٠

ونجد ان اللوح الافقى سيغطى بشريطين معدنيين : يوضع احدهما فى الاعلى والآخر فى الاسفل ، فى الخلوص الموجود بين زوايا الوصلة واللوح الافقى . ونأخذ ثخن كل شريط معدنى ، مساويا لثخن الزوايا المشفهة ؛ اى t = ١٢ مم ، مما يعطى فى المجموع ٢٤ مم . وهذا الثخن اكبر من ثخن اللوح الافقى ، الذى يساوى ١٨ مم .

٢) نحدد عدد البرشام ، اللازم لتغطية وصلة الالواح الافقية .

ان القوة التى يمكن ان يتحملها اللوح الافقى الواحد ، تساوى :

$$F = A_n R = (61.2 - 2 \times 2.3 \times 1.8)\ 2100 = 111000\ kg$$

والقوة المسموح بها ، بالنسبة للبرشامة الواحدة ، تساوى ما يلى : فى حالة التهصر ، بثخن يبلغ ١٨ مم ، عندما تكون الثقوب محفورة :

$$F'_{r.cr} = dlR_{r.cr} = 2.3 \times 1.8 \times 4200 = 17400\ kg$$

وفى حالة القص المزدوج :

$$F'_{r.sh} = n_{sh} \frac{\pi d^2}{4} R_{r.sh} = 2 \times \frac{3.14 \times 2.3^2}{4} \times 1,800 = 14,940\ kg$$

وبهذا الشكل ، نجد بأن عدد البرشام اللازم لنصف الشريط المعدنى سيساوى ما يلى :

$$N = \frac{F}{F'_{r.sh}} = \frac{111000}{14940} \approx 8$$

اى ٨ برشامات .

ونرتب البرشام المذكور ، ترتيبا متعرجا او ترتيبا خلافيا (staggered) .

٣) نحدد عدد البرشام اللازم لتغطية (ربط) وصلة الزاوية .

ان القوة التى يمكن ان تتحملها الزاوية الواحدة (راجع الشكلين ٦ — ١٨ ، أ و ٦ — ١٩) ، تساوى :

$$F = A_n R \frac{2c}{h_b} = (32.5 - 2 \times 2.3 \times 1.2)\ 2,100\ \frac{2 \times 7\ 1.1}{2 \times 76.8} = 52600$$

والقوة التى يمكن ان تتحملها البرشامة الواحدة ، التى يبلغ قطرها ٢٣ مم ، بناء على شرط القص المفرد ، تساوى ما يلى :

$$F'_{r.sh} = \frac{\pi d^2}{4} R_{r.sh} = \frac{3.14 \times 2.3^2}{4} \times 1800 = 7470\ kg$$

وعدد البرشام اللازم لكل زاوية ، يساوى :

$$N = \frac{F}{F'_{r.sh}} = \frac{52600}{7470} = 7.1$$

اذن سوف نستخدم ٨ برشامات ، ونرتبها على الشفتين الافقية والرأسية للزاوية المذكورة (اى على ساقى الزاوية) .

٤) والآن نقوم بحساب البرشام ، الذى يربط الشرائط المعدنية للوصلة مع الوترة . ونأخذ الشرائط المعدنية للوصلة ، بثخن قدره ١٢ مم ، وبخلاف ذلك لا يمكن وضع زاوية الوصلة فى محلها . ونخطط صفين رأسيين من صفوف البرشام ، اى ناخذ m = ٢ (ولا يؤخذ اكثر من صفين من البرشام فى نصف الشريط المعدنى الواحد ، الا فى العتبات الثقيلة جدا) .

ولنفرض بان الترتيب الرأسى لصفوف البرشام مبين فى شكل (٦ — ٣١) .

ويؤثر فى وترة العتبة ، عزم مقداره :

$$M_w = \frac{M_b J_w}{I_b} = \frac{380 \times 276000}{1642000} = 63.8\ t/m$$

والآن نحدد القوة الافقية القصوى ، التى تؤثر فى البرشامة الواقعة فى الصف الطرفى :

$$F_{max} = \frac{M_w L_{max}}{m \sum L_i^2} = \frac{6380000 \times 130}{2 \times 45500} = 9100\ kg$$

حيث :

$$\sum L_i^2 = 10^2 (1^2 + 3^2 + 5^2 + 7^2 + 9^2 + 11^2 + 13^2) = 45500\ cm^2$$

والقوة المسموح بها ، بالنسبة للبرشامة الواحدة (فى حالة التهصر) ، تساوى :

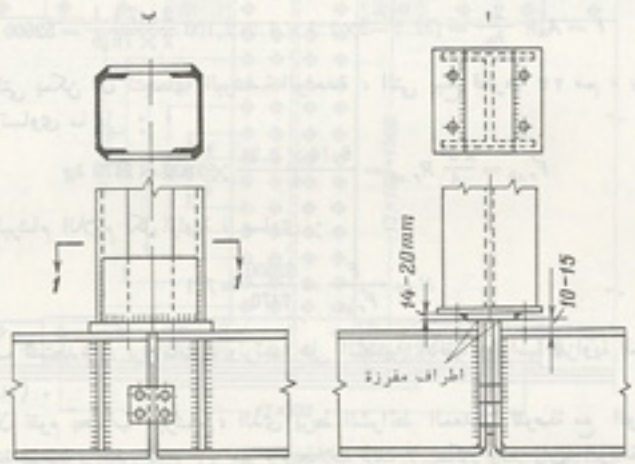
$$F'_{r.cr} = dl\ R_{r.cr} = 2.3 \times 1.2 \times 4200 = 11600\ kg$$

ولما كانت القوة Q = صفر ، اذن $F_{r.cr}$ = ٩١٠٠ كجم ، وهى اصغر من ١١٦٠٠ كجم .

وهكذا يجب ان نأخذ صفين رأسيين من البرشام لكل نصف شريط معدنى .

تقسم قطع توصيل العتبات مع الاعمدة (توصيلات العتبات و الاعمدة) الى نوعين ، تبعا لتصميمها ، وهما : التوصيلات العليا و التوصيلات الجانبية (التوصيلات المفصلية و التوصيلات الجاسئة). و يمكن انجا ، التوصيلات الجانبية ، اما على هيئة وصلات بشفة او على هيئة وصلات بمقعد . ان التوصيلات المفصلية تنقل رد فعل الارتكاز (رد فعل المسند) فقط ، اما التوصيلات الجاسئة فانها تنقل عزم الارتكاز ايضا (العزم عند المسند) ، بالاضافة الى رد فعل الارتكاز .

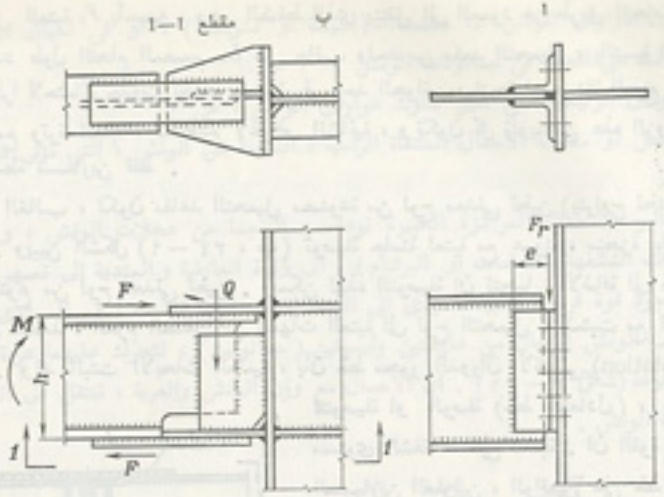
ويبين الشكل (٦ – ٣٢) امثلة للتوصيلات العليا للعتبات مع الاعمدة (اى فى مواضع ارتكاز العتبات على السطوح العليا للاعمدة) . وعادة ينتقل ضغط التحميل (ضغط الارتكاز) الى العمود ،



شكل (٦ – ٣٢) امتداد العتبات عل الاعمدة من الاعل

فى العتبات التى يتراوح طول باعها بين ٢٥ – ٣٠ م، عن طريق لوح تحميل مسطح (flat bearing plate). ويبين الشكل (٦ – ٣٢ ، أ) اضلاع الارتكاز او التحميل (الواح الدعم) ، الموضوعة بصورة رأسية على امتداد حافات العتبة ، و المتدلية الى الاسفل بمقدار يتراوح بين ١٠ – ١٥ مم . ان الاطراف او الحافات المفرزة (المشغلة بالمكنات) لهذه الاضلاع او الالواح ، تؤمن الانتقال المركزى لضغط التحميل . ان الشقة السفلى للعتبة ، لا تتصل بالعمود ، ولكنها تشد فى اتجاهه ، بواسطة المسامير . اما الشكل (٦ – ٣٢ ، ب) ، فيبين عكس ذلك ، حيث تضمن او تؤمن اضلاع التقوية ، انتقال ضغط التحميل الى فروع العمود (المكونة من زوايا على شكل مجرى ⎯) ، عن طريق لوح التحميل . ويحدد ثخن لوح التحميل عادة وفقا للتصميم ، و يتراوح بين ١٦ – ٢٠ مم (الا اذا كان اللوح غير معرض للانحناء) .

و يبين الشكل (٦ – ٣٣ ، أ) توصيلة مفصلية جانبية (بشفة) لعتبة مع عمود منجزة باستخدام المسامير . و المسامير فى هذه التوصيلة ، مصممة لمقاومة القص الناجم عن تأثير رد فعل الارتكاز F_r (عند المسند) ، مزادا بنسبة ٢٠ ٪ .

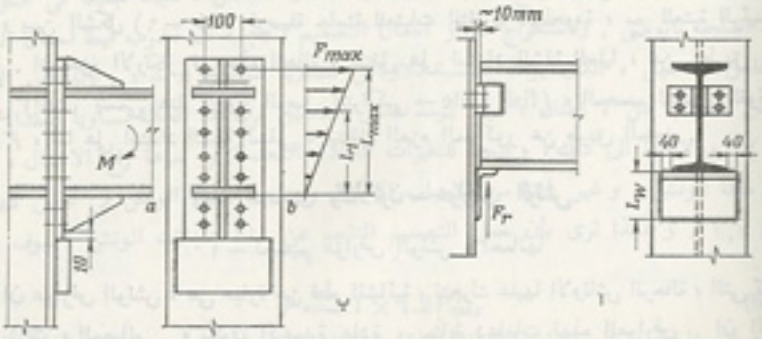


شكل (٦ – ٣٣) اتصال العتبات مع الاعمدة منالجانب

ان مثل هذه التوصيلة (الوصلة) تعتبر مفصلية ، و ذلك نتيجة لا حتمال تحرك الوصلة بأجمعها (انحناء شفهات الزوايا الى الخارج ، لعب الصمولات — play of the nuts ، الخ) . ولانجاز التوصيلة او الوصلة الجاسئة ، يجب وصل شفهات العتبة ، وصلا جيدا وقويا ، مع قطعة (لوح) التحميل . ويبين الشكل (٦ – ٣٣ ، ب) توصيلة جاسئة ، منجزة بتصميم مختلف ، للشفتين العليا و السفلى للعتبة ، و ذلك لغرض التخلص من اللحام العلوى عند تجميع واقامة الانشاء .

و يمكن استخدام التوصيلات (الوصلات) المبينة فى الشكل (٦ – ٣٣) ، فى حالة تأثير الاحمال الاستاتيكية فقط ، وذلك لأنها تحتوى على ثغرات (فتحات) ، يمكن ان تتركز حولها الاجهادات ، التى تشكل خطرا على التوصيلة (الوصلة) عند تأثير الاحمال الدينامية .

ويبين الشكل (٦ – ٣٤ ، أ) ، توصيلة (وصلة) مفصلية جانبية لعتبة مع عمود ، و هى توصيلة ملائمة ومريحة بالنسبة لعملية التجميع او التركيب ، وقد انجزت باستخدام مقعد تحميل من زاوية معدنية مختلفة الساقين ، تم الحصول عليه بقطع جزء من الساق . ان مقعد التحميل هذا ، يتحمل

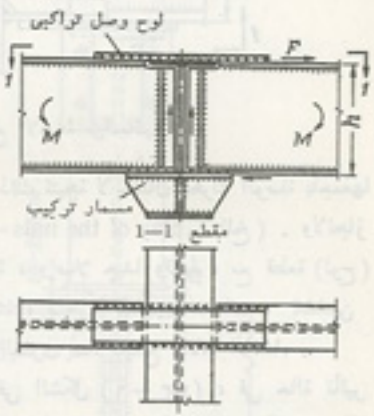


شكل (٦ – ٣٤) اتصال العتبات مع الاعمدة من الجانب ، بواسطة مقعد فولاذى

ضغط تحميل العتبة F_r بأجمعه ، وهو الضغط الذى ينتقل الى العمود عن طريق اللحامات . ولكن ، عادة ، يحدد طول اللحام المصمم L_w على جانب واحد من مقعد التحميل ، بالنسبة لحمل يساوى $\frac{2}{3}F_r$ ، نظرا لاحتمال حدوث تجاوز تحميل فى احد الجوانب، نتيجة لعدم دقة الصنع . ان الزوايا التى تلحم مع وترة العتبة ، تستخدم لأغراض انشائية ، و تكون كل زاوية من هذه الزوايا ، مثبة مع العمود بواسطة مسمارين فقط .

وفى الغالب ، تكون مقاعد التحميل مصنوعة من لوح معدنى ثخين (يتراوح ثخنه بين ٢٥ — ٣٠ مم) . ويبين الشكل (٦ — ٣٤ ، ب) توصيلة جاسئة لعتبة مع عمود ، منجزة باستخدام مقعد تحميل مصنوع من لوح معدنى ثخين . ويمكن لهذه التوصيلة ان تتحمل بالاضافة الى ضغط التحميل المنتقل الى المقعد ، العزم المنتقل من شفهات العتبة الى لوح التحميل ، المثبت مع العمود بواسطة المسامير . و قد اثبتت الابحاث العلمية ، بأن خط محور الدوران الانثنائى (flexible rotation) للتوصيلة او الوصلة (خط التعادل) ، يقع تقريبا فى مستوى الشفة السفلى للعتبة . ان القوة القصوى فى المسمارين العلويين ، الواقعين على خط افقى واحد ، و المعرضين للشد ، تحدد بواسطة الصيغة التالية (شكل ٦ — ٣٤ ، ب) :

$$F_{max} = \frac{ML_{max}}{\sum L_i^2} \qquad (6—71)$$



شكل (٦ — ٣٥) الوصلة الجاسئة للعتبات الملحومة

ان الحافة السفلى للوح التحميل ، المتدلية بمقدار ١٠ مم ، يجب ان تقطع ، كما يجب ان تقطع الحافة العليا لمقعد التحميل ايضا . ولكى نجعل ضغط التحميل ينتقل بصورة تامة الى مقعد التحميل ، يجب تحديد قطر ثقوب المسامير فى لوح التحميل ، بحيث يزيد على قطر المسامير ، بما يتراوح بين ٢ — ٣ مم ، و بذلك تكون قد منعنا المسامير من تحمل قوة القص . واذا اخذنا فى الاعتبار تعرض لوح التحميل الى الانحناء ايضا ، بالاضافة الى تعرضه الى الانضغاط ، وجب علينا ان نجعله ثخينا الى درجة كافية (بثخن يتراوح بين ١٦ — ٢٠ مم تقريبا) .

و يبين الشكل (٦ — ٣٥) توصيلة جاسئة للعتبات الثانوية الملحومة ، مع العتبة الرئيسية او العارضة . ان عزم الارتكاز فى هذه الحالة ، ينتقل على امتداد الشفة العليا ، عن طريق اللوح المعدنى (الذى يسمى هنا : لوح الوصل التراكبى — fish plate) ، المصمم لتحمل القوة الكلية $F = \frac{M}{h}$ ، اما على امتداد الشفة السفلى ، فينتقل العزم المذكور عن طريق المقعد .

البند الحادى والثلاثون — عوارض الونش

١ — تصميم عوارض الونش و احمالها

ان عوارض الونش ، هى عبارة عن قطع انشائية ، تتحرك عليها الاوناش الرحالة ، التى تستخدم فى الورشات و المصانع . و تكون الاعمدة عادة ، بمثابة دعامات لهذه العوارض . ان الاوناش الرحالة ، تتحرك على سكة حديدية موضوعة او مثبتة على الشفة العليا للعارضة .

و تكون عوارض الونش اما مصمتة — (بسيطة او متواصلة) ، او فى احيان قليلة ، تكون تشابكية . كما هى الحالة فى جمالونات الونش .

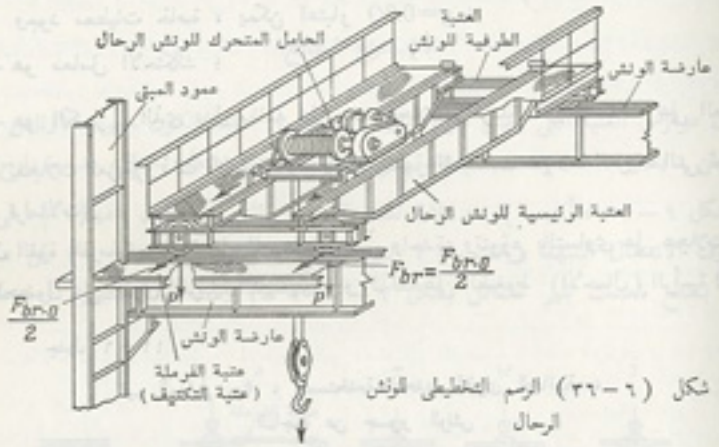
و الخواص الرئيسية التى تميز سلوك عوارض الونش ، هى :

١) تحمل او مقاومة الاحمال المتنقلة الرأسية ، الناجمة عن الونش ، التى تؤثر تأثيرا ديناميا على العارضة .

٢) تأثير الاحمال المركزة الكبيرة نوعا ما ، الناجمة عن عجلات الونش ، و المنتقلة عن طريق الوصلات المشفهة (اللحامات او البرشام) ، الى وترة العارضة و المؤدية الى تصهر .

٣) وجود قوة فرملة جانبية ، تؤدى الى انحناء الشفة العليا للعارضة ، فى المستوى الافقى .

و يتألف الونش الرحال من عارضتين رئيسيتين (جمالونين) ، تتحرك عليهما عربة الونش مع الاحمال المرفوعة (شكل ٦ — ٣٦) . ان الاحمال مع وزن الونش والعربة ، تنتقل الى العوارض عن طريق عجلات الونش .



شكل (٦ — ٣٦) الرسم التخطيطى للونش الرحال

و يمكن ان تكون للحمل (الضغط) الناجم عن عجلات الونش ، قيمة قصوى او صغرى ، و ذلك تبعا للموضع الذى توجد فيه عربة الونش . ان احمال (ضغوط) التشغيل القصوى ، لعجلات الونش ، بالاضافة الى ترتيب وضع العجلات بالنسبة لبعضها البعض ، مبينة جميعا فى المواصفات القياسية الملحقة بالونش . ولاستخراج مقدار احمال التصميم ، يجب ان تضرب قيمة احمال التشغيل فى عامل التحميل ، الذى يؤخذ بالنسبة للاوناش مساويا للمقدار $n = 1{,}2$ (باستثناء الاوناش التى تقل حمولتها عن ٥ اطنان ، حيث يؤخذ عامل التحميل فى هذه الحالة مساويا للمقدار $n = 1{,}3$) . وبالاضافة الى ذلك ، و نتيجة للتغيرات الحادة المحتملة فى سرعة رفع الاحمال ، و عدم استقامة سكة الونش ، و غير ذلك من الاسباب الاخرى ، يضرب حمل الونش فى عامل دينامى ، يساوى ١,١ . و هكذا نرى بأن حمل التصميم الناجم عن ضغط عجلات الونش ، سوف يساوى مايلى :

$$P = 1.1 \times 1.2 P_{max} \qquad (6—73)$$

و بالنسبة لطبيعة العمل او الاشتغال ، توجد اوناش ذات ظروف اشتغال سهلة او متوسطة او صعبة او صعبة جدا ومتواصلة . ومن الاوناش ذات ظروف الاشتغال السهلة ، الاوناش النادرة

الاستعمال ، مثلا عند تجميع و تركيب المعدات . ومن الاوناش ذات ظروف الاشتغال المتوسطة ، وهى على سبيل المثال ، الاوناش المستخدمة فى ورشات الاعمال الميكانيكية و التجميع ، التى تتراوح دورة تشغيلها النسبية (duty cycle) بين ١٥ — ٤٠ ٪ . و تتميز الاوناش ذات ظروف التشغيل الصعبة و الصعبة جدا ، و الصعبة جدا المتواصلة ، بدورة تشغيل نسبية تتراوح بين ٤٠ — ٦٠ ٪ ، وتصل حتى الى ٨٠ ٪ ، عند وجود عامل انتفاع كبير لكل من الحمولة والوقت .

وتظهر فى حالة الاوناش الرحالة ، قوى فرملية افقية جانبية نظرا لفرملة عربة الونش . و نتيجة لذلك ، تنتقل القوة الفرملية الجانبية $F_{br.s}$ ، الى جسر الونش ، و تحدد هذه القوة من الصيغة التالية :

$$F_{br.s} = \frac{1}{10}(Q+g)\frac{2}{4} = \frac{Q+g}{20} \qquad (6-74)$$

حيث Q — حمولة الونش ، بالاطنان ؛

g — وزن عربة الونش ، بالاطنان ، ويؤخذ طبقا للمواصفات القياسية الملحقة بالونش ، وعند عدم وجود معطيات خاصة ، يمكن اعتبار $g=0.3Q$ ؛

$\frac{1}{10}$ — هو معامل الاحتكاك ؛

$\frac{2}{4}$ — هو الكسر ، الذى يدل مقامه على عدد عجلات الفرملة ، ويدل مقامه على العدد الكلى لعجلات العربة (و ذلك لأن قوة الاحتكاك ، تظهر فقط تحت عجلات العربة ، التى تحتوى على فرامالات).

ان القوة الفرملية $F_{br.s}$ تنتقل الى عارضة ونش واحدة، وتتوزع بالتساوى على عجلات الونش. ويمكن الحصول على القوى الفرملية التصميمية ، و كذلك على الضغوط (الاحمال) الرأسية للعجلات ،

جدول ٦ — ١١

قيم المعامل k_{br} ، المستخدمة لتحديد القوى الجانبية ، الناجمة عن جسور الونش

نوع الاوناش	قيم المعامل k_{br} المستخدمة فى حساب :		
	الشفة العليا لعوارض الونش ، والقطع المستخدمة فى الفرامالات	وصلات تثبيت القطع المستخدمة فى الفرامالات ، مع عوارض الونش والاعمدة	
اوناش ذات حمال رفع قابلة للانتقاء ، حمولتها :			
من ٥ الى ١٠ طن	٢,٥		٥
من ١٥ الى ٢٠ طن	٢		٤
من ٣٠ الى ١٥٠ طن	١,٥		٣
من ١٧٥ الى ٢٧٥ طن	١,٣		٢,٦
من ٣٠٠ الى ٣٥٠ طن	١,١		٢,٢
اوناش ذات حمال رفع جانبة	١,٥		٣

بضربها فى نفس عوامل التحميل . وفى المبانى او المنشآت ذات ظروف التشغيل الصعبة (راجع الصفحة ٣٣٩) ، يجب طبقا للمواصفات القياسية، زيادة القوى الفرملية الافقية، بضربها فى المعامل k_{br} (جدول ٦ — ١١) ، الذى يأخذ فى الاعتبار اختلاف المحاذاة و الصدمات المحتملة ، و غيرها من القوى الجانبية ، المنتقلة الى الشفة العليا للعارضة .

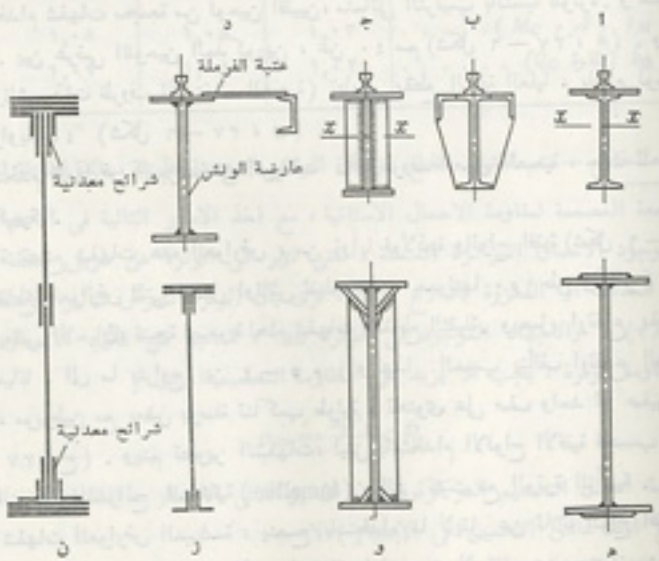
وينصح كذلك بحساب وصلات تثبيت القطع المستخدمة فى الفرملة و عوارض الونش و الاعمدة فى الاوناش ذات ظروف الاشتغال الصعبة و المتوسطة ، بالنسبة لتأثير القوى الجانبية ، التى تم الحصول عليها ، بضرب القوى الفرملية الافقية ، فى المعامل $\frac{k_{br}}{2}$.

و عند تصميم عوارض الاوناش ذات ظروف الاشتغال الصعبة ، و الصعبة جدا و المتواصلة ، يؤخذ فى الاعتبار عامل الخدمة الذى يساوى $k_3 = 0,9$.

٢ — عوارض الونش المصمتة

أ) انواع المقاطع

ان عوارض العتبة التى يصل طول باعها الى ٦ م ، عندما تكون حمولة الاوناش قليلة (من ٣ — ٥ طن ، بصورة شاملة) ، تصمم عادة من عتبة مدلفنة على شكل — I ، مدعمة بلوح او زوايا معدنية (شكل ٦ — ٣٧ ، أ و ب) . وعادة تصنع العوارض التى يبلغ طول باعها ٦ م ، فى الاوناش ذات ظروف الاشتغال السهلة و المتوسطة ، التى تتراوح حمولتها من ٥ الى ٣٠ طن ، على هيئة مجمعة ، بمقطع مصمت غير متماثل (شكل ٦ — ٣٧ ، ح) وشفة عليا متطورة ، لتحمل القوى



شكل (٦ — ٣٧) انواع عتبات الونش المصمتة

الفرسلية الجانبية . وفى الحالات الاخرى ، لغرض تحمل القوى الفرسلية الجانبية ، تجهز قطع فرسلة افقية — عتبات او جمالونات (شكل ٦ — ٣٧ ، ه) .

ان عوارض الونش المستخدمة فى المحلات المكشوفة ، او فى الورشات غير المدفأة ، عند درجات الحرارة المنخفضة ، وكذلك العوارض المستخدمة فى ظروف اشتغال صعبة ، تحت الاوناش ذات ظروف الاشتغال الصعبة ، يجب ان تصنع من الفولاذ المخمد (killed steel) ماركة BCr.3، او من الفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة .

وفى صناعة عوارض الاوناش ، التى تحمل الاوناش ذات ظروف الاشتغال المتوسطة والسهلة ، يمكن استخدام الفولاذ نصف المخمد ماركة BCr.3mc .

ويجب تجميع العوارض الملحومة التى مقطعها على شكل - I ، من ثلاثة الواح ، مع محاولة الاقتصاد فى توزيع المادة بين شفتى العارضة ووترتها (عامل توزيع المادة $k_{td} = 0{,}5$ ، عند الارتفاع الافضل العتبة . البند الثامن والعشرون ، الفقرة 1) ، مع مراعاة النسبة بين ثخن الشفة وثخن الوترة $\frac{t_{fl}}{t_w}$ ، وجعلها لا تزيد على ٢,٥ الى ٣ . وبالاضافة الى ذلك ، ينصح بتحديد ثخن الشفهات ، لتأمين الاستفادة التامة من المقاومات التصميمية (٤٠ مم للفولاذ — ٣ ، ٣٢ مم لبعض ماركات الفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة ، راجع البند الثالث عشر ، الفقرة 1) . ويجب ان يتراوح عرض الشفة ، كما ذكرنا سابقا ، فى حدود المقدار

$$b \leqslant 30 t_{fl} \sqrt{\frac{2100}{R}}$$

ولكن بالنسبة للعوارض الطويلة الباع التى تحمل الاوناش الثقيلة ، لا ينصح باستخدام الالواح ذات الشفهات ، التى يزيد عرضها على ما يتراوح بين ٠,٨ — ١م٠ وفى هذه الحالات ، يمكن السماح باستخدام شفهات مجمعة من لوحين اقيين، متماثلى الترتيب بالنسبة للوترة. وهنا يجب ان لا يقل الفرق . بين عرضى اللوحين المذكورين ، عن ٤٠ مم (شكل ٦ — ٣٧ ، ه) . ويمكن كذلك (بالنسبة للاوناش ذات ظروف الاشتغال الصعبة) تطوير مقطع الشفة العليا ، بلحام لوحين مائلين ، موضوعين بزاوية ٤٥° (شكل ٦ — ٣٧ ، و) .

وتستخدم العوارض المبرشمة فى الورشات ذات ظروف العمل الصعبة ، حيث تتعرض للتأثيرات الدينامية الكبيرة .

وعادة تصنع شفهات هذه العوارض ، من زوايا فولاذية والواح افقية (شكل ٦ — ٣٧ ، ز) .

ان مقاطع العوارض التى تحمل اوناش ثقيلة (تبلغ حمولتها ١٥٠ طن واكثر) ، تكون ايضا مبرشمة فى بعض الاحيان، نتيجة لصعوبة لحام شفهات المقاطع الثقيلة. ويصل ارتفاع مقطع مثل هذه العوارض احيانا ، الى ما يتراوح بين ٤ — ٥ م ؛ ولهذا السبب يتألف ارتفاع الوترة الرأسية ، من لوحين ، مربوطين مع بعض بوصلة تناكب طولية ، تحتوى على صف واحد او صفين من البرشام (شكل ٦ — ٣٧ ، ح) . ويتم تطوير الشفهات، ليس باستخدام الالواح الافقية فحسب ، بل وكذلك باستخدام ما يسمى بالشرائح المعدنية (lamellae) ، التى تثبت مع الوترة الرأسية .

وفى شفهات العوارض المبرشمة ، ينصح باستخدام ما لايقل عن ثلاثة الواح افقية . وفى هذه الحالة ، كما ذكرنا سابقا ، تؤخذ مساحة الزوايا بحيث لا تقل عن ٣٠٪ من مساحة الشفة الاجمالية .

خصائص حساب عوارض الونش المصمتة ؛ تحديد القوى التصميمية.

ان حساب و تصميم عوارض الونش المصمتة ، يجرى مثل حساب العتبات او العوارض المصمتة ، التى تحمل احمالا استاتية ، ولكن مع اخذ عدد من الخصائص فى الاعتبار .

و يمكن تحديد العزوم التصميمية وقوى القص الناجمة عن احمال الونش ، اما باستخدام خطوط التأثير (influence lines) العائدة لونشين مزدوجين ، او بواسطة الرسم البيانى للعزوم وقوى القص ، لاكثر ترتيب غير ملائم للاحمال . ولتحديد عزم الانحناء الاقصى ، يجب ترتيب الاحمال بشكل يجعل منتصف العارضة يقع على مسافات متساوية من محصلة جميع الاحمال ومن اقرب حمل اليها ، يقع تحته تأثير العزم الاقصى .

ولتحديد قوة القص القصوى (رد فعل الارتكاز) ، يجب وضع احد الاحمال فوق المسند ، ووضع الاحمال الاخرى بالقرب منه ، حسب المستطاع . ان وضعية الاوناش ، عند تحديد الاجهادات الناجمة عن تأثير القوى الرأسية والافقية يجب ان تكون متماثلة .

ان تأثير الوزن الذاتى لعارضة الونش و الاحمال المتنقلة على عتبة الفرسلة ، يؤخذ فى الاعتبار ، بزيادة قيم عزوم الانحناء وقوى القص الناجمة عن الاوناش (M_c و Q_c)، و ذلك بضربها فى العاملين k_M و k_Q ، المدرجين فى الجدول (٦ — ١٢) .

جدول ٦ — ١٢

قيم العاملين k_M و k_Q

العامل	طول باع العارضة بالامتار		
	٦	١٢	١٨ واكثر
k_M (للعزم M_c)	١,٠٣	١,٠٥	١,٠٨
k_Q (للقوة Q_c)	١,٠٢	١,٠٤	١,٠٧

اختيار المقاطع — يتم اختيار مقاطع عوارض الونش المصمتة بطريقة مماثلة لطريقة اختيار مقاطع العتبات المجمعة المصممة لمقاومة الاحمال الاستاتية ، مع اخذ الامور التالية فى الاعتبار :

نظرا لوجود الاحمال المركزة المتنقلة ، التى تؤثر فى الوترة عن طريق الشفة العليا ، فى المواضع غير المدعمة او المعززة باضلاع تقوية ، نرى بأن الوترة تتعرض لتأثير الاحمال الموضعية (شكل ٦ — ٣٨) . والاجهاد الموجود فى الوترة σ_{loc} ، الناجم عن تأثير الاحمال الموضعية ، عند مراجعة مقاومة الوترة ، يجب الا يزيد على المقاومة التصميمية ، اى :

$$\sigma_{loc} = \frac{n_3 P_1}{t_2} \leqslant R \qquad (6—75)$$

حيث P_1 — قيمة احمال التصميم المركزة (بدون ان يؤخذ فى الاعتبار ، العامل الدينامى ، ولكن مع اخذ عامل التحميل فى الاعتبار) ؛

n_3 — معامل ، تؤخذ قيمته بالنسبة لعوارض الونش فى المبانى و المنشآت ذات ظروف الاشتغال الصعبة ، مساوية للمقدار ١,٥ عند وجود اوناش ذات احمال رفع جاسئة ؛ ومساوية

د ١,٣ عند وجود اوتاش ذات حبال رفع قابلة للانثناء ؛ ومساوية لـ ١,١ بالنسبة لعوارض الونش الاخرى ؛

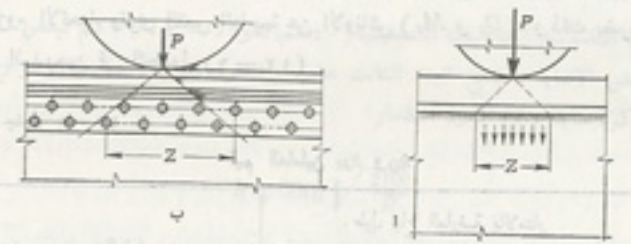
t — ثخن الوترة ؛

z — الطول الاصطلاحي لتوزيع ضغط الاحمال المركزة (شكل ٦ — ٣٨) ، الذى يحدد من الصيغة التالية :

$$z = c_1 \sqrt[3]{\frac{I_{II}}{t}} \qquad (6—76)$$

حيث c_1 — عامل تؤخذ قيمته بالنسبة للعوارض الملحومة والمدلفنة ، مساوية للمقدار ٣,٢٥ ، وبالنسبة للعوارض المبرشمة ، تؤخذ مساوية للمقدار ٣,٧٥ .

I_{II} — مجموع عزوم القصور الذاتي لشقة العارضة وسكة الونش ، وهي العزوم المأخوذة حول المحاور الذاتية ؛ وعند لحام السكة مع الشقة بلحامات تضمن العمل الموحد او المشترك للسكة والعارضة ، تكون I_{II} بمثابة عزم القصور الكلي للسكة والشقة .



شكل (٦ — ٣٨) توزيع الضغط (الحمل) المركز على الوترة ووصلات الشفهات

ويجب ان يؤخذ في الاعتبار ، الاجهاد الناجم عن تأثير الحمل الموضعي σ_{loc} ، عند تحديد ثخن وترة عارضة الونش ، الى جانب شرط تأمين مقاومة الوترة للنض .

واذا اخذنا في الاعتبار الصيغتين (75—6) و (76—6) ، وفرضنا في التقريب الاولى ، بأن المقدار I_{II} يساوى عزم القصور الذاتي لسكة الونش فقط (سم^4) ، سنحصل في هذه الحالة على صيغة حساب الثخن الاصغر لوترة عارضة الونش ، اى نحصل على الصيغة التالية :

$$t_{min} = \frac{n_3 P_g}{3.25\,R} \sqrt{\frac{n_3 P_g}{3.25 R I_{II}}}\ cm \qquad (6—77)$$

حيث $P'_n = P_1$ تمثل حمل التصميم لعجلة الونش (بالاطنان) ، الذى يساوى حاصل ضرب حمل الاستخدام الخاص بالعجلة ، في عامل التحميل $n = 1,2$.

و يحدد معامل المقطع المطلوب (W_{gr} للعتبات الملحومة و W_n للعتبات المبرشمة) ، على اساس المقاومة التصميمية ، المختصرة القيمة بما يتراوح بين ١٥٠ — ٢٥٠ كجم/سم^2 . ويجرى ذلك ، لأنه في الشقة العليا للعارضة ، التي تكون في نفس الوقت معرضة لتأثير القوى الفرملية الافقية ، تنشأ اجهادات اضافية ناجمة عن هذه القوى .

وبعد تعيين ابعاد مقطع عارضة الونش وعتبة الفرملة ، يجرى تحديد صفاته او خواصه الهندسية ، بالنسبة للمحورين الافقي والرأسي (و يقصد بالخواص الهندسية هنا ، عزوم القصور ، ومعاملات المقطع وغيرها) . وبعد ذلك تتم مراجعة مقاومة العارضة .

و تتم مراجعة مقاومة عارضة الونش (عند وجود عتبة فرملة مصمتة) ، بواسطة الصيغ التالية :

للالياف العليا من العارضة

$$\sigma = \frac{M}{W_{n.t}} + \frac{M_{br}}{W_{br}} \leqslant R \qquad (6—78)$$

وللألياف السفلى من العارضة

$$\sigma = \frac{M}{W_{n.b}} \leqslant R \qquad (6—79)$$

حيث M — العزم التصميمي الناجم عن الحمل الرأسي للونش ؛

M_{br} — العزم التصميمي الناجم عن تأثير القوى الفرملية الجانبية الافقية ؛

$W_{n.t}$ — معامل المقطع الصافي للالياف العليا من العارضة (في العتبات الملحومة ، توجد ايضا ثقوب في الشفة العليا ، وهي ضرورية للمسامير ، التي تربط سكة الونش مع العتبة باستخدام مخالب) ؛

$W_{n.b}$ — معامل المقطع الصافي للالياف السفلى من العارضة (للعتبات الملحومة يؤخذ W_{gr}) ؛

W_{br} — معامل المقطع بالنسبة للمحور $y—y$ ، لعتبة الفرملة ، التي تتألف من الشفة العليا لعارضة الونش ، ومن اللوح الافقي وشفة التخفيف الطرفية (شكل ٦ — ٣٧ ، ه) ، اما عند عدم وجود عتبة الفرملة ، فان W_{br} يعتبر معامل مقطع الشفة العليا للعتبة فقط .

و تتم مراجعة مقاومة عارضة الونش المصمتة (عند وجود قطع فرملة على هيئة جمالون) ، كالآتي :

للألياف العليا للعارضة ، بواسطة الصيغة التالية :

$$\sigma = \frac{M}{W_{n.t}} + \frac{F_{br}}{\varphi A_{n.gr}} + \frac{M_{br.loc}}{W_{II}} \leqslant R \qquad (6—80)$$

و للألياف السفلى للعارضة ، بواسطة الصيغة (79—6) .

حيث $F_{br} = \frac{M_{br}}{h_{br}}$ هي القوة التصميمية الطولية في الشفة العليا للعارضة التي مساحة مقطعها تساوى $A_{n.gr}$ ، كما في شفة الجمالون الافقي (الذى ارتفاعه يساوى h_{br}) ، وهي القوة الناجمة عن القوى الفرملية الجانبية ؛

φ — عامل التحدب في المستوى الافقي ، لطول قطاع قدره d ؛

$M_{br.loc} = \frac{F_{br}d}{5}$ — العزم الموضعي في الشفة العليا للعارضة في المستوى الافقي ، وهو العزم الناجم عن القوة الفرملية الجانبية F_{br} ؛

W_{II} — معامل المقطع للشفة العليا لعارضة الونش ، بالنسبة لمحورها الرأسي .

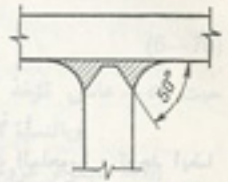
تتم مراجعة الاستقرار العام لعوارض الونش ، المحتوية على شفة عليا مدعمة (بدون عتبة الفرملة) ، بواسطة الصيغة (14—6) ، وهي :

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_b W_{gr}} \leqslant R$$

وعند تحديد قيمة عامل التحدب φ_b ، يؤخذ العرض b ، مساويا لعرض الشفة العليا المعززة .

ويجب حساب اطاقة او احتمال عوارض الونش ، بالنسبة لتأثير احمال التشغيل التابعة للونش الاكثر حمولة من بين الاوناش ، التي تشتغل على امتداد باع العارضة ، بدون اخذ العامل الديناميكي في الاعتبار .

ويمكن عدم حساب اطالة او احتمال عوارض الوتش البسيطة ، ذات المقطع المصمت ، المصممة من الفولاذ ماركة BCr.3 (الملحومة) ، ومن الفولاذ ماركة BCr.3nc (المبرشمة) ، او المصممة من الفولاذ السبائكي المنخفض الاشابة ، على شرط ان تكون لحامات الشفهات تامة الاختراق (شكل ٦ – ٣٩) ، او منجزة بواسطة اللحام الاوتوماتي .



شكل (٦ – ٣٩) لحام الشفهات العلوية لعتبة الوتش ، بالمرور الاختراقي على امتداد ثخن الوترة

مراجعات اضافية لعارضة الوتش — بعد القيام باختيار المقطع ومراجعة مقاومته ، يجب اجراء الحسابات التالية :

١) مراجعة انحناء (انحراف) العارضة .

٢) مراجعة مقاومة الوترة عند تعرضها للتهصر الموضعي ، الناجم عن ثقل عجلات الوتش باستخدام الصيغة (75—6) .

٣) حساب لحامات او براشم الشفهات ، التي تربط شفهات العارضة مع الوترة .

٤) مراجعة الاستقرار الموضعي لوترة العارضة ، وفقا للترتيب المقرر لاضلاع التقوية .

ويمكن تحديد انحناء (انحراف) العارضة ، من الصيغة التالية :

$$\sigma = \frac{M_s L^2}{10\,EI} \qquad (6-81)$$

حيث M_s — العزم الناجم عن احمال التشغيل الرأسية (بدون اخذ عامل التحميل والعامل الديناميكي في الاعتبار) .

ولا يجب ان تزيد قيمة هذا الانحناء (الانحراف) ، عن القيمة المسموح بها (راجع الجدول ٣ من الملحق الاول في آخر الكتاب) .

ان لحامات او براشم الشفهات ، التي تربط الشفة العليا للعارضة مع الوترة ، تحسب ليس تبعا لتأثير اجهادات القص الافقية الاتجاه الناجمة عن الانحناء فقط بل وكذلك تبعا لتأثير الاجهادات الموضعية الرأسية الاتجاه σ_{loc} (راجع الصيغة 75—6) ، الناجمة عن ثقل (حمل) العجلات المركز . وفي هذه الحالة ، يفترض بأن تأثير الحمل المركز P ، في العوارض الملحومة ، ينحصر في اللحامات ، ضمن قطاع طوله z (شكل ٦ – ٣٨ ، أ) ، يحدد من الصيغة (76—6) .

ان محصلة اجهادات القص والاجهادات الموضعية ، المحددة اصطلاحيا بالجمع الهندسي ، لا يجب ان تزيد على مقاومة القص التصميمية للحامات الزاوية ، اي :

$$\tau = \sqrt{\tau_h^2 + \sigma_{loc}^2} = \frac{1}{2\,k_w h_w}\sqrt{\left(\frac{QS_{fl}}{I_{gr}}\right)^2 + \left(\frac{n_1 P_1}{z}\right)^2} \leqslant R_{w.l}$$

ومنها ينتج مايلي :

$$h_w \geqslant \frac{1}{2k_w R_{w.l}}\sqrt{\left(\frac{QS_{fl}}{I_{gr}}\right)^2 + \left(\frac{n_1 P_1}{z}\right)^2} \qquad (6-82)$$

ولاستخراج قيم العامل k_w ، راجع الصفحة (٩٥) وقيم العامل n_1 ، راجع الصفحة (١٩٣) .

وفي عوارض الوتش ، يجب انجاز اللحامات ، التي تربط الشفة العليا مع الوترة ، بحيث يكون لها اختراق على مدى ثخن الوترة بأكمله . ولتأمين مثل هذا الاختراق ، يجرى تشكيل

حافة وترة العتبة ، على هيئة K ، وذلك عندما يبلغ ثخن الوترة ١٠ مم واكثر (شكل ٦ – ٣٩) ؛ اما في حالة اللحام الاوتوماتي ، فيجرى تشكيل الحافة هذه، عندما يبلغ ثخن الوترة ١٤ مم واكثر . وعند اللحام الذي يكون له اختراق على مدى ثخن الوترة بأكمله ، تسمح المواصفات القياسية باعتبار مقاومة اللحام مساوية لمقاومة الوترة .

وبالنسبة لعوارض الوتش المبرشمة ، ينصح بقطع الحافة العليا للوترة ، مع الحافات الخلفية للزوايا المشفهة ، وللقيام بذلك يدنى اللوح الى الاسفل مسبقا ، بحيث يبرز عن حافات الزوايا بمقدار ٥ مم . وفي هذه الحالة ، يفترض بأن جزءا من الاحمال المركزة (٦٠٪) ينتقل مباشرة الى الوترة، وينتقل الجزء الآخر (٤٠٪) ، الى زوايا الشفة ، المثبتة او المربوطة مع الوترة بواسطة البرشام.

وعند حساب برشام الشفهات العليا ، يفترض بأن الاحمال المركزة P ، تكون موزعة بانتظام على البرشام، الموجود على القطاع الذي طوله z (شكل ٦ – ٣٨، ب) ، وهو الطول المحدد من الصيغة (76—6) .

وتحدد خطوة برشام الشفهات في هذه الحالة بواسطة الصيغة التالية :

$$a \leqslant \frac{F'_r}{\sqrt{\left(\frac{QS_{fl}}{I_{gr}}\right)^2 + \left(\frac{\alpha\, n_1 P_1}{z}\right)^2}} \qquad (6-83)$$

حيث $\alpha = 0{,}4$ ، عندما تكون الحافة العليا للوترة ، مفرزة او مقطوعة على استواء الحافات الخلفية للزوايا ؛

$\alpha = 1$ عندما تكون الوترة غير مفرزة (مقطوعة) ؛

F'_r — القوة التصميمية القصوى المسموح بها للبرشامة الواحدة ، في حالة التهصر او القص المزدوج .

وتجرى مراجعة الاستقرار الموضعي لوترة عوارض الوتش، اذا كان لدينا $\frac{h_w}{t} > 80\sqrt{\frac{2100}{R}}$ (راجع الصفحة) . ولتأمين استقرار الوترة ، توضع ازواج من اضلاع التقوية الرئيسية ، بحيث لا تزيد المسافة بين زوج وآخر ، كما ذكرنا سابقا ، على المقدار $2h$ عندما تكون النسبة $\frac{h}{t}$ اكبر من ١٠٠ ، وعلى المقدار $2.5h$ ، عندما تكون النسبة $\frac{h}{t}$ اصغر من ١٠٠ او مساوية للمئة .

وبعد تخطيط ترتيب او وضع اضلاع التقوية ، تحدد ابعاد القطاعات التي تمت مراجعتها . ثم يراجع استقرار الوترة ، بالنسبة للتأثير الموحد للاجهادات المتعامدة والموضعية واجهادات القص σ ، σ_{loc} و τ . وعند تثبيت او ربط الوترة ، باضلاع تقوية جانبية فقط ، وعند $\frac{a}{h_w} \leqslant 0.8$ (a هي المسافة بين اضلاع التقوية ؛ h_w الارتفاع المصمم للوترة) ، تجرى مراجعة الاستقرار بواسطة الصيغة التالية :

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc.cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leqslant 0.9 \qquad (6-84)$$

وهنا تحدد قيم الاجهادات المتعامدة واجهادات القص σ و τ ، بنفس الطريقة ، كما في الصيغة (63—6) . وتؤخذ قيم الاجهادات الحرجة σ_{cr} و τ_{cr} ، وفقا لمعطيات الصيغتين (61—6) و (57—6) . ويحدد الاجهاد الموضعي σ_{loc} ، من الصيغة (75—6) ، ولكن العامل n_1 يكون متساويا بالنسبة لجميع انواع عوارض الوتش ، ومقداره ١,١ .

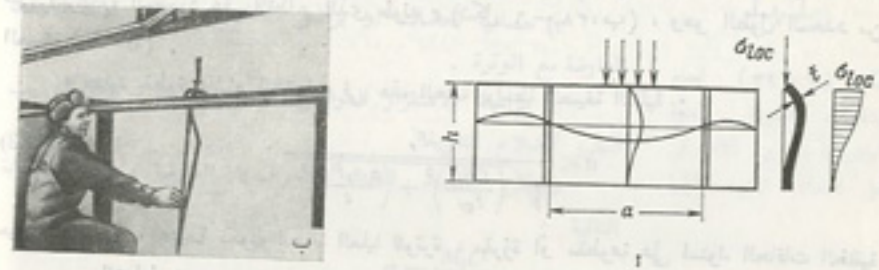
و يبين الشكل (٦ — ٤٠) ، كيفية فقدان استقرار الوترة ، نتيجة لتأثير الاجهادات الموضعية .
ويحدد الاجهاد الموضعي الحرج ، بواسطة الصيغة التالية :

$$\sigma_{loc.cr} = \frac{k_g 10^4}{\lambda_{loc}^2} = k_g \left(\frac{100\,t}{a}\right)^2 t/cm^2 \qquad (6—85)$$

حيث $\lambda_{loc} = \frac{a}{t}$ — تمثل نسبة قضافة الوترة ، بين اضلاع التقوية ؛

a — المسافة بين محاور اضلاع التقوية الجانبية ؛

k_g — عامل ، تتوقف قيمته على ارتفاع الوترة ، وعلى قيمة γ ، ويؤخذ طبقا لمعطيات الجدول (٦ — ١٣) .



شكل (٦ — ٤٠) فقدان استقرار وترة عتبة الونش ، نتيجة لتأثير الاجهادات الموضعية :
أ — الرسم التخطيطي ، ب — المنظر العام

وعند حساب قيمة γ من الصيغة (62—6) ، تؤخذ قيمة العامل c مساوية للعدد ٢ ، اى $c=2$.
واذا كانت a اكبر من $2h_w$ ، فعند تحديد قيمة $\sigma_{loc.cr}$ ، تؤخذ $a = 2h_w$.
وبالنسبة للعوارض المبرشمة، تحدد قيمة العامل k_g من الجدول (٦ — ١٣) ، عند قيمة $\gamma = ١٠$.
واذا كانت لدينا $\frac{a}{h_w} < 0.8$ ، يمكن ان يكون هناك شكلان من اشكال تحدب وترة عارضة الونش . واحد الشكلين المذكورين ، يحدث عندما يكون لنسبة الاضلاع $\frac{a}{h_w}$ ، نصف موجة على امتداد القطاع ، ويحدث الشكل الثاني عندما يكون لنسبة الاضلاع $\frac{0.5a}{h_w}$ ، نصفا موجة على التناظر .
ولهذا السبب عندما تكون النسبة $\frac{a}{h_w}$ اكبر من ٠,٨ ، وفي حالة مراجعة وترة العتبة بواسطة الصيغة (84—6) ، نحصل على حالتين :
١) اذا كانت قيمة $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma}$ اكبر من القيم المبينة في الجدول (٦ — ١٥) ، عندئذ يوضع او يعوض في الصيغة (84—6) ، الاجهاد الحرج σ_{cr} ، غير المستخرج من الصيغة (61—6) ، بل المستخرج او المحدد من الصيغة التالية :

$$\sigma_{cr} = k'_g \left(\frac{100\,t}{h_w}\right)^2 t/cm^2 \qquad (6—86)$$

حيث تحدد او تعين قيمة العامل k'_g ، من الجدول (٦ — ١٤) ، وتبقى المقادير الاخرى كما كانت عليه سابقا .

جدول ٦ — ١٣

قيم العامل k_g للعوارض الملحومة

γ	قيم العامل k_g عندما تكون a/h_w مساوية للمقدار :							
	≤٠,٥	٠,٦	٠,٨	١,٠	١,٢	١,٤	١,٦	١,٨	٢,٠
≤ ٠,٨	٢,٠٤	٢,٣٩	٣,٠٤	٣,٦٧	٤,١١	٤,٦٧	٥,٣٢	٦,٠٤	٦,٨٨
١,٠	٢,٠٧	٢,٤٤	٣,١٣	٣,٨٠	٤,٢٩	٤,٩٠	٥,٦١	٦,٣٩	٧,٢٩
٢,٠	٢,١٣	٢,٥٤	٣,٣٣	٤,١٧	٤,٨٥	٥,٦٧	٦,٥٩	٧,٥٩	٨,٧٢
٤,٠	٢,١٧	٢,٦٠	٣,٤٧	٤,٤٦	٥,٣٣	٦,٣٨	٧,٥٨	٨,٨٩	١٠,٣٥
٦,٠	٢,١٨	٢,٦٢	٣,٥٢	٤,٥٨	٥,٥٥	٦,٧٣	٨,٠٧	٩,٥٤	١١,١٩
١٠,٠	٢,١٩	٢,٦٤	٣,٥٧	٤,٦٨	٥,٧٦	٧,٠٧	٨,٥٦	١٠,٢١	١٢,٠٦
≤ ٣٠,٠	٢,٢١	٢,٦٧	٣,٦٥	٤,٨٦	٦,١٥	٧,٧٤	٩,٥٦	١١,٥٨	١٣,٨٦

جدول ٦ — ١٤

قيم العامل k'_g

$\frac{a}{h_w}$	≤٠,٨	٠,٩	١,٠	١,٢	١,٤	١,٦	١,٨	≥٢,٠
k'_g	وفقا للجدول (٦—١٠)	٧,٧٨	٨,٢٣	٩,٥٠	١١,١٠	١٣,٠٢	١٥,٢٥	١٧,٧٩

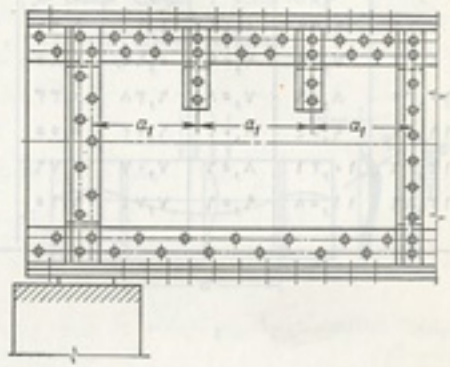
جدول ٦ — ١٥

القيم الحدية للنسبة $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma}$

نوع العارضة	γ	قيم $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma}$ للنسبة $\frac{a}{h_w}$ ، التي تساوي :			
		٠,٨	١,٢	١,٦	≥٢
ملحومة	≤ ١	صفر	٠,٢٤	٠,٢٩	٠,٣٣
	٤	صفر	٠,٢٤	٠,٤٠	٠,٥٠
	١٠	صفر	٠,٢٧	٠,٤٩	٠,٦٧
	≥ ٣٠	صفر	٠,٢٩	٠,٦٢	٠,٩٤
مبرشمة	—	صفر	٠,٣٣	٠,٥٥	٠,٧٣

٢) اذا لم تزد النسبة $\frac{\sigma_{loc}}{\sigma}$ عن القيم المدرجة فى الجدول (٦ — ١٥) ، فان σ_{cr} تحدد من الصيغة (61—6) ، اما $\sigma_{loc.cr}$ فتحدد من الصيغة (85—6)، ولكن مع تعويض المقدار $\frac{a}{2}$ عوضا عن a ، فى كل من الصيغة (85—6) ، و الجدول (٦ — ١٣) .

وفى كلتا الحالتين تحسب قيمة τ_c بواسطة الصيغة (57—6) . و بالنسبة للعتبات المبرشمة ، يمكن القيام باجراء انشائى لمنع تحدب الوترة ، الناجم عن تأثير الاجهادات الموضعية . وينفذ هذا الاجراء ، بأن توضع فى الثلث الاعلى لوترة العارضة ، اضلاع قصيرة ، مرتبة بين اضلاع التقوية الرئيسية ، التى تمتد على مدى ارتفاع الوترة بأكمله (شكل ٦ — ٤١) . وفى العتبات الملحومة ، لا يسمح بوضع الاضلاع القصيرة ، و ذلك لأنه غالبا ما تنشأ الشدوخ او الصدوع ، تحت هذه الاضلاع القصيرة .



شكل (٦ — ٤١) تقوية وترة عتبة الونش المبرشمة ، بواسطة اضلاع التقوية القصيرة

وعند تقوية الوترة بأضلاع تقوية ، ينية ، قصيرة ، يجب ان لا يقل طول هذه الاضلاع عن ٠,٣ ارتفاع الوترة ، وعن $0.4a_1$ ؛ حيث a_1 تمثل المسافة بين محاور الاضلاع القصيرة ، او بين محورى الضلع القصير و الضلع الرئيسى (شكل ٦ — ٤١) . وطبقا للمواصفات القياسية ، تجرى المراجعة فى هذه الحالة ، مرتين :

١) بواسطة الصيغة (84—6) ، على فرض ان σ_{loc} = صفر ، وان الاضلاع القصيرة غير موجودة ؛

٢) بواسطة الصيغة التالية :

$$1.5\,\sigma_{loc}\left(\frac{a_1}{100\,t}\right)^3 \leqslant 1 \qquad (6—87)$$

حيث σ_{loc} تقاس ؛ (طن/سم^2) .

وفى العوارض الكبيرة الباع ، المحملة بأحمال ثقيلة ، عندما تكون نسبة النحافة $\frac{h_w}{t}$ اكبر من المقدار $160\sqrt{\frac{2100}{R}}$، كما ذكرنا سابقا، يكون من الافضل عمليا، وضع ضلع تقوية طولى (شكل ٦ — ٤٢) . ان هذا الضلع الذى يقع عادة على مسافة تساوى $h = b_1$ (0.2 *to* 0.25) من حافة الوترة المنضغطة ، يقسمها الى قسمين (لوحين) ، علوى وسفلى .

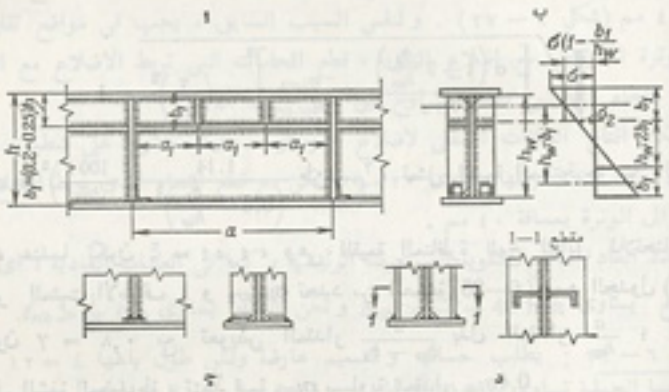
ان القسم (اللوح) العلوى ، الواقع بين الشفة المنضغطة و الضلع الطولى ، يكون تحت ظروف من الضغط غير المنتظم ، وتجرى مراجعته بواسطة الصيغة (88—6) ، التى حصلنا عليها من بحث المنحنى الحدى ، الذى يفصل المناطق الحدية للسعة الحملية للقسمين المذكورين (اللوحين) :

$$\frac{\sigma}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc.cr1}} + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr1}}\right)^2 \leqslant 0.9 \qquad (6—88)$$

وعندما تكون σ_{loc} = صفر ، عندئذ يمكن ايجاد قيمة الاجهاد الحرج من الصيغة التالية :

$$\sigma_{cr1} = \frac{1}{1-\frac{b_1}{h_w}}\left(\frac{100\,t}{b_1}\right)^2 t/cm^2 \qquad (6—89)$$

و هذه الصيغة مستنتجة من الصيغة العامة (60—6) ، عندما تكون قيمة المعامل ξ ، مطابقة للجدول (٦ — ٩) ، وفى حالة الضغط المنتظم ، مساوية لما يلى : $\xi = 1$ (عند h_0 = صفر) ؛ وهنا يكون متوسط اجهاد الانضغاط المنتظم للقسم (اللوح) العلوى ، قد اخذ مساويا للمقدار $\sigma_m = \sigma\left(1-\frac{b_1}{h_w}\right)$ ، راجع الشكل (٦ — ٤٢ ، ب) ، ومنها ينتج ان $\sigma = \frac{\sigma_m}{1-\frac{b_1}{h_w}}$.



شكل (٦ — ٤٢) تقوية وترة عتبة الونش ، بواسطة ضلع التقوية الطول واجزاء اضلاع التقوية

وعندما يكون لدينا $\sigma_{loc} \neq 0$ ، نجد بأن :

$$\sigma_{cr_1} = \frac{0.25}{1-\frac{b_1}{h_w}}\,\frac{(1+\mu_1^2)^2}{\mu_1^2}\left(\frac{100\,t}{b_1}\right)^2 t/cm^2 \qquad (6—90a)$$

و نجد ايضا :

$$\sigma_{loc.cr_1} = k'\,\frac{(1+\mu_1^2)^2}{\mu_1^2}\left(\frac{100\,t}{a}\right)^2 t/cm^2 \qquad (6—90b)$$

حيث $\mu_1 = \frac{a}{b_1} \leqslant 2$

k' — عامل قيمته معطاة فى الجدول (٦ — ١٦) ؛

σ ، σ_{loc} ، τ — هى الاجهادات التصميمية ؛ و σ_{cr1} تستخرج من الصيغة (57—6) .

ان القسم السفلى ، الواقع بين الشفة المشدودة و الضلع الطولى ، يخضع لظروف الشد غير المنتظم. و يكون استقرار هذا القسم، احسن من استقرار و ترة العارضة ذات الارتفاع الاصطلاحى الذى يساوى $(h_w - 2\,b_1)$ ، والمستخدم فى الحساب . ان الاجهاد الموجود عند حافة العارضة ، المتصلة اصطلاحيا او فرضيا (شكل ٦ — ٤٢ ، ب) ، يساوى : $\sigma\left(1-\frac{2\,b_1}{h_w}\right) = \sigma_2$:

جدول ٦ — ١٦

قيم العامل k'

$\mu_1 = \frac{a}{b_1}$	١,٠	١,٥	٢,٠
k'	٠,٣٦	٠,٤٢	٠,٤٥

ان المنحنى الحدى للمنطقتين المستقرة و غير المستقرة ، يكون فى هذه الحالة على الشكل التالى :

$$\sqrt{\left[\frac{\sigma\left(1-2\frac{b_1}{h_w}\right)}{\sigma_{cr\,2}}+\frac{\sigma_{loc2}}{\sigma_{loc.cr2}}\right]^2+\left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2}<1 \qquad (6-91)$$

حيث $\sigma_{cr_2}=\frac{1.14}{\left(0.5-\frac{b_1}{h_w}\right)^2}\left(\frac{100\,t}{h_w}\right)^2$ طن/سم^2 ، تمثل القيمة المستخرجة من الصيغة العامة (6—60) ، عندما تكون $\xi = 4{,}04$ ، وهى القيمة المناظرة للوح القابل للانحناء (عند $k_n = 2$) ، غير المثبت الاطراف ؛ و $\sigma_{loc.cr_2}$ تحدد من الصيغة (6—85) ومن الجدول (٦ — ١٣) ، عندما تكون $\gamma = 0{,}8$ مع تعويض المقدار $\frac{a}{h_w - b_1}$ بدل المقدار $\frac{a}{h_w}$ ؛ وعند تسليط الاحمال على الشفة المضغوطة ، تؤخذ قيمة σ_{loc_2} مساوية للمقدار $0.4\sigma_{loc}$

وفى العوارض المتواصلة ، عندما تسلط الاحمال على الشفة المشدودة ويكون الضلع الاقفى ، طبقا لذلك ، واقعا فى القسم السفلى المضغوط للعارضة ، نرى بأن $\sigma_{loc} = \sigma_{loc_2}$.

و عند وجود ضلع تقوية طولى فى العارضة الملحومة ، يمكن تقوية منطقة انضغاط الوترة باضلاع قصيرة ، تلحم مع الضلع الطولى (شكل ٦ — ٤٢ ، أ) .

و تتم مراجعة استقرار و ترات العوارض ذات المقطع غير المتماثل (ذات الشفة المضغوطة الاكثر تطورا) بالنسبة للوترات المعززة او المدعمة باضلاع تقوية مستعرضة فقط ، بواسطة الصيغ التالية : (6—84) ، (6—61) و (6—86) ، حيث h_w فى هذه الصيغ ، تمثل ضعف المسافة من محور التعادل الى حدود انضغاط القطاع (اللوح) .

ويجب ان تلحم اضلاع التقوية المستعرضة ، مع شفة العارضة العليا ، بلحامات قليلة الثخن (صغيرة الحجم) ، يتراوح ثخنها بين ٦ — ٨ مم .

ان لحام الاضلاع مع الشفة السفلى للعارضة ، بلحامات مستعرضة ، يجب ان يتم ايضا باستخدام لحامات بأقل ثخن ممكن ، و ذلك لأن انكماش اللحامات المستعرضة ، يؤدى الى تطور اجهادات الشد الداخلية (راجع الفصل الرابع) ، التى تتوجد فى هذه الحالة ، مع اجهادات الشد الناجمة عن الاحمال الخارجية .

و يعتبر عدم مد اضلاع التقوية ، الى الشفة السفلى ، امرا غير مرغوب فيه من الناحية العملية ، و ذلك لأنه فى هذه الحالة ستنخفض الجسؤة بحدة عند التواء العارضة ، و يمكن ان تتشوه الشفة السفلى بسهولة .

و يمكن القيام بلحام اضلاع التقوية مع الشفة السفلى ، باستخدام شرائح معدنية قصيرة او قطع سلكية قصيرة ، تلحم مع الشفة بلحامات طولية فقط (شكل ٦ — ٤٢ ، أ ، ح) .

و بالنسبة لعوارض الونش الثقيلة ، فى الورشات ذات ظروف الاشتغال الصعبة ، يمكن استخدام اضلاع تقوية ، مصنوعة من زوايا مختلفة الساقين او الضلعين ، ملحومة مع الوترة على امتداد حافاتها (شكل ٦ — ٤٢ ، د) .

يجب ان تلحم اضلاع التقوية مع الوترة ، بلحامات متواصلة ، وبأقل ثخن (حجم) ممكن . و عند وقوع اضلاع التقوية بالقرب من لحامات الوترة التناكبية ، يجب ان لا تقل المسافة بينها وبين اللحامات المذكورة ، عن المقدار $10t_{web}$ ولأجل تقليل تأثير المناطق المتأثرة بالحرارة ، التابعة للحامات ، يجب تشطيب حافات اضلاع التقوية الرأسية ، بحيث يكون ارتفاع الشطبة ٦٠ مم و عرضها ٤٠ مم (شكل ٦ — ٢٧) . ولنفس السبب السابق ، يجب فى مواضع تقاطع اللحامات التناكبية لوترة العارضة ، مع اضلاع التقوية ، قطع اللحامات التى تربط الاضلاع مع الوترة ، قبل وصولها الى اللحام التناكبى بمسافة تتراوح بين ٤٠ — ٥٠ مم .

و يمكن انتاج الحافات السفلى لاضلاع الارتكاز ، بحيث تحتوى على شطبات ، ارتفاع كل منها يساوى ٣٠ مم ، و عرضها يساوى ٢٠ مم ، ولكن مع قطع اللحام الذى يربط الضلع مع الشفة ، قبل وصوله الى الوترة بمسافة ٤٠ مم .

و تحدد ابعاد اضلاع التقوية المستعرضة الرئيسية ، كما فى العتبات العادية ، اى كما يلى : عرض الضلع يساوى $b_{rib} \geqslant \frac{h}{30} + 40\ mm$ و ثخن الضلع يساوى $t_{rib} \geqslant \frac{1}{15}\, b_{rib}$.

مثال ٦ — ١١ : يطلب حساب و تصميم عارضة ونش طول باعها $L = 12$ م ، تحمل ونشين سعتهما الحملية تساوى $Q = 50/10$ طن ، و فيهما حبال رفع قابلة للالتفاف ، و ظروف اشتغالهما صعبة للغاية . هذا مع العلم بان طول باع الونش يساوى $L_C = 28{,}5$ م ، و الحمل الاقصى لعجلات الونش $P_{max} = 50{,}5$ طن ، ووزن العربة $g = 18{,}5$ طن ، ونوع السكك الحديدية المستخدمة هو KP80 (طبقا للمواصفات القياسية GOST3332—54) . ان الرسم التخطيطى لوضع او ترتيب العجلات ، مبين فى الشكل (٦ — ٤٣ ، أ) . و العارضة من النوع الملحوم ، والمادة المستخدمة فيها هى الفولاذ BCr.3 ، و الالكترود من النوع 342 .

الحل :

١) الحساب الاستاتيكى

تحدد قيم احمال التصميم كما يلى :

ان الاحمال الرأسية تحدد من الصيغة (6—73) ، و تساوى

$$P = 1.1 \times 1.2\, P_{max} = 1.1 \times 1.2 \times 50.5 = 66.6\,t$$

والاحمال الافقية (الفرملية) تستخرج طبقا للصيغة (6—74) والجدول (٦ — ١١) :

$$F_{br} = \frac{F_{br.a}}{2} = nk_{br} = \frac{Q+g}{2\times 20}\, nk_{br} = \frac{50+18.5}{2\times 20} \times 1.2 \times 1.5 = 3.1\ t$$

والآن نرتب الونشين فى افضل وضعية ، تساعدنا على تحديد عزوم الانحناء القصوى ، الناجمة عن القوى الرأسية و الفرملية (شكل ٦ — ٤٣ ، ب ، النقطة ٢) .

و يحدد موضع المحصلة F_{rez} ، اعتمادا على القيمة التالية للمقدار x :

$$x = \frac{66.6\,(5.25-1.4)}{3\times 66.6} = 1.28\ m$$

وعزوم الانحناء تساوى :

$$M_c = \frac{3 \times 66.6 \times 6.64^2}{12} - 66.6 \times 5.25 = 385\ t/m$$

$$M_{br} = M_c \frac{F_{br}}{P} = 385 \times \frac{3.1}{66.6} = 17.9\ t/m$$

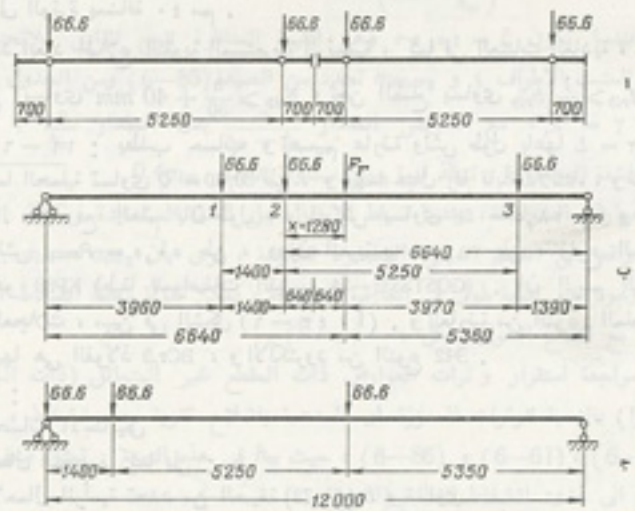
و تحدد الان قوة القص الناجمة عن تأثير القوى الرأسية :

$$Q_c = \frac{3 \times 66.6 \times 6.64}{12} - 66.6 = 43.9\ t$$

ثم نرتب الونشين فى افضل وضعية ، تساعدنا على تحديد قوة القص القصوى ، المؤثرة فى المسند ، و الناجمة عن تأثير القوى الرأسية (شكل ٦ — ٤٣ ، هـ) :

$$Q_{c.s} = \frac{66.6}{12}(5.35 + 10.6 + 12) = 155\ t$$

ان حساب وزن عتبة الفرملة و الاحمال المتنقلة او المتحركة ، المؤثرة عليها ، يتم باستخدام العاملين k_M و k_Q (راجع الجدول ٦ — ١٢) :



شكل (٦ — ٤٣) رسم توضيحى لمثال ٦ — ١١ :

ا — رسم تخطيطى لاحمال الونش ، ب و جـ — الرسوم التخطيطية التى تبين اردأ اوضاع الاوناش عند تحديد العزوم وقوى القص القصوى

وبهذا الشكل ، سوف تكون القيم الحسابية للعزوم وقوى القص ، مساوية لما يلى :

فى وسط العارضة (عند النقطة 2) :

$$M = k_M M_c = 1.05 \times 385 = 405\ t/m$$

و عند المسند :

$$Q_s = k_Q Q_{c.s} = 1.04 \times 155 = 161\ t$$

٢) اختيار المقطع و مراجعة المقاومة

نحدد اقل ارتفاع مسموح به لمقطع العارضة ، بناء على شرط توفر الجسؤة الكافية ، بموجب الصيغة (4—6) ، و طبقا للانحناء النسبى البالغ $\frac{1}{750} = \frac{1}{r_0}$ ، مع الافتراض بأن عامل التحميل n_q يساوى ١,٢ ، اى :

$$h_{min} = \frac{Lr_0}{4800} \frac{1}{n_q} = \frac{1200 \times 750}{4800 \times 1.2} = 156\ cm$$

ثم نحدد بصورة تقريبية ، الارتفاع الافضل لمقطع العارضة ، باستخدام الصيغة (22 — 6) ، الامر الذى يتطلب معرفة نسبة قضافة الوترة سلفا، طبقا للجدول (٦ — ٣)، وتساوى $\lambda_w = \frac{h_w}{t} =$ ١٢٥ ، و نحدد معامل المقطع المطلوب :

$$W_{req} \approx \frac{M}{k_s R - 200} = \frac{40500000}{0.9 \times 2100 - 200} = 24000\ cm^3$$

و لقد ادخل هنا عامل الخدمة $k_s = 0.9$ ، الذى يخفض من قيمة المقاومة التصميمة R ، و ذلك لأن ظروف اشتغال الونش المذكور ، صعبة للغاية (راجع الجدول ٢ من الملحق الاول فى آخر الكتاب) . و بالاضافة الى ذلك ، فقد تم تخفيض الاجهاد ، نظرا لتأثير القوى الفرملية الافقية ، على الشفة العليا للعارضة (راجع الصفحة ١٩٤) .

ان الارتفاع الافضل لمقطع العارضة يساوى :

$$h_{opt} = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \lambda_w W_{req}} = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \times 125 \times 24000} = 165\ cm$$

نجعل ارتفاع مقطع العارضة مساويا لـ ١٦٠ سم ، و نحدد ارتفاع الوترة بالمقدار $h_w =$ ١٥٦ سم ، مع ترك ٢ سم لكل شفة من الشفتين .

والآن نأتى الى اختيار ثخن الوترة . ان الثخن الاصغر للوترة ، عند حساب او مراجعة مقاومتها لقوى القص عند المسند ، يحدد من الصيغة (26—6) :

$$t_{min} = \frac{1.5\,Q}{k_s R_{sh} h_w} = \frac{1.5 \times 161000}{0.9 \times 1300 \times 156} = 13.2\ mm$$

ويحدد الثخن الاصغر للوترة ، عند مراجعة مقاومتها للضغط الموضعى، من الصيغة (77—6) :

$$t_{min} = \frac{n_1 P_1}{3.25\, k_s R} \sqrt{\frac{n_1 P_1}{3.25\, k_s R I_{II}}} =$$

$$= \frac{1.3 \times 60.6}{3.25 \times 0.9 \times 2.1} \sqrt{\frac{1.3 \times 60.6}{3.25 \times 0.9 \times 2.1 \times 1547}} = 1.16\ cm$$

($P_1 = P_1' = ١,٢ \times ٥٠,٥ = ٦٠,٦$ طن ؛ $n_1 =$ ١,٣ ؛ $k_s =$ ٠,٩ ، و السكك الحديدية المستخدمة ، من النوع KP80 ؛ و $I_{II} =$ ١٥٤٧ سم^4) .

و نحدد الثخن النهائى للوترة بما يساوى ١٤ مم .

و يتم تحديد مساحات مقطع الشفتين ، بصورة اولية ، من الصيغة (34 — 6) :

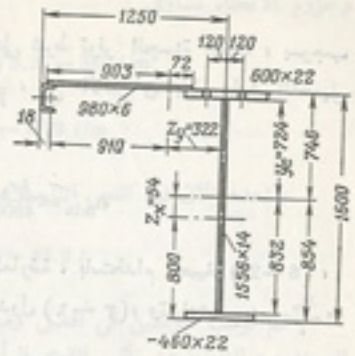
$$2A_{II} = \frac{3\,W_{req}}{2\,h_w} = \frac{3}{2} \times \frac{24000}{156} = 231\ cm^2$$

والان تحدد المقطع النهائى للعارضة، كما يلى :

ابعاد الوترة ١٤×١٥٥٦ ، لوح الشفة العلوى ٢٢×٦٠٠ ، لوح الشفة السفلى ٢٢×٤٦٠ (شكل ٦ — ٤٤) . وبعد ذلك تحدد او تعين الخواص الهندسية للمقطع ، وتقوم بمراجعة مقاومته .

وتعين عزم القصور الذاتى للمقطع (مع الاخذ فى الاعتبار ، ضعف المقطع نتيجة لوجود ثقوب تثبيت السكك) .

ان مقدار ازاحة مركز الثقل ، عن منتصف العارضة ، يساوى ما يلى :



شكل (٦ — ٤٤) رسم توضيحى لمثال ٦ — ١١ . مقطع العتبة

$$z_x = \frac{60\times 2.2\times 78.9 - 46\times 2.2\times 78.9}{60\times 2.2 + 46\times 2.2 + 135.6\times 1.4} = 5.4\ cm$$

$$I_{gr.x} = \frac{1.4\times 72.4^3}{3} + \frac{1.4\times 83.2^3}{3} + 60\times 2.2\times 73.5^2 + 46\times 2.2\times 84.3^2 = 1878000\ cm^4$$

$$I_{n.x} = \frac{1.4\times 72.4^3}{3} + \frac{1.4\times 83.2^3}{3} + (60-4)2.2\times 73.5^2 + 46\times 2.2\times 84.3^2 = 1829000\ cm^4$$

ومعاملات المقطع ستساوى مايلى :

$$W_{gr.t} = \frac{1878000}{74.6} = 25200\ cm^3$$

$$W_{gr.b} = \frac{1878000}{85.4} = 22000\ cm^3$$

$$W_{n.t} = \frac{1829000}{74.6} = 24500\ cm^3$$

$$W_{n.b} = \frac{1829000}{85.4} = 21400\ cm^3$$

والعزم الاستاتى لنصف المقطع ، يساوى :

$$S_x = 60\times 2.2\times 73.5 + 72.4\times 1.4\times 36.2 = 13370\ cm^3$$

ان مقطع عتبة الفرملة (شكل ٦ — ٤٤) ، سوف يتألف من مجرى رقم ١٦ ($A=18.1cm^2$) ، ومن لوح افقى عرضه $t = 6$ مم، والشفة العليا للعارضة مصنوعة من لوح ابعاده ٢٢×٦٠٠ مم. لمسافة من مركز الثقل الى محور العارضة ، تساوى ما يلى :

$$z_y = \frac{18.1\times 123.2 + 98\times 0.6\times 74}{18.1 + 98\times 0.6 + 60\times 2.2} = 32.2\ cm$$

وعزم القصور الذاتى لعتبة الفرملة ، حول المحور $y-y$ ، سوف يساوى ما يلى :

$$I_{n.y} = 18.1\times 91^2 + \frac{0.6\times 90.8^3}{3} + \frac{0.6\times 7.2^3}{3} + \left(\frac{2.2\times 60^3}{12} - 2\times 2.2\times 2\times 12^3\right) + 2.2(60-4)32.2^2 = 467760\ cm^4$$

ومعامل المقطع المناظر ، يساوى :

$$W_{n.br} = \frac{467760}{32.2+30} = 7540\ cm^3$$

والآن تقوم بمراجعة مقاومة العارضة ، ولأجل ذلك تحدد القيم التالية :

الاجهادات المتعامدة فى الشفة العليا ، تستخرج من الصيغة (78 — 6) وتساوى :

$$\sigma_t = \frac{M}{W_{n.t}} + \frac{M_{br}}{W_{n.br}} = \frac{40500000}{24500} + \frac{1790000}{7540} =$$

$$= 1650 + 238 = 1888\ kg/cm^2 < 0.9\times 2100\ kg/cm^2 = 1890\ kg/cm^2$$

وتستخرج الاجهادات المتعامدة فى الوتر السفلى ، من الصيغة (79 — 6) :

$$\sigma_b = \frac{M}{W_{n.b}} = \frac{40500000}{21400} = 1890\ kg/cm^2 = 0.9\times 2100\ kg/cm^2$$

واجهادات القص عند المسند ، تستخرج من الصيغة (36 — 6) ، تساوى :

$$\tau = \frac{Q_0 S_x}{I_{gr.x} t} = \frac{161000\times 13370}{1878000\times 1.4} = 820\ kg/cm^2 < 0.9\times 1300\ kg/cm^2 = 1170\ kg/cm^2$$

والآن تراجع انحناء (انحراف) العارضة ، الناجم عن احمال التشغيل الرأسية (بدون ادخال العامل الدينامى فى الحساب) ، وذلك بواسطة الصيغة (81 — 6) :

$$M_{ser} = \frac{405}{1.1\times 1.2} = 306\ t/m$$

وباستخدام الصيغة المذكورة نجد بأن الانحناء (الانحراف) يساوى :

$$\sigma_{max} = \frac{M_{ser} L^2}{10\, E I_{gr.x}} = \frac{30600000\times 1200^2}{10\times 2100000\times 1878000} = 1.12\ cm$$

والانحناء النسبى (وحدة الانحناء او الانحراف) :

$$\frac{\sigma_{max}}{L} = \frac{1.12}{1200} = \frac{1}{1070} < \frac{1}{750}$$

وتأتى بعد ذلك الى مراجعة مقاومة الوترة ، عند تأثير الضغط الموضعى لعجلة الونش ، بواسطة الصيغة (75 — 6) ، والقيام بذلك تحسب مقدما مجموع عزوم القصور الذاتى للشفة العليا والسكة الحديدية ماركة KP80 (GOST 4121) :

$$I_{fl} = 1547 + \frac{60\times 2.2^3}{12} = 1600\ cm^4$$

وتحدد الطول الاصطلاحى الذى يتوزع عليه ثقل العجلة (ضغط العجلة)، بواسطة الصيغة (76 — 6) :

$$z = c_1 \sqrt[3]{\frac{I_{fl}}{t}} = 3.25\sqrt[3]{\frac{1600}{1.4}} = 34\ cm$$

$$P_1 = 50.5\times 1.2 = 60.6\ tons$$

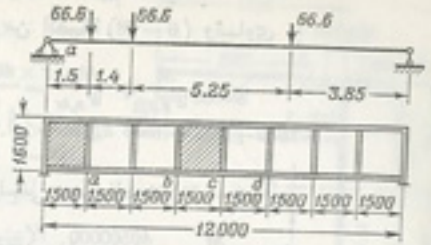
$$\sigma_{loc} = \frac{n_3 P_1}{tz} = \frac{1.3\times 60600}{1.4\times 34} = 1655\ kg/cm^2 < 0.9\times 2100\ kg/cm^2 = 1890\ kg/cm^2$$

٣) مراجعة الاستقرار الموضعى للوترة

ان ضرورة وضع اضلاع تقوية ومراجعة استقرار الوترة ، تنجم عن العلاقة التالية :

$$\frac{h_w}{t} = \frac{155.6}{1.4} = 111 > 80$$

توضع اضلاع التقوية على مسافة ١,٥ م من بعضها البعض ، و نقوم بمراجعة قطاعين من قطاعات العارضة : القطاع الاول فى وسط العارضة ، و الثانى عند المسند (شكل ٦ — ٤٥ ، ب) . نبدأ بمراجعة القطاع الواقع فى وسط العارضة ، عند وضع الونش بالصورة المبينة فى الشكل (٦—٤٣، ب). و نحدد عزوم الانحناء فى النقاط b ، c ، d كما يلى :



شكل (٦ — ٤٥) رسم توضيحى لمثال ٦ — ١١ . الوضع التصميمى لاحمال الونش

$$M_b = \left(\frac{3\times 66.6\times 5.36\times 4.5}{12} - 66.6\times 0.54\right)1.05 = 385\ t/m$$

$M_c = 385\ t/m$ (انظر اعلاه)

$$M_d = \left(\frac{3\times 66.6\times 6.64\times 6}{12} - 66.6\times 4.61\right)1.05 = 375\ t/m$$

$$M_m = \frac{385+385+375}{3} = 382 t/m$$

ثم نقوم بايجاد الاجهادات فى القطاع الوسطى (القطاع المخطط ، شكل ٦ — ٤٥ ، ب) ، كما يلى :

$$\sigma = \frac{M_m y_t}{I_{gr.x}} = \frac{38200\times 72.4}{1878000} = 1.47\ t/cm^2$$

$$\tau = \frac{Q}{h_w t} = \frac{43.9}{155.6\times 1.4} = 0.2\ t/cm^2$$

$$\sigma_{loc} = \frac{n_1 P_1}{tz} = \frac{1.1\times 60.6}{1.4\times 34} = 1.41\ t/cm^2$$

(عند مراجعة استقرار الوترة n_1=1.1)

ولما كانت قيمة المقدار $\frac{a}{h_w} = \frac{1.5}{1.556} = 0.965$ اكبر من ٠,٨ ٤

وقيمة المقدار $0.96\times\frac{1.41}{1.47} = \frac{\sigma_{loc}}{\sigma}$ اكبر من ٠,١٢ ،

اذن يمكن ايجاد الاجهاد المتعامد الحرج ، من الصيغة (86—6) :

$$\sigma_{cr} = k'_g\left(\frac{100\,t}{h_w}\right)^2 = 8.07\left(\frac{100\times 1.4}{155.6}\right)^2 = 6.55\ t/cm^2$$

حيث اخذت قيمة العامل k'_g بطريقة الاستكمال الرياضى من الجدول (٦ — ١٤) .

واخذت القيمة ٠,١٢ من الجدول (٦ — ١٥) ، بطريقة الاستكمال الرياضى للمقدار $\frac{a}{h_w} =$ = ٠,٩٦٥ ، عندما تكون قيمة العامل γ المستخرجة من الصيغة (62—6) ، مساوية لما يلى :

$$\gamma = C\frac{b_{fl}}{h_w}\left(\frac{t_{fl}}{t}\right)^3 = \frac{2\times 60}{155.6}\left(\frac{2.2}{1.4}\right)^3 = 3$$

ثم تحدد اجهاد القص الحرج ، المناظر للضغط (الحمل) الموضعى ، بواسطة الصيغة (57 — 6) :

$$\tau_{cr} = \left(1.25 + \frac{0.95}{\mu^2}\right)\left(\frac{100\,t}{d}\right)^2 = \left(1.25 + \frac{0.95}{1.035^2}\right)\left(\frac{100\times 1.4}{150}\right)^2 = 1.86\ t/cm^2$$

حيث $\mu = \frac{155.6}{150} =$ ١,٠٣٥ .

وتحدد بعد ذلك الاجهاد الحرج، المناظر للضغط (الحمل) الموضعى، بواسطة الصيغة (85 — 6) :

$$\sigma_{loc.cr} = k_g\left(\frac{100\,t}{a}\right)^2 = 4.21\left(\frac{100\times 1.4}{150}\right)^2 = 3.67\ t/cm^2$$

وقد أخذت قيمة العامل k_g هنا ، من الجدول (٦ — ١٣) بطريقة الاستكمال الرياضى .

وتقوم بمراجعة استقرار الوترة ، باستخدام الصيغة (84 — 6) ، كما يلى :

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc.cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1.47}{6.55} + \frac{1.41}{3.67}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{1.86}\right)^2} =$$

$$= 0.618 < 0.9$$

ولا تقوم فى هذه الحالة بمراجعة الاجهادات المكافئة فى الوترة ، الناجمة عن التأثير الموحد للعزم M وللقوة Q ، وذلك لانه لدينا ما يلى :

$$\tau = 0.20 t/cm^2 < 0.4\times 0.9R = 0.756 t/cm^2$$

و بنفس الطريقة السابقة ، نقوم بمراجعة استقرار الوترة عند المسند ، فى القطاع الاول ، عند وضع الونش بالصورة المبينة فى الشكل (٦ — ٤٥ ، أ) :

$$Q = \frac{66.6}{12}(3.85 + 9.1 + 10.5)\,1.04 = 137\ t$$

$$M_a = 137\times 1.5 = 206\ t/m \quad \text{و} \quad M_m = \frac{206+0}{2} = 103\ t/m$$

$$\sigma = \frac{10.300\times 72.4}{1878000} = 0.4\ t/cm^2 \quad \text{و} \quad \tau = \frac{137}{155.6\times 1.4} = 0.632\ t/cm^2$$

وتتم مراجعة استقرار الوترة ، بواسطة الصيغة (84 — 6) ، كما يلى :

$$\sqrt{\left(\frac{0.4}{6.55} + \frac{1.41}{3.67}\right)^2 + \left(\frac{0.632}{1.86}\right)^2} = 0.565 < 0.9$$

وفى القطاع الثانى ابتداء من المسند :

$$M_m = \frac{206+312}{2} = 259\ t/m$$

$$\sigma = \frac{25900\times 72.4}{1878000} = 1.0\ t/cm^2$$

$$\tau = \frac{(137-66.6)}{155.6\times 1.4} = 0.323\ t/cm^2$$

وبمراجعة استقرار الوترة ، نجد بان :

$$\sqrt{\left(\frac{1.0}{6.55} + \frac{1.41}{3.67}\right)^2 + \left(\frac{0.323}{1.86}\right)^2} = 0.572 < 0.9$$

وهكذا نرى بأن نتائج مراجعة استقرار الوترة ، تدل على ان الثخن المقرر للوترة ، ووضع اضلاع التقوية على مسافة ١,٥ م من بعضها البعض ، ملائمان للتصميم تماما .

٤) حساب وتصميم وصلات الشفهات

ان لحامات الشفهات العلوية ، فى الانشاءات التى تكون ظروف اشتغالها صعبة ، تنتج بطريقة الاختراق على ثخن الوترة بأكمله . ولما كانت مقاومة هذه اللحامات مساوية لمقاومة المعدن الاساسى ، فانها لا تخضع للحساب .

وتؤخذ لحامات الشفهات السفلى ، طبقا لمعطيات الجدول (٦ — ١٦) ، بثخن قدره $h = 8$ مم ، ثم تجرى مراجعة مقاومتها للقص (عند استخدام اللحام اليدوى) :

$$\tau = \frac{Q_s S_{fl}}{1.4\, h_w I_{gr}} = \frac{161000 \times 8540}{1.4 \times 0.8 \times 1878000} = 654\ kg/cm^2 < 0.9 \times$$
$$\times 1500\ kg/cm^2 = 1350\ kg/cm^2$$

حيث $S_{fl} = 46 \times 2.2 \times 84.3 = 8531 \approx 8540\ cm^3$

ه) حساب ضلع الارتكاز

نأخذ ضلع ارتكاز مصنوع من شريط معدنى أبعاده ٤٠٠×١٤ مم (شكل ٦ — ٤٦) .

ان مساحة تهصر الضلع تساوى :

$$A_{cr} = 40 \times 1.4 = 56\ cm^2$$

واجهادات التهصر تساوى :

$$\sigma_{cr} = \frac{Q_s}{A_{cr}} = \frac{161000}{56} = 2880\ kg/cm^2 = 0.9 \times 3200\ kg/cm^2$$

والآن تحدد مساحة مقطع ضلع الارتكاز القائم، ونصف قطر حركته الدوامية ونسبة قضالته (راجع الصفحة ١٨٠) :

$$A_c = 40 \times 1.4 + 21 \times 1.4 = 85.4\ cm^2$$
$$I = \frac{1.4 \times 40^3}{12} = 7470\ cm^4$$
$$r = \sqrt{\frac{7470}{85.4}} = 9.36\ cm$$

ان نسبة قضالة ضلع الارتكاز القائم ، تساوى ما يلى :

$$\lambda_x = \frac{155.6}{9.36} = 16.6$$

وعامل التحدب $\varphi = 0.976$

وتقوم الآن بمراجعة استقرار ضلع الارتكاز القائم ، وعدم تحدبه فى المستوى العمودى على العارضة ، بواسطة الصيغة (6 — 67) :

$$\sigma_c = \frac{Q_s}{\varphi A_c} = \frac{161000}{0.976 \times 85.4} = 1930\ kg/cm^2 \approx 0.9 \times 2100\ kg/cm^2$$

٣ — عوارض الونش التشابكية (الجمالونات)

عندما تصل أبواع العوارض الى ١٨ م واكثر ، وتتراوح حمولة الاوناش بين ١٠ — ٢٠ طن ، يكون من الافضل عمليا استخدام العوارض التشابكية (شكل ٦ — ٤٧ ، أ) .

وتصنع الشفة العليا لمثل هذه الجمالونات ، من مقطع جاسئ (مقطع شكل —I) ، يكون معرضا ليس للانضغاط فحسب ، كجزء من أجزاء الجمالون ، بل ويتعرض كذلك الى الانحناء الموضعى ، الناجم عن تأثير ثقل (ضغط) عجلة الونش P . ويمكن ايجاد مقدار الانحناء الموضعى ، من الصيغة التالية :

$$M_b = \frac{Pd}{3} \qquad (6-92)$$

حيث d — طول القطاع الواقع بين نقطتى اتصال الوتر العلوى .

وتتكون بقية مقاطع القطع الاخرى ، من زاويتين معدنيتين ، كقاعدة عامة .

وعادة تتمركز قطع السبيكة ، على الحافة السفلى للوتر . ان كافة قضبان الجمالون ، ما عدا الوتر العلوى ، تقاوم تأثير الاحمال المحورية ، وتحسب بنفس طريقة حساب قطع الجمالونات (الفصل السابع) .

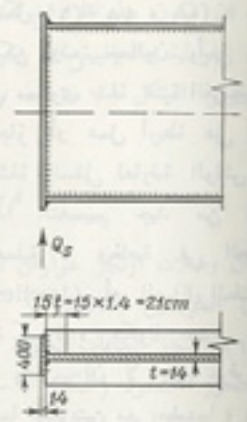
ان صيغة حساب الوتر العلوى للجمالون ، تكون على الشكل التالى :

$$\sigma = \frac{F + F_{br}}{\varphi A_{gr}} + \frac{M_b}{W_x} + \frac{M_{br}}{W_y} \leqslant R \qquad (6-93)$$

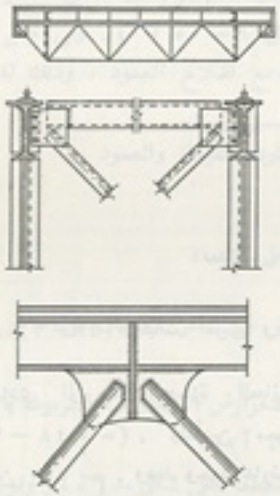
حيث F القوة التصميمية الناجمة عن الاحمال الرأسية ،

F_{br} و M_{br} — قوة الانضغاط التصميمية وعزم الانحناء الموضعى فى المستوى الافقى ، الناجم عن القوى الفرملية الجانبية (عند وجود جمالون فرملة افقى) ،

φ — عامل التحدب بالنسبة للمحور الرأسى (وعند وجود عتبة فرملة مصمتة ، يعتبر عامل التحدب بالنسبة للمحور الافقى) .



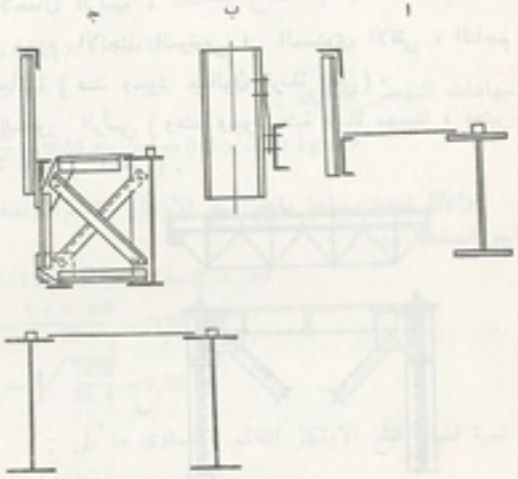
شكل (٦ — ٤٦) رسم توضيحى للمثال ٦ — ١١ .
مقطع مسند العتبة



شكل (٦ — ٤٧) عتبة ونش تشابكية

ان نسب القضالة القصوى او الحدية ، مدرجة فى الجدول (٧ — ١) . وبالاضافة الى ضرورة تثبيت او حصر الوتر العلوى فى المستوى الافقى (شكل ٦ — ٤٧ ، ب) ، يجب كذلك تثبيت الوتر السفلى ، وذلك لانه بنتيجة انحناء العارضة تحت تأثير اية لا تمركزية ولو كانت غير كبيرة ، يمكن أن ينزاح الوتر السفلى عن وضعه الاساسى . ولهذا السبب ، حددت المواصفات القياسية ، نسبة القضالة القصوى أو الحدية للوتر السفلى لجمالونات الونش ، بالمقدار $\lambda = 150$. ولنفس السبب السابق ، يجب تثبيت الاضلاع على ألواح تقوية الوتر العلوى (شكل ٦ — ٤٧ ، ه) . ويجب قطع اللحامات التى تربط الاضلاع القطرية (المائلة) ، قبل وصولها الى أقرب اللحامات الموجودة على لوح التقوية ، بمسافة تتراوح بين ٤٠ — ٥٠ مم .

ان اكثر عتبات الفرملة تصنع من ألواح الفولاذ المموج ، الذى يتراوح ثخنها بين ٦ — ١٠ مم ، وتحتوى العتبة على شفة واحدة منجزة من مجرى ⎯ (شكل ٦ — ٤٨ ، أ) أو من زاوية. وتكون الشفة العليا لعارضة الونش ، بمثابة الشفة الثانية لعتبة الفرملة . وعندما يبلغ طول باع العارضة ١٢ م واكثر ، نجد بأن الشفة الخارجية لعتبة الفرملة ، تكون معلقة بالقطع الانشائية الموجودة فوقها . ولا ينصح فى هذه الحالة ، باسناد الشفة المذكورة بواسطة ضلع انضغاطى اوقائم انضغاط (strut) ، مربوط مع الشفة السفلى للعارضة، لتجنب تذبذبه فى المستوى الافقى. ويمكن كذلك تثبيت أو ربط شفة عتبة الفرملة ، فى الباع الموجود بين الاعمدة ، مع الضلع القائم للهيكل الجدارى ، بواسطة مفصلة لوحية يتراوح ثخنها بين ٤ — ٦ مم (شكل ٦ — ٤٨ ، ب) . وأخيرا يمكن وضع جمالون رأسى خفيف فى مستوى شفة عتبة الفرملة ، مع انجاز أو عمل أربطة على امتداد الشفة السفلى لعارضة الونش . ان هذا التصميم جيد من الناحية العملية ، وخاصة فى الحوامل (trestles) أو الهياكل المفتوحة ،

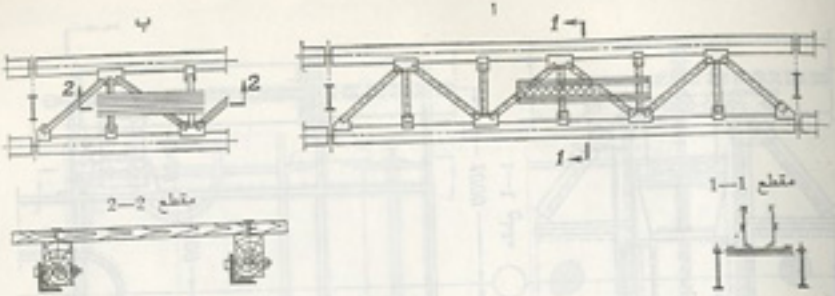


شكل (٦ — ٤٨) عتبات الفرملة (عتبات التكتيف)

حيث يؤدى الى رفع الجسؤة الجانبية للعارضة الى درجة كبيرة ، مكونا عتبة فراغية (شكل ٦ — ٤٨ ، ح) . ولتأمين ممر جيد لعربة الونش ، يجب أن لا يقل عرض عتبة الفرملة عن ٧٥٠ مم . وعند وجود عارضتين للونش ، تربط شفتيهما العلويتين مع بعضهما ، بواسطة لوح تكتيف (شكل ٦ — ٤٨ ، د) .

واذا زادت المسافة بين العوارض ، على ١,٢ م تقريبا ، يكون من الافضل عمليا ، انشاء ووضع جمالون فرملة، مع الاستعاضة عن اللوح بشبكة من الزوايا المعدنية (شكل ٦ — ٤٩ ، أ) ، التى توضع عليها ألواح الارضية الخشبية (شكل ٦ — ٤٩ ، ب) . وفى الورشات ، الحارة ، توضع أرضية مموجة (corrugated flooring) ، لا يقل عرضها عن ٦٠٠ مم (شكل ٦ — ٤٩ ، أ).

ان تصميم وصلة عتبة الفرملة (عتبة التكتيف) ، مبين فى الشكل (٦ — ٥٠ ، أ) . واذا كانت النسبة $\frac{h}{t}$ فى لوح التكتيف، اكبر من ١٠٠، أى $\frac{h}{t} > ١٠٠$، تلحق به من الاسفل أضلاع تقوية جانبية ، مؤلفة من زاوية ابعادها ٧٥ × ٦ ، أو من شريط معدنى ابعاده ١٠٠ × ٨ ، وتوضع الزوايا او الشرائط المعدنية ، بحيث تكون المسافة بين زاوية واخرى او شريط وآخر ، مساوية للمقدار $2h$. ان وصل لوح عتبة الفرملة مع الشفة العليا لعارضة الونش ، يتم وقت التركيب او التجميع ، باستخدام اللحامات المتواصلة على ثخن اللوح بأجمعه ، مع ضرورة استخدام الكترودات



شكل (٦ — ٤٩) جمالون الفرملة (جمالون التكتيف)

من النوع 342A ، وذلك لان اللحام عند اشتراكه فى مقاومة الانحناء ، الذى تتعرض له العارضة بأجمعها ، يكون قد تعرض ايضا للدفع الناجم عن اللوح .

وفى مواضع اتصال عتبات الفرملة مع الاعمدة ، لا يجب مد اللوح الى داخل العمود ، وذلك نتيجة للصعوبات المتوقعة عند التركيب او التجميع (شكل ٦ — ٥٠ ، أ) . وفى نفس الوقت ، يجب ان تكون هذه الالواح ملحومة أو مبرشمة جيدا ، مع أضلاع العمود ، وذلك لغرض نقل القوى الفرملية والجانبية الى وترة العمود .

ويبين الشكل (٦ — ٥٠ ، ب) تصميم وصلة جمالون الفرملة والعمود .

٥ – ارتكاز عوارض الونش على الاعمدة

ان وصلات ارتكاز عوارض الونش على الاعمدة، تنجز فى اكثر الاحيان من الاعلى ، وذلك باحدى الطريقتين التاليتين :

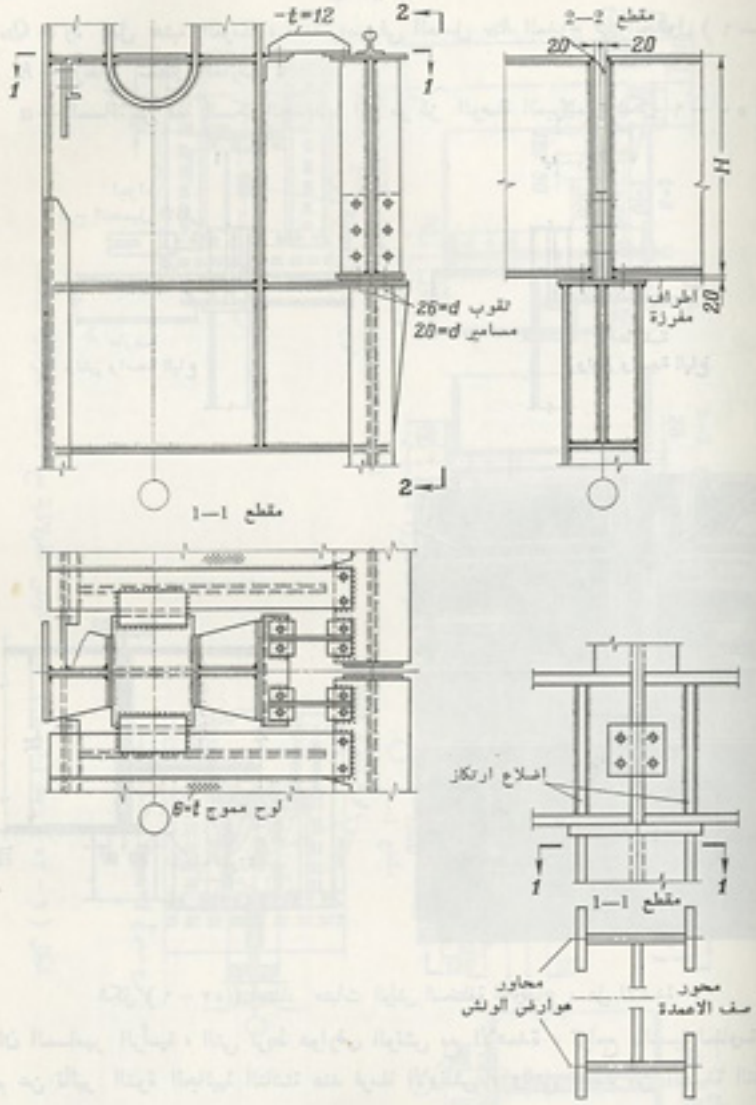
١) بارتكاز الحافات المفرزة لالواح التحميل الطرفية ، للعوارض المتجاورة ، المربوطة بالمسامير ، على محور العمود (شكل ٦ — ٥٠ وشكل ٦ — ٥١ ، أ) ،

٢) بارتكاز العوارض على فرع عمود الونش ، الذى مقطعه على شكل — I ، مع وقوع أضلاع ارتكاز العارضة ، مقابل شفهات فرع العمود (شكل ٦ — ٥١ ، ب) ، أو ازاحتها قليلا الى الداخل نحو محور العمود .

وتنجز وصلات ارتكاز عوارض الونش المختلفة الارتفاع طبقا للرسوم التخطيطية المبينة فى الشكل (٦ — ٥٢ ، من أ الى د) . وفى هذه الحالة ، يجب مراجعة مقاومة وترة مقطع العارضة المختصر ، لاجهادات القص الناجمة عن رد فعل الارتكاز .

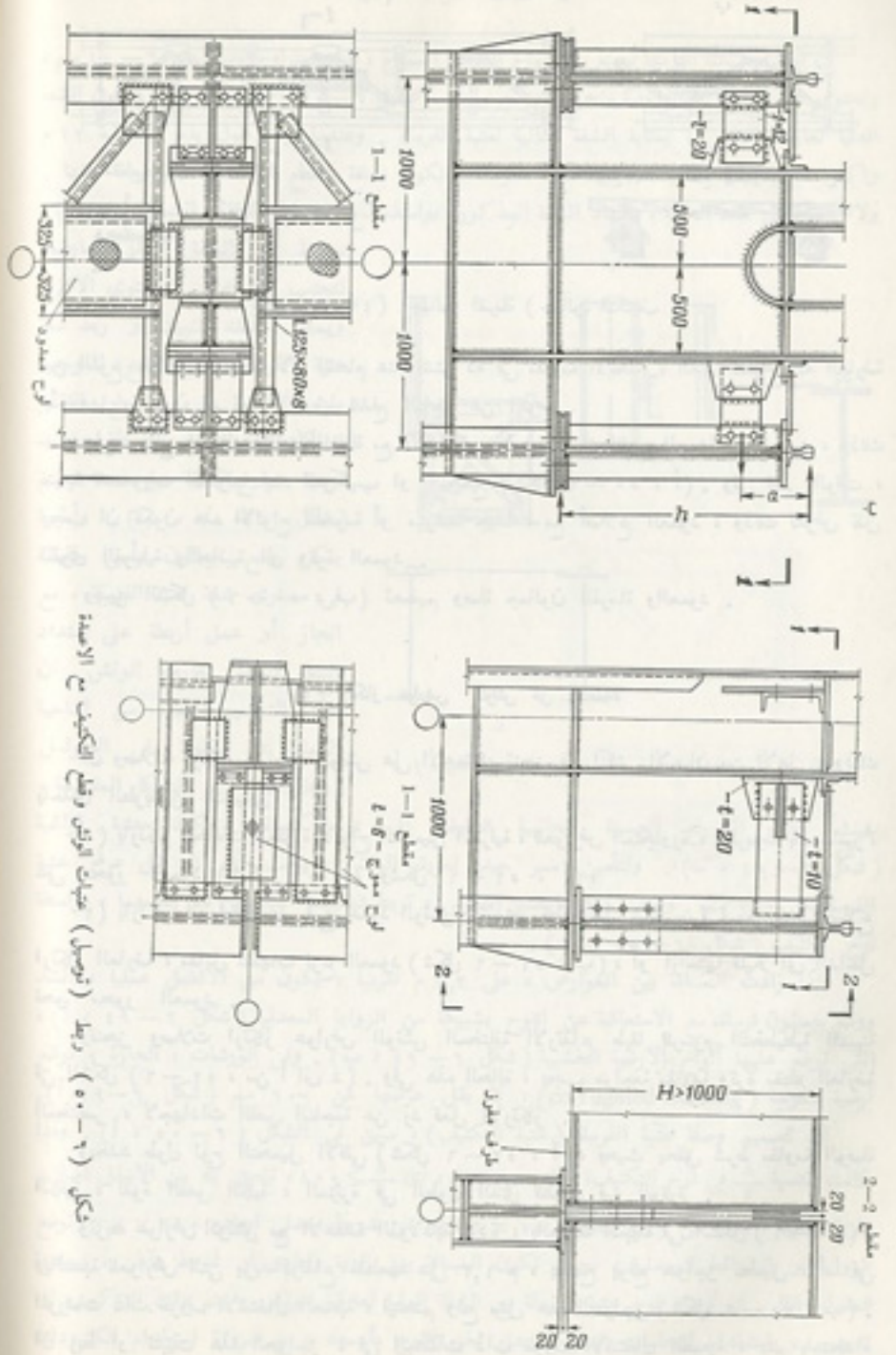
ويحدد طول لوح التحميل الافقى (شكل ٦ — ٥٢ ، أ) ، بحيث يحقق شرط مقاومة الوصلة الكافية ، لقوة القص الكلية ، المؤثرة فى الطول الذى قطعت فيه الوترة .

وتربط عوارض الونش مع الاعمدة الفولاذية عادة ، بالطريقة المبينة فى الشكل (٦ — ٥٠) . وبالنسبة للعوارض التى يزيد ارتفاع مقطعها على ١,٢ م ، ينصح بوضع حواجز تحميل ، أما فى الورشات ذات ظروف الاشتغال الصعبة ، فيتحتم وضع مثل هذه الحواجز (شكل ٦ — ٥٠ ، ب) . ان ربط او تثبيت هذه الحواجز ، فى المنشآت ذات ظروف الاشتغال الصعبة ، يتم باستخدام



٧

شكل (٦ – ٥١) استناد عتبات الونش المتساوية الارتفاع ، عل الاعمدة



٨

شكل (٦ – ٥٠) ربط (توصيل) عتبات الونش وقطع التكييف مع الاعمدة

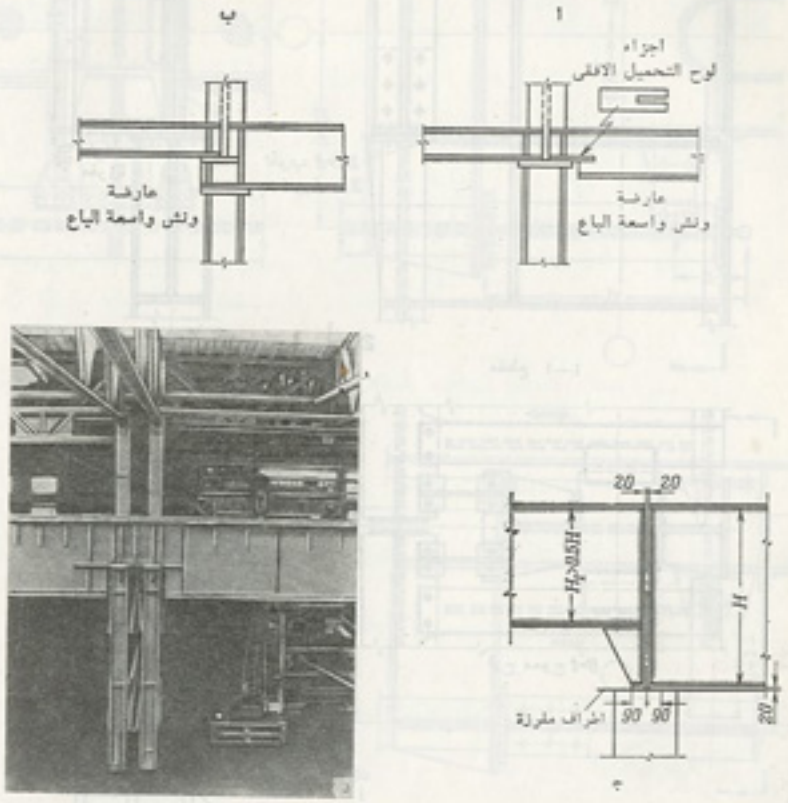
الكترودات من النوع 3—52A، او بواسطة البرشام، وتحسب الوصلة تبعا لمقاومة القوة المستخرجة من الصيغة التالية :

$$R_c = \frac{Q_{br}h}{h-a} \qquad (6-94)$$

حيث Q_{br} — رد فعل عتبة الفرملة ، المضروب فى العامل k_{br} المدرج فى الجدول (٦ — ١١) ،

h — ارتفاع مقطع العارضة ،

a — المسافة من قمة السكة الحديدية الى مركز الوصلة المبرشمة (شكل ٦ — ٥٠ ، ب) .



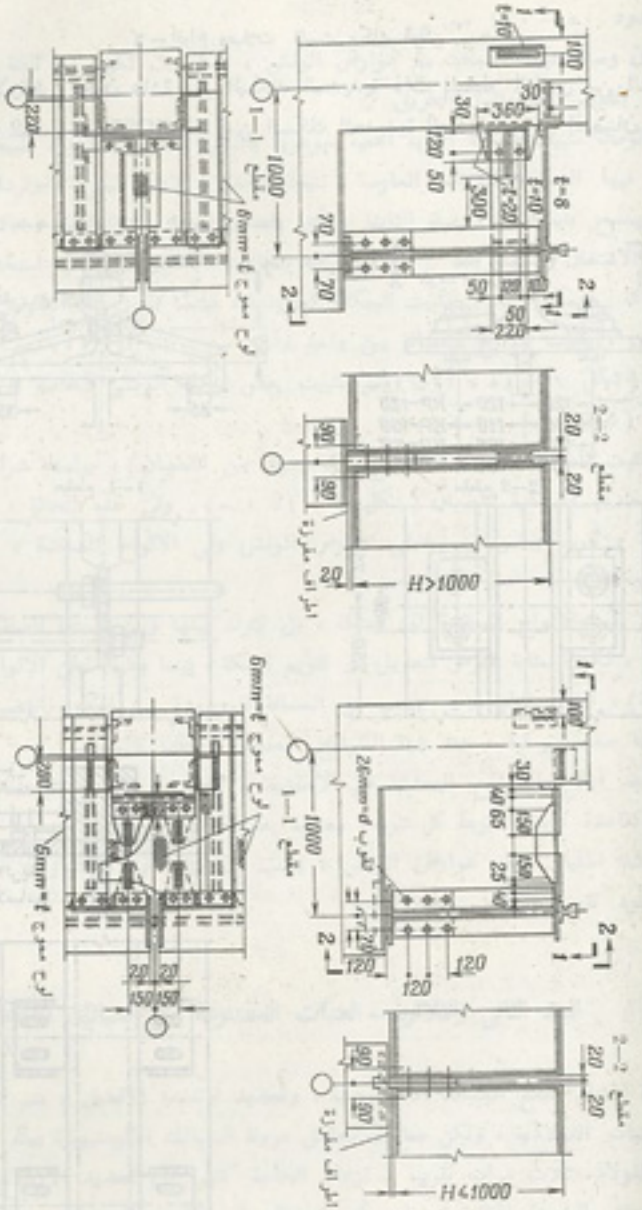
شكل (٦ — ٥٢) استناد عتبات الونش المختلفة الارتفاع ، على الاعمدة

ان المسامير الرأسية ، التى تربط عوارض الونش مع الاعمدة ، تراجع بالنسبة لمقاومة القص ، الناجم عن تأثير القوة الجانبية الناشئة عند فرملة الاوناش ، والتى تحدد من الصيغة التالية :

$$F_{br1} = 0.1 \sum P \qquad (6-95)$$

حيث $\sum P$ — مجموع أحمال كافة عجلات الفرملة فى الاوناش ، المؤثرة على العارضة (ان عدد عجلات الفرملة عادة ، يساوى نصف العدد الكلى لعجلات الاوناش) .

ويزيد قطر ثقوب المسامير فى لوح التحميل بمقدار ٣ — ٥ مم ، على قطر المسامير ، وتركب الحلقات على المسامير باحكام ، ثم تلحم فى مواضعها عند التركيب أو التجميع .

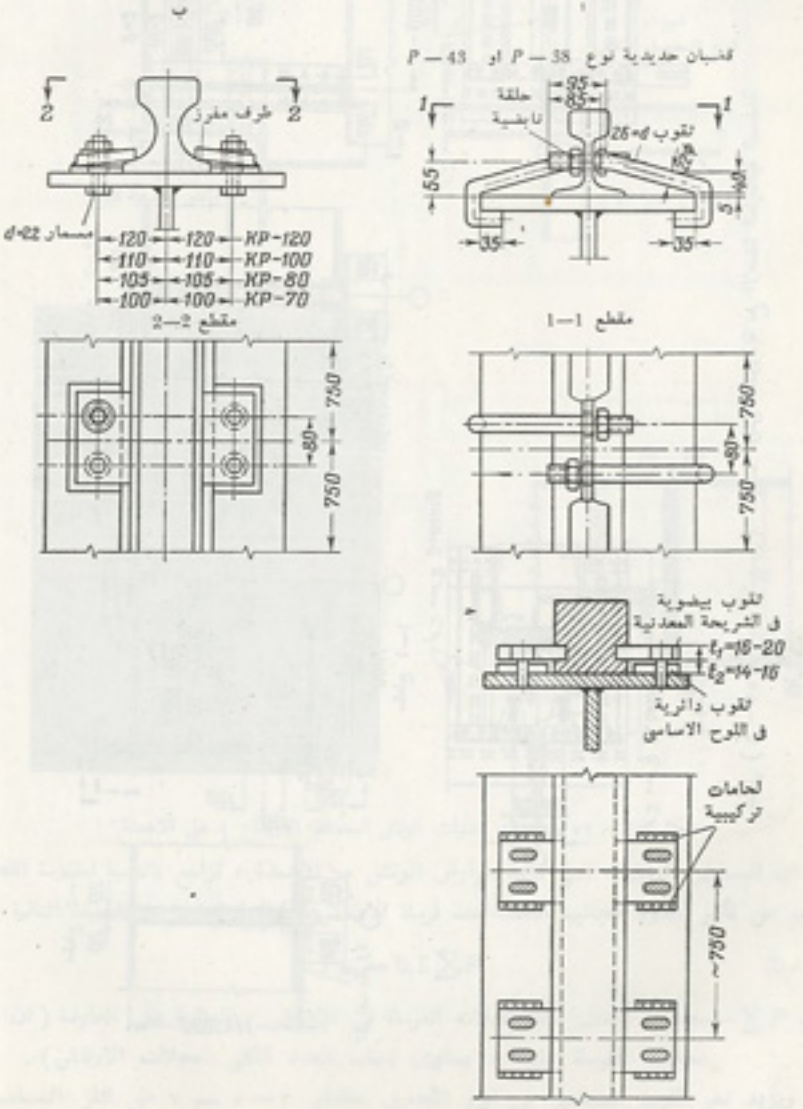


شكل (٦ — ٥٣) ربط (توصيل) عتبات الونش الفولاذية مع الاعمدة الخرسانية المسلحة

وتربط عوارض الونش الفولاذية مع الاعمدة الخرسانية المسلحة ، بالطريقة المبينة فى الشكل (٦ — ٥٣ ، أ) ، بالنسبة للعوارض التى يبلغ طولها ٦ م ، وبالطريقة المبينة فى الشكل (٦ — ٥٣ ، ب) ، بالنسبة للعوارض التى يبلغ طولها ١٢ م .

٦ — انواع وصلات تثبيت سكك الونش

ان سكك الاوناش تكون عادة من السكك الحديدية ذات المقطع الخاص من النوع *KP* (طبقا للمواصفات GOST4121—62) ، ومن السكك الحديدية العادية أو من القضبان الحديدية



شكل (٦ — ٥٤) ربط (توصيل) السكك مع عتبات الونش

المستطيلة المقطع . ويعتمد اختيار نوع السكة ووصلة تثبيتها ، على حمولة الونش وظروف اشتغاله وعلى نوع عجلاته (اسطوانية او مستدقة) .

ان العرض الضرورى لقمة او سطح السكة ، مبين فى المواصفات الملحقة بالونش ، ويتراوح فى حدود ٥٠ — ١٤٠ مم .

ان وصلة تثبيت السكك مع عوارض الونش ، يمكن ان تكون اما ثابتة ، أو متحركة ، أى تسمح بتقويم (تعديل) الطريق .

ولوصلة تثبيت السكة القوية أهمية جوهرية بالنسبة لتشغيلها بصورة طبيعية . وهناك حالات تنهار فيها السكك وشفهات العارضة ، نتيجة للتعديل الاولى السىء ، ولرداءة وصلة التثبيت .

ويسمح باستخدام الوصلة الثابتة ، أى بلحام السكة مع العارضة ، بالنسبة للاوناش ذات ظروف الاشتغال السهلة فقط . أما فى كافة الحالات الاخرى ، فيجب استخدام وصلات التثبيت المتحركة . ويمكن ربط او تثبيت السكك الحديدية ، عندما تكون شفة العارضة غير واسعة ، بواسطة خطاطيف ، بحيث تتراوح المسافة بين واحد وآخر من ٥٠٠ الى ٧٠٠ مم ، وتكون اتجاهاتها مختلفة (شكل ٦ — ٥٤ ، أ) . ويتم تثبيت بعض سكك الونش الخاصة *KP* ، بواسطة شرائح معدنية (شكل ٦ — ٥٤ ، ب) .

وتثبت السكك المستطيلة المقطع (المصنوعة من القضبان) ، بواسطة شرائح معدنية ، مولجة فى الاخاديد الفراغية للقضبان (شكل ٦ — ٥٤ ، ح) . وفى هذه الحالة ، تحفر فى الشرائح المعدنية ، ثقوب بيضوية ، أما فى عوارض الونش وفى الالواح الساندة ، فتحفر ثقوب دائرية للمسامير .

ولا تمد الالواح الساندة الى السكة ، بل تترك بينها وبين السكة فاصلة تتراوح بين ١٠ — ٢٠ مم ، تكون بمثابة خلوص لتعديل او تقويم السكة ، بينما يكون ثخن الالواح الساندة (الالواح الاساسية) ، أقل بمقدار ٢ — ٣ مم من المسافة الموجودة بين اخدود القضيب وحافته ، وذلك لاعطائها صفة زنبركية ، عند شد الشرائح المعدنية وربطها بالمسامير .

وبعد ايلاج الشرائح المعدنية فى الاخاديد ، تلحم مع الالواح الساندة .

وكقاعدة عامة ، تربط كل شريحة معدنية بما لا يقل عن مسمارين .

وعند اختيار مقطع عوارض الونش ، يجب ان يؤخذ فى الاعتبار ، ضعف المقطع الناجم عن وجود ثقوب المسامير فيه .

البند الثانى والثلاثون — العتبات المصنوعة من السبائك الالومنيومية

ان اختيار مقطع العتبات الالومنيومية ، وتحديد ارتفاعه الافضل ، يتم بنفس الطريقة المتبعة فى العتبات الفولاذية ، ولكن بما أن معامل مرونة السبائك الالومنيومية E_{al} ، أصغر من معامل مرونة الفولاذ بثلاث مرات تقريبا ، تزداد الحاجة كثيرا الى تحديد الارتفاع الاصغر للمقطع ، الذى يحقق الجسؤة الكافية للعتبة ، أى للحفاظ على الانحناء المسموح به للعتبة ، الذى تحدد خواصه بالمقدار $\frac{\delta}{L} = \frac{1}{r_0}$ (راجع الجدول ٣ ، من الملحق الاول). ويجب ان تعطى مسائل الاستقرار ، اهمية كبيرة ايضا .

وتحصل على صيغة تحديد الارتفاع الضروري الاصغر لمقطع العتبة الالومنيومية ، عند استخدام المادة استخداما تاما ($\sigma = R$) ، بعد ان نفرض بأن $n_p = n_q$ في الصيغة (3—6) :

$$h_{min} = \frac{5}{24} \frac{\sigma L r_\delta}{E_{al} n_q} = \frac{R L r_\delta}{3.4 \times 10^6 n_q} \; cm \qquad (6—96)$$

حيث R — المقاومة التصميمية للسبائك الالومنيومية (كجم/سم^2) ، مأخوذة من الجدول (٢ — ١٥) أو (٢ — ١٦) ،

L — باع العتبة (سم) ،

$r_\delta = \frac{L}{\delta}$ تمثل نصف قطر تحدب العتبة ، اى معكوس قيمة الانحناء النسبي ،

$E_{al} = 710\,000$ كجم/سم^2 ، تمثل معامل المرونة الجانبية للسبائك الالومنيومية ،

n_q — عامل التحميل الخاص بالاحمال المتنقلة .

ان الارتفاع الافضل لمقطع العتبات الالومنيومية ، يحدد كذلك من الصيغتين (22—6) و (27—6) ، فاذا كانت قيمة h_{min} اكبر من قيمة h_{opt} ، فذلك يعني بأن متطلبات الجسأة بالنسبة للعتبة ، تسود على غيرها ، وأن لعزم القصور الذاتي للعتبة ، أهمية اكبر . وفي هذه الحالة يعين أو يحدد الارتفاع الافضل لمقطع العتبة ، من الصيغة (30—6) :

$$h_{opt} = \sqrt[3]{3 W \lambda_w} = 1.73 \sqrt{\frac{W}{t}}$$

ونظرا للتغير الضئيل في الوزن ، الذي يحدث عندما يطرأ انحراف صغير على الارتفاع الافضل ، يمكن استخدام الصيغة التالية ، لتحديد الارتفاع الافضل لمقطع العتبات الالومنيومية :

$$h_{opt} = 1.6 \sqrt{\frac{W}{t}} \qquad (6—97)$$

وهنا نجد بأن عامل توزيع المادة $k_d = \frac{3}{4}$ ، أي أن ٧٥ ٪ من المادة، يجب ان يتركز في وترة العتبة ، و ٢٥ ٪ منها فقط ، في الشفتين معا .

ونظرا لقلة عرض شفهات العتبات الالومنيومية ، تصبح مراجعة الاستقرار العام ، ذات أهمية كبيرة بالنسبة للعتبات المذكورة .

ان مراجعة مقاومة العتبات الالومنيومية ، يتم بواسطة الصيغة الاولى من الصيغ (12—6) ، اما مراجعة الاستقرار العام ، فتتم بواسطة الصيغة (14—6) :

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_\delta W} \leq R$$

ويحدد عامل التحدب φ_δ ، بنفس الطريقة التي حدد بها بالنسبة للعتبات الفولاذية ، من الصيغة (54—6) ، حيث يؤخذ العامل Ψ من الجدولين ٥ و ٦ ، التابعين للملحق الثاني ، بالاعتماد على قيمة العامل α راجع الصيغتين (55—6) و (56—6) .ان النسب القصوى بين الطول المصمم L لشفة انضغاط العتبة ، وعرضها b ، التي لا حاجة عندها الى مراجعة استقرار العتبات الملحومة والعتبات المشكلة بالكبس ، طبقا للمواصفات القياسية السوفييتية ، مدرجة في الجدول (٦ — ١٧) .

واذا زادت قيمة عامل التحدب φ_δ ، المستخرجة من الصيغة (54—6) ، على المقدار ٠,٦٦٧ و٠، عندئذ يعوض عن قيمة العامل φ_δ في المعادلة او الصيغة (14—6) ، بقيمة العامل φ'_δ المحددة من الجدول (٦ — ١٨) .

جدول ٦ — ١٧

النسب القصوى $\frac{L}{b}$ ، التي تنتفي عندها الحاجة لمراجعة استقرار العتبات الالومنيومية

$\frac{h}{\delta}$	اسم السبيكة	النسب القصوى L/b			
		عندما تكون الاحمال مسلطة			عند وجود مثبتات متوضعة للشفة العليا بغض النظر عن موضع تسليط الاحمال
		على الشفة العليا للعتبة		على الشفة السفلى للعتبة	
		الملحومة والمشكلة بالكبس	المبرشمة	الملحومة والمشكلة بالكبس	المبرشمة	الملحومة المشكلة بالكبس	المبرشمة
≤ 5	AMm-M, AMr-M, АД31-Т	١٢,٨	١٥	٢٠,٥	٢٣,٤	١٥,٧	١٧,٧
	АВ-Т, АД31-Т1, AMm-П	١٠,٥	١١,٨	١٧	١٨,٣	١٣	١٣,٩
	АВ-Т1, АД33-Т1	١٠,٥	١٠,٦	١٧	١٦,٥	١٣	١٢,٥
	AMr6-M, AMr-П	٩,١	١٠,٦	١٤,٨	١٦,٥	١١,٢	١٢,٥
	AMr61, B92 (لوح)	٨,٣	٩,٨	١٣,٥	١٥,٢	١٠,٢	١١,٥
	Д1-Т	٧,٦	٨,٨	١٢,٢	١٣,٨	٩,٣	١٠,٤
	Д16-Т,B92 (مقطع)	٦,٦	٧,٦	١٠,٦	١١,٩	٨	٩

ملحوظة : لا ينصح باستخدام عتبات يزيد ارتفاع مقطعها h ، على المقدار 5δ .

جدول ٦ — ١٨

قيم العامل φ'_δ للعتبات الالومنيومية

φ_δ	٠,٦٦٧	٠,٧	٠,٨	١,٠	١,٢	١,٤	١,٦	١,٨	٢,٠
φ'_δ	٠,٦٦٧	٠,٦٩٨	٠,٧٤٧	٠,٨٢٠	٠,٨٧٦	٠,٩١٧	٠,٩٤٩	٠,٩٧٥	١,٠

جدول ٦ — ١٩

القيم القصوى المسموح بها للنسبة $\frac{b}{t_{fe}}$ ، للعتبات الالومنيومية الملحومة والمشكلة بالكبس

ماركات السبائك						
AMm-M, AMr-M, АВТ-1, АД31-Т	AMr6-M, АД31-Т1, АВТ, AMm-П, AMr-П	AMr-61	АД33-Т1	Д16-Т	B92	
					لوح	مقطع
١١	١٠	٩	١٢	٧,٥	٩	٧,٥

ان النسب القصوى المسموح بها ، بين الجز ' البارز او المتدلى غير المحفف لشفة الانضغاط ، وثخنه $\frac{b}{t_{fl}}$ ، للعتبات الالومنيومية الملحومة والمشكلة بالكبس ، مدرجة فى الجدول (٦ — ١٩) .

ان النسب القصوى المسموح بها ، بين السيقان (الاضلاع) غير المحفقة للزوايا المعدنية ، فى شفهات انضغاط العتبات المبرشمة ، بدون وجود ألواح الفية ، مدرجة فى الجدول (٦ — ٢٠) . وعند تقوية الاجزاء البارزة أو المتدلية الحرة ، بواسطة خيزرانات تزداد قيمة النسب القصوى $\frac{b}{t_{fl}}$.

ويعتبر الاستقرار الموضعى لوترات العتبات، عند عدم وجود أحمال متنقلة، تؤثر على الشفة العليا ، مؤمنا ولا يحتاج الى مراجعة ، اذا لم تزد قيمة نسبة قضافة الوتر $\lambda_w = \frac{h_w}{t}$ ، على القيم المبينة فى الجدول (٦ — ٢١) .

وعندما تبلغ قيمة النسبة $\frac{h_w}{t} \geq$ ٦٠ ، لا تكون هناك حاجة الى وضع اضلاع تقوية، وفيما عدا ذلك ، توضع أضلاع التقوية على مسافات لا تزيد على $2h$ ، من بعضها البعض .

جدول ٦ — ٢٠

القيم القصوى المسموح بها للنسبة $\frac{b}{t_{fl}}$ ، لزوايا العتبات المبرشمة

ماركات السبائك			
AMш-M, AMг-M, AMг6-M, AB-T, АД31-T, АД31-T1	AB-T1, АД33-T1	Д1-T, AMг61	Д16-T, B92
١٥	١٤	١٢	١١

جدول ٦ — ٢١

قيم النسبة $\frac{h_w}{t}$ ، التى تنتفى عندها الحاجة الى مراجعة استقرار وترات العتبات الالومنيومية

نوع العتبة	ماركات السبائك						
	AMш-M, AMг-M, АД31-T	AMг6-M, АД31-T1, AB-T, AMш-П, AMгП	AMг61, B92	AB-T1	АД33-T1	Д1-T	Д16-T
ملحومة او مشكلة بالكبس	٨٠	٦٠	٥٥	٧٠	٧٥	٥٥	٤٥
مبرشمة	—	٨٠	٧٠	٧٥	٨٠	٦٥	٥٥

ان مراجعة الاستقرار الموضعى للوترة (عند عدم وجود أحمال متنقلة مركزة) ، تتم بواسطة الصيغة التالية :

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \leq 0 \qquad (6—98)$$

حيث σ, τ — الاجهادات التصميمية فى العتبة ،

σ_{cr}, τ_{cr} — الاجهادات الحرجة المناظرة :

$$\sigma_{cr} = 2.1\left(\frac{100\,t}{h_w}\right)^2 t/cm^2 \qquad (6—99)$$

$$\tau_{cr} = \left(0.42 + \frac{0.32}{\mu^2}\right)\left(\frac{100\,t}{d}\right)^2 t/cm^2 \qquad (6—100)$$

إن d فى الصيغة الاخيرة ، تمثل الضلع الاصغر للقطاع ، و μ تمثل نسبة الضلع الاكبر للقطاع الى ضلعه الاصغر (راجع الصفحة ١٧١) .

وتؤخذ قيمة θ مساوية للواحد ، بالنسبة للوترات المصنوعة من السبيكتين AB-T1 و АД33-T1 . وفى الحالات الاخرى تحدد قيمة θ، من الجدول (٦ — ٢٢) ، بالاعتماد على النسبة بين الاجهاد المكافئ والاجهاد التصميمى $\frac{\sigma_{eq}}{R}$ ، خلال فاصلة قدرها :

$$\frac{2}{3} < \frac{\sigma_{eq}}{R} = \frac{1}{R}\sqrt{\left(\frac{2}{3}\sigma\right)^2 + 3\tau^2} < 1$$

جدول ٦ — ٢٢

قيم θ

$\frac{\sigma_{eq}}{R}$	$\frac{2}{3}$	٠,٧	٠,٧٥	٠,٨	٠,٨٥	٠,٩	٠,٩٥	١
θ	١	٠,٩٧٤	٠,٩٢٢	٠,٨٦	٠,٧٨٨	٠,٧٠٣	٠,٦٠٧	٠,٥

وفى وترات العتبات ، لا يجوز أن تزيد النسبة $\frac{\sigma_{eq}}{R}$ على الواحد ، اى لا يجوز أن تكون $\frac{\sigma_{eq}}{R} < 1$.

ان عرض الجز ' البارز من اضلاع التقوية، يجب ان لا يقل عن $b_{rib} \geq \frac{h_w}{30} + 40\,mm$ ، وأن لا يقل ثخن ضلع التقوية عن $\frac{1}{12}\,b_{rib}$.

ويجب ان يربط ضلع الارتكاز ، ربطا محكما مع الشفة السفلى للعارضة . وعند مراجعة ضلع الارتكاز القائم للعتبة ، فيما يتعلق بثقل رد فعل الارتكاز ، تلحق بالمقطع المصمم للضلع القائم ، بالاضافة الى أضلاع الارتكاز ، شرائط وترة معدنية ، يصل عرضها الى $12t_w$ ، من كلا جانبى الضلع القائم .

يستخدم الاجهاد المسبق فى العتبات المعدنية لغرض الاقتصاد فى المعدن وتقليل التغير الذى يحصل فى شكل القطعة الانشائية ، ويستخدم كذلك لتنظيم الاجهادات فى القطعة الانشائية ، لاجل الحصول على أفضل شكل تصميمى من الناحية العملية . ويمكن تحقيق الاجهاد المسبق بعدة طرق ، نذكر فيما يلى الطرق الرئيسية منها :

أ) الشد بواسطة قطعة عالية المقاومة (كبل سلكى أو حبل فولاذى) ، موضوعة فى منطقة الشد من القطعة الانشائية .

ب) تنظيم عزوم الانحناء والانحرافات ، بتغيير الارتفاع النسبى للمساند ، فى العتبات المتواصلة ، وبشد الاطراف الناتئة أو المتدلية فى العتبات الكابولية والى آخره .

وفى الحالة الاولى ، نتيجة لوجود الانضغاط اللامركزى – اللامحورى – للقطعة الانشائية (بسبب الشد المسبق للكبل السلكى العالى المقاومة) ، تتطور فى القطعة الانشائية اجهادات ذات علامة معاكسة لعلامة الاجهادات التى يجب أن تظهر فى تلك القطعة ، نتيجة لتأثير الاحمال المتنقلة (الاحمال المتحركة) . وعند تسليط الاحمال المتنقلة على العتبة ، يجب فى البداية أن تتعادل الاجهادات الابتدائية ، الناجمة عن الشد المسبق ، وبفضل ذلك يمكن تسليط مقدار أكبر من أحمال التشغيل الكلية ، على العتبة . وعند ذلك ، يتحمل الكبل السلكى (الحبل) الواقع فى منطقة الشد ، حملا اضافيا (ينشد ذاتيا) ، ولكن نتيجة لمقاومة الحبل السلكى العالية ، يكون وزن المعدن المستهلك فى صنعه ، قليلا نسبيا . ان الكمية الكلية التى يمكن اقتصادها من وزن المعدن ، فى هذه الحالة ، تتراوح بين ١٠ – ١٨ ٪ ، ويصل الاقتصاد فى التكاليف ، الى ما يتراوح بين ٥ – ١٥ ٪ .

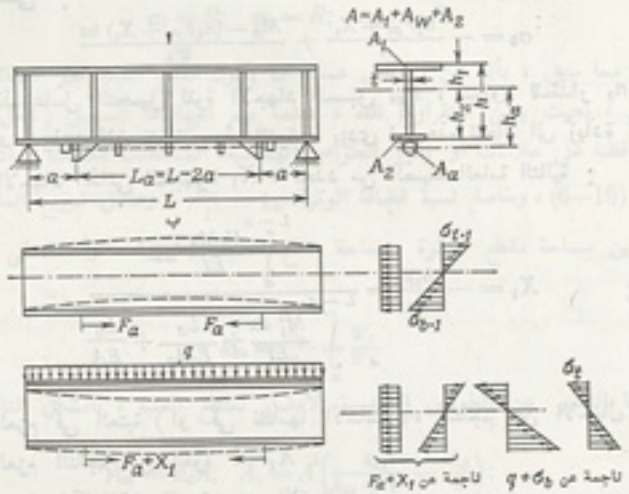
وفى العتبات المتواصلة ، يكون من الافضل ايضا ، استخدام الاجهاد المسبق ، بوضع القطع المولدة للاجهاد ، فوق المساند فى منطقة الشد . ان كل قطعة مولدة للشد ، تضيف الى المخطط التصميمى ، قوة مجهولة اضافية .

وعندما تكون الاحمال الدائمة (الساكنة) ، المسلطة على العتبة ، كبيرة نوعا ما ، يكون من الافضل عمليا استخدام الاجهاد المسبق المتكرر بطريقة تحميل العتبة تدريجيا ، مع جعل الاجهاد المسبق يصل فى كل مرة الى قيمته القصوى (الحدية) .

وفى الحالة الثانية (تنظيم العزوم) ، يمكن التوصل الى تقليل عزوم الانحناء فى الباع ، بزيادة قيمها عند المساند ، بشد الكوابيل (البروزات) مثلا ، حيث يكون من الاسهل عادة ، تصميم مقاطع كبيرة الارتفاع . وعند ذلك ، يقل الانحراف ايضا ، فى وسط الباع . ويكون من الافضل عمليا فى مثل هذه الحالات ، استخدام العتبات المؤلفة ، التى تدخل فى تركيب شفتها المنضغطة (شفة الانضغاط) ، ارضية من الخرسانة المسلحة ، تشارك العتبات الفولاذية فى تحمل أو مقاومة الاحمال المسلطة عليها .

ونأتى الآن الى بحث سلوك العتبة ، التى تم اجهادها المسبق ، مرة واحدة فقط (شكل ٦ – ٥٥) . ان القطعة العالية المقاومة (التى تسمى عادة بالشدادة أو كبل الشد) ، التى تكون على هيئة كبل سلكى مؤلف من حزمة أسلاك يتراوح قطرها بين ٣ – ٦ مم (أو حبل فولاذى) ، يوضع عادة فى الاسفل بالقرب من الشفة السفلى (من الافضل ان يوضع فى أسفل

الشفة) ، وذلك بامراره بحرية من خلال طويقات (حوامل) دليلية – على هيئة انصاف حلقات ، ملحومة مع الشفة على مسافة تتراوح بين ١,٥ – ٢ م من بعضها البعض (شكل ٦ – ٥٥ ، أ) . وهذه الطويقات او الحوامل ، ضرورية لمنع الشفة السفلى ، التى تتعرض للانضغاط أثناء عملية الاجهاد المسبق للكبل السلكى ، من فقدان استقرارها . وعادة لا توضع الشدادة ، على طول العتبة بأكمله ، بل تثبت او تحصر بواسطة مثبتات خاصة بالقرب من طرفى العتبة .



شكل (٦ – ٥٥) عتبة فولاذية سابقة الاجهاد

وعند حساب العتبة الوحيدة الباع البسيطة والسابقة الاجهاد يؤخذ فى الاعتبار التتابع التدريجى لسلوكها . وفى البداية ، عندما يتم الاجهاد (الشد) المسبق للكبل (الشدادة) ، بقوة قدرها F_{p1} ، تتعرض العتبة الى الانضغاط اللامركزى (اللامحورى) ، الذى يؤدى الى حدوث اجهاد شد فى الشفة العليا للعتبة (شكل ٦ – ٥٥ ، ب) :

$$\sigma_{t\cdot1} = -\frac{n_1 F_{p1}}{A} + \frac{n_1 F_{p1} h_a}{W_t} \qquad (6-101)$$

والى حدوث اجهاد انضغاط فى الشفة السفلى للعتبة :

$$\sigma_{b\cdot1} = -\frac{n_1 F_{p1}}{A} - \frac{n_1 F_{p1} h_a}{W_b} \qquad (6-102)$$

حيث $n_1 = 1{\cdot}1$ – تمثل عامل التحميل لقوة الاجهاد المسبق ،

W_b, W_t – معاملا مقطع العتبة ، لكل من الالياف العليا والسفلى على التوالى .

وتتضح بقية الرموز من الشكل (٦ – ٥٥ ، أ) .

وفى المرحلة التالية عند تسليط أحمال التشغيل المتنقلة على العتبة ، نرى بأنها تسلك مثل سلوك العتبة الجمالونية . والآن نفرض بأن الكمية المجهولة هنا ، هى القوة الاضافية فى الكبل (الشدادة) X_1 ، التى تبدأ بالتطور تحت تأثير الاحمال الخارجية . ان هذه القوة ، التى يمكن ان نسميها ، القوة الذاتية للشد ، تولد فى العتبة اجهادات اضافية .

ان الاجهادات الكلية ، الناجمة عن التأثير الموحد للاجهاد (الشد) المسبق والاحمال الخارجية ، سوف تساوى ما يلى :

فى الشفة العليا :

$$\sigma_t = -\frac{n_1 F_{ps} + X_1}{A} - \frac{M_p - (n_1 F_{ps} + X_1)\, ha}{W_t} \qquad (6-103)$$

وفى الشفة السفلى :

$$\sigma_b = -\frac{n_1 F_{ps} + X_1}{A} + \frac{M_p - (n_1 F_{ps} + X_1)\, ha}{W_b} \qquad (6-104)$$

وهنا يؤخذ عامل التحميل لقوة الاجهاد المسبق F_{ps} ، مساويا للمقدار $n_1 = 0.9$ ، أى أقل من الواحد ، وذلك لان نقصان هذه القوة ، يؤدى فى هذه الحالة الى زيادة الاجهاد .

ان قوة الاجهاد الذاتى المجهولة X_1 ، تحدد من الصيغة العامة التالية :

$$X_1 = -\frac{\Delta_{1P}}{\delta_{11}} = -\frac{\int_a^{L-a} \frac{M_1 M_p}{EI}\, dx}{\int_a^{L-a} \frac{M_1^2\, dx}{EI} + \frac{L_a}{E_a A_a} + \frac{L_a}{EA}} \qquad (6-105)$$

حيث M_p — العزم فى العتبة (او فى نظامها الاساسى) ، الناجم عن الاحمال الخارجية ،

M_1 — العزم الناجم عن القوة $X_1 = 1$ ،

EI — جسؤة (كزازة) العتبة عند الانحناء ،

$E_a A_a$ — جسؤة القطعة الشدادة (الكبل) ،

EA — جسؤة العتبة عند الانفعال (التشوه) الطولى ،

a — طول جزء العتبة ، الذى لا يحتوى على كبل الاجهاد المسبق (الشدادة) .

ومن هنا نجد بأن قوة الاجهاد (الشد) الذاتى X_1 ، للعتبة التى تحتوى على كبل موضوع بالطريقة المبينة فى الشكل (٦ — ٥٥ ، أ) ، تساوى ما يلى :

عند تسليط أحمال موزعة بانتظام على العتبة :

$$X_1 = \frac{2 M_p h_a}{3\left(h_a^2 + \frac{I}{A} + \frac{EI}{E_a A_a}\right)}\, \gamma_1 \qquad (6-106)$$

عند تسليط مجموعة أحمال مركزة متساوية ، على العتبة :

$$X_1 = \frac{P h_a \left[L\left(x_1 + x_2 + \ldots + x_i\right) - \left(x_1^2 + x_2^2 + \ldots + x_i^2\right)\right]}{2L\left(h_a^2 + \frac{I}{A} + \frac{EI}{E_a A_a}\right)}\, \gamma_1 \qquad (6-107)$$

حيث

$$\gamma_1 = \frac{L^3 - 6La^2 + 4a^3}{L(L-2a)} \approx \left(2 - \frac{L_a}{L}\right) \quad ; \quad a = \frac{L - L_a}{2}$$

h_a — المسافة من محور التعادل الى محور الكبل (الشدادة) ،

P — قيمة الحمل المركز ،

$x_1, x_2 \ldots x_i$ — المسافات من المسند الايسر الى الحمل 1 والحمل 2 والحمل i .

ويمكن الحصول على أفضل مقطع للعتبة ، عند تلك النسب بين مساحات مقطع الشفهات وبين الوترة ، التى عندها يمكن التوصل الى الاجهادات الحدية (القصوى) فى شفهات العتبة ، ليس بنتيجة تأثير الحمل (σ_t وσ_b) فحسب ، بل وعند الاجهاد المسبق فى الشفة السفلى ($\sigma_{b.1}$) . وهذا ما يحدد زيادة السعة الحملية للعتبة السابقة الاجهاد . وهكذا للحصول على المقطع الافضل ، يجب تحقق الشرط التالى :

$$\sigma_t = R; \quad \sigma_b = R; \quad \sigma_{b.1} = R \qquad (6-108)$$

ويتضح مما سبق ، بأنه من الافضل عمليا ان يكون مقطع العتبة غير متماثل ، وان تؤخذ الشفة السفلى ، بحيث يؤمن استقرارها فقط ، عندما يتم اجهادها المسبق (شكل ٦ — ٥٥) .

واذا حافظنا على علامات او رموز الخواص الهندسية، المستخدمة للعتبات العادية فى الصيغتين (6—18) و (6—19) ، وخاصة نسبة قضافة الوترة $\lambda_w = \frac{h_w}{t}$ ، وعامل توزع المادة $k_d = \frac{A_w}{A}$ أى النسبة بين مساحة مقطع الوترة ومساحة مقطع العتبة بأكملها ، وأخذنا فى الاعتبار عامل اللاتماثل :

$$k_{as} = \frac{h_1}{h_2} = \frac{W_t}{W_b} \qquad (6-109)$$

فسوف يمكننا التعبير عن الخواص الهندسية الافضل لمقطع العتبة ، بالشكل التالى :

$$A_w = k_d A; \quad A_1 = A\left(\frac{k_{as}}{k_{as}+1} - \frac{k_d}{2}\right);$$

$$A_2 = A\left(\frac{1}{k_{as}-1} - \frac{k_d}{2}\right); \quad A = A_1 + A_2 + A_w \qquad (6-110)$$

وبتحقيق الشرط الافضل (6—108) ، يمكن التعبير عن العزم الذى تتحمله العتبة بدلالة القيم الهندسية المتغيرة (البارامترات الهندسية) وعامل الاجهاد الذاتى :

$$M = R\sqrt{A^3 \lambda_w C} \qquad (6-111)$$

حيث

$$C = (1-\beta)\sqrt{\frac{6 k_{as}^3 (1-k_{as})^2 \left[k_{as} - (1+\beta)\right]}{(k_{as}+1)^3 \left[k_{as}(1-\beta) - (1+\beta)\right]^3}} \qquad (6-112)$$

$\beta = \frac{n_1 F_{ps} + X_1}{n_1 F_{ps}}$ — عامل الاجهاد الذاتى .

ويمكن تسمية المقدار C ، خاصية ملاءمة المقطع . وعند ما تتراوح القيم العملية لعامل الاجهاد الذاتى β فى حدود ١ — ٣ ، فان قيمة العامل k تتغير تغيرا طفيفا ، ويمكن اعتبارها ثابتة على الدوام ($k_d = 0.55$) ، فى حدود واسعة جدا لتغير عامل اللاتماثل الخاص بالمقطع k_{as} .

وبالنسبة للحالات الثلاث المتميزة من حالات التحميل المبينة فى الجدول (٦ — ٢٣) ، يمكن ايجاد قوة الاجهاد الذاتى X_1 ، وتثبيت العلاقة بين C وk_{as} للشروط المثالية . وعند ذلك يفترض بأن طول القطعة المولدة للاجهاد ، يعين من شرط الحصول على الاجهاد الاقصى او الحدى ($\sigma = R$) فى العتبة ، عند بداية ونهاية كبل الاجهاد ، بينما تعين أو تحدد مساحة

المقطع العرضي للقطعة المولدة للاجهاد ، من الشرط الذى يكون . بموجبه مجموع مسافط كافة القوى على المحور الافقى $(A_1 - A_2)\,R = A_c R_c$ مساويا للصفر ، حسب الصيغة التالية :

$$A_c = A\,\frac{R}{R_c}\,\frac{k_{cs}-1}{k_{cs}+1} \qquad (6-113)$$

ومن هنا تحصل مباشرة على القيمة الضرورية للاجهاد المسبق F_{ps} اذا كان نوع تحميل العتبة معلوما ، اى كانت القوة X_1 معلومة :

$$F_{ps} n_2 + X_1 = A_c R_c$$

حيث ينتج منها ان :

$$F_{ps} = \frac{F_c R_c - X_1}{n_2} \qquad (6-114)$$

وقد ادرجت فى الجدول (٦ — ٢٣) قيم كل من k_{cs} و C ، اعتمادا على النسبة المختارة بين الانفعالات النسبية لمادة العتبة ومادة كبل الاجهاد (الشدادة) ، وهى النسبة μ_c ، واعتمادا على نوع حالة تحميل العتبة :

$$\mu_c = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_c} = \frac{R E_c}{R_c E} \qquad (6-115)$$

ويستخدم عاملا التحميل $n_1=0.9$ و $n_2=1.1$ ، مع السيطرة غير المباشرة لقوة الاجهاد المسبق F_{ps} (بقياس انحناء او انحراف العتبة ، وتقوية شد المسامير ، ودق الاسافين ، وغير ذلك) .

وفى حالة تحديد مقدار قوة الاجهاد المسبق ، بقياس الانحناءآت او الانحرافات (بجهاز قياس الضغط ، وبقياس الاجهاد بجهاز التنزومبتر وغير ذلك) ، يسمح باتخاذ $n_1=n_2=1$.

ان قيم الطول الافضل للقطعة المولدة للاجهاد ، بالنسبة لمختلف حالات التحميل ، مدرجة فى الجدول (٦ — ٢٣) ، حيث أن قيمة العامل η تساوى مايلى :

$$\eta = 1 - \frac{\sqrt{0.55}}{C}\left[\frac{6\,k_{cs} - 0.55\,(k_{cs}+1)^2}{k_{cs}\,(k_{cs}+1)}\right] \qquad (6-116)$$

وهكذا فان المقطع الافضل للعتبة ، الذى يحتوى على كبل مستقيم للاجهاد المسبق (شدادة) ، واقع فى مستوى الشفة السفلى ، يمكن ان يتم اختياره كما يلى :

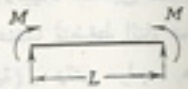
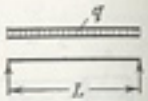
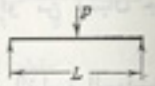
١ — تعطى نسبة قضافة الوترة $\lambda_w = \frac{h_w}{t}$ (راجع الجدول ٦ — ٣) ، أو يعطى اصغر ثخن ممكن للوترة ، بحيث يجعل مقاومتها لقوة القص Q مضمونة ، وفقا للصيغة (77—6) .

٢ — يجرى اختيار مادة كبل الاجهاد المسبق (حزمة اسلاك او حبل فولاذى) ، ويعين عامل الانفعالات (التشوهات) النسبية μ_c من الصيغة (115—6) .

٣ — يتم ايجاد القيمتين k_{cs} و C من الجدول (٦ — ٢٣) ، بالاعتماد على المقدار μ_c وعلى نوع حالة التحميل .

جدول ٦ — ٢٣

قيم الكميتين k_{cs} و C

نوع حالة تحميل العتبة	μ_c	$n_1 = 0.9$		$n_2 = 1.1$		$n_1 = 1$		$n_2 = 1$	الطول الافضل للقطعة المولدة للاجهاد
		k_{cs}		C		k_{cs}		C	
	٠,١	١,٥٨		٠,٣٤٧		١,٨٧		٠,٣٤٨	$L_c = L$
	٠,٢	١,٧٥		٠,٣٥٩		٢,١١		٠,٣٦٩	
	٠,٣	١,٩٩		٠,٣٨١		٢,٥٦		٠,٣٩٩	
	٠,٤	٢,٤		٠,٤١٥		٣,٦		٠,٤٤٦	
	٠,١	١,٦٩		٠,٣٢٩		١,٨٣		٠,٣٤٤	$L_c = L\sqrt{\eta}$
	٠,٢	١,٨		٠,٣٤١		١,٩٨		٠,٣٥٧	
	٠,٣	١,٩٥		٠,٣٥٤		٢,١٦		٠,٣٧١	
	٠,٤	٢,١٢		٠,٣٦٧		٢,٣٦		٠,٣٨٤	
	٠,١	١,٧٢		٠,٣٢٣		١,٨٢		٠,٣٤٢	$L_c = \eta L$
	٠,٢	١,٨٨		٠,٣٢٨		١,٩٤		٠,٣٥٣	
	٠,٣	٢,٠٧		٠,٣٣٢		٢,٠٦		٠,٣٦٣	
	٠,٤	٢,٢٧		٠,٣٣٦		٢,١٩		٠,٣٧٣	

٤ — نحدد وفقا لقيم كل من M ، C ، R و λ_w أو t ، الخواص الهندسية لمقطع العتبة ، من المعادلات (110—6) ، على فرض ان $k_d = 0.55$ ، و (113—6) و (117—6) :

$$A = \sqrt[3]{\frac{M^2}{C^2 R^2 \lambda_w}} \quad \text{او} \quad A = \sqrt{\frac{M}{CR}}\sqrt[4]{\frac{t}{k_d}} = 1.16\sqrt[4]{t}\,\sqrt{\frac{M}{CR}}$$

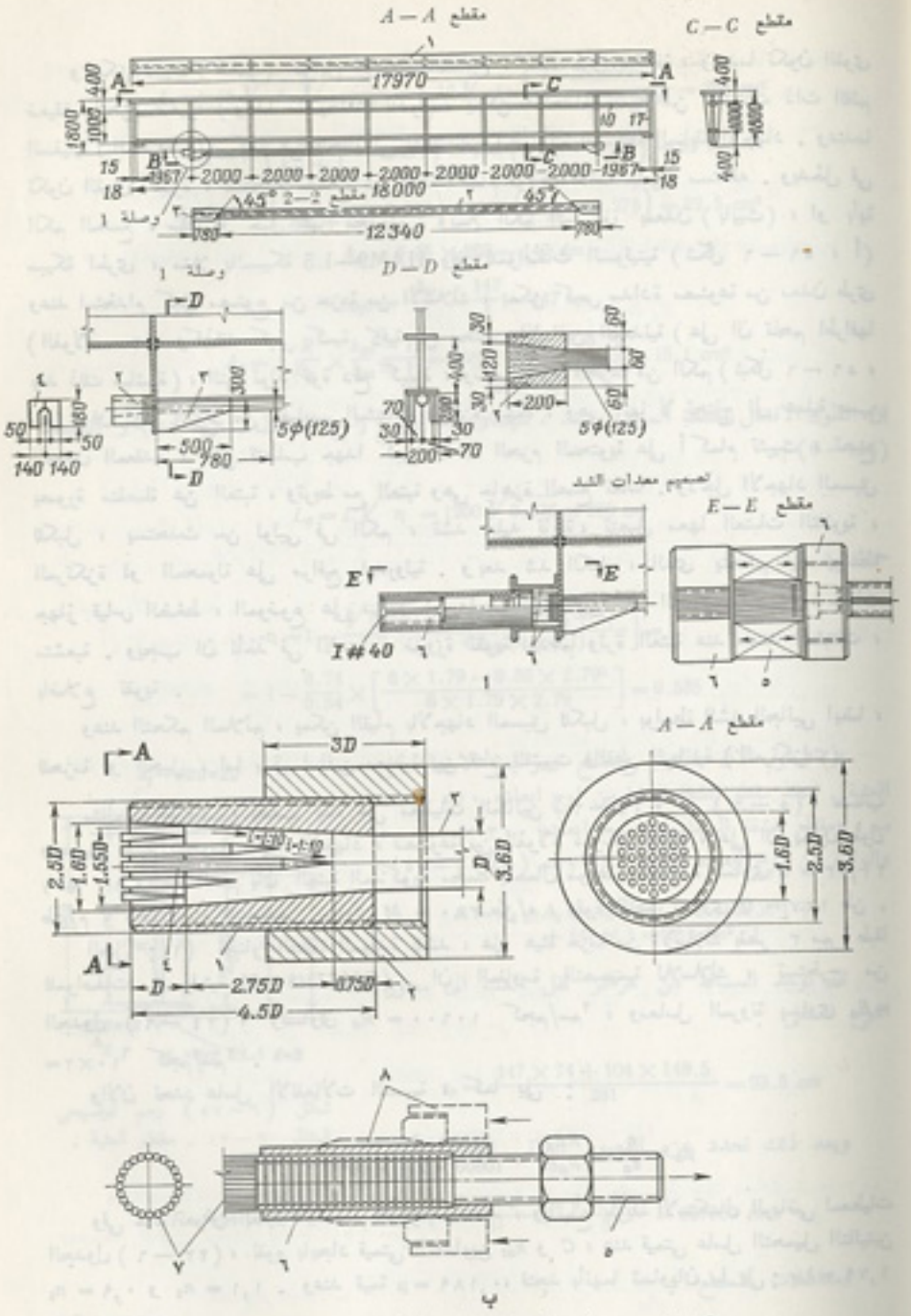
$$h_{opt} = \frac{A_w}{t} \qquad (6-117)$$

٥ — نحدد الطول المعقول لكبل الاجهاد المسبق ، بالنسبة لحالة التحميل المعطاة ، وذلك من الجدول (٦ — ٢٣) .

٦ — نستخرج من الصيغة (106—6) أو الصيغة (107—6) قوة الاجهاد الذاتى X_1 فى الكبل ، بالنسبة لحالة التحميل المعطاة ، وبعد ذلك نحدد قوة الاجهاد المسبق من الصيغة (114—6) .

٧ — تراجع الاجهادات فى العتبة ، بواسطة الصيغتين (103—6) و (104—6) . وأثناء عملية صنع العتبة ، يتم التحكم فى القوة الموجودة فى الكبل (الشدادة) ، عندما يكون فى حالة الشد ، بواسطة القوة التالية :

$$F_{con} = \frac{F_{ps}}{0.95} + \Delta_\sigma \frac{F_c A_c}{L_c} \qquad (6-118)$$



شكل (٦ — ٥٦) مثبتات الشدادات (الكبلات) مع العتبة :

المثبت أ : ١ — حزمة اسلاك (شدادة) ، ٢ — جلبة تثبيت ، ٣ — اضلاع ، ٤ — حلقة تثبيت ، ٥ — مرافيع ايدرولية ، ٦ — عتبات اضافية لأجل الشد المثبت ب : ١ — جلبة ، ٢ — قارنة ، ٣ — حزمة اسلاك ، ٤ — اساقين ، ٥ — قضيب التثبيت مع صمولة ، ٦ — جلبة المثبت ، ٧ — سلك عالي المقاومة ، ٨ — جلبة المثبت وحلقة قابضة للضغط (الكبس)

حيث 0.95 — يمثل قيمة عامل الاسترخاء و للكبول (الشدادات) المصنوعة من حزم سلكية أو حبال عالية المقاومة ،

Δ_a — مقدار مطواعية المثبتات ، التي تربط الكبل مع العتبة ، ويؤخذ هذا المقدار مساويا ٠,١ سم عند استخدام مثبتات على هيئة صمولات محكمة الشد (الربط) ، أو استخدام لقم معدنية سفينية ، ومساويا ٠,٢ سم عند استخدام مثبتات ذات حشيات معدنية أو حلقات .

ويجب ان نأخذ في الاعتبار ، بأن القوة المتحكم فيها في كبل الاجهاد المسبق F_{con} ، يجب ان تزيد على القوة التي يمكن أن تقاومها الشفة السفلى للعتبة ، عندما تنضغط اثناء عملية الاجهاد المسبق (على امتداد المسافة بين الاطواق او الحوامل الدليلية) . وتتم مراجعة هذه القوة الحدية أو القصوى ، بواسطة الصيغة التالية

$$F_{ps.t} = \frac{R\varphi_{b.p}AW_b}{W_b + h_cA} \qquad (6-119)$$

حيث $\varphi_{b.p}$ — عامل التحدب للشفة السفلى للعتبة .

وهكذا يجب ان يتحقق الشرط التالي :

$$F_{con} \leqslant F_{ps.t} \qquad (6-120)$$

ويمكن ان تصنع القطعة المولدة للاجهاد المسبق — الكبل السلكي — من حزمة من الاسلاك العالية المقاومة المتوازية ، أو من حبال سلكية (حبال من سبع جدائل) ، أو من قضبان جاسئة من الفولاذ العالي المقاومة .

ان المقاومة التصميمية لحزمة الاسلاك العالية المقاومة (طبقا للمواصفات القياسية السوفيتية) ، تؤخذ من الجدول (٦ — ٢٤) .

جدول ٦ — ٢٤

المقاومة التصميمية (كجم/سم٢) لمختلف أقطار الاسلاك

قطر السلك (مم)	٢,٥	٣	٤	٥	٦	٧	٨
المقاومة التصميمية (كجم/سم٢)	١١٢٠٠	١٠٦٠٠	١٠١٠٠	٩٥٠٠	٩٠٠٠	٨٤٠٠	٧٨٠٠

ان المقاومة التصميمية للحبال السلكية المكونة من سبع جدائل ، تؤخذ مساوية لـ ٦٥ ٪ من قوة القطع المدرجة في المواصفات القياسية السوفيتية ، ومساوية لـ ٦٠ ٪ من هذه القوة ، عندما تكون الحبال السلكية مجلفنة .

ويتميز استخدام الحبال السلكية العالية المقاومة ، المولدة للاجهاد المسبق ، بامكانية اتخاذ معامل مرونة كبير جدا بالنسبة لها ($E_a = 2 \times 10^6$ كجم/سم٢) ويتلخص عيب الحبال السلكية المذكورة ، في ان صناعة او تجهيز الجدائل السلكية ، تتم بالطريقة اليدوية . أما صناعة الكوابل الفولاذية فتتم في المصانع ، ولكن يصبح معامل مرونتها منخفضا نسبيا (E_a = من $1,6 \times 10^6$ الى $1,8 \times 10^6$ كجم/سم٢) ، ونتيجة لذلك تكون القطعة المصممة اكثر قابلية للتشوه ، وتكون الاستفادة من الاجهاد المسبق ، أقل من الناحية العملية .

و يمكن تثبيت (حصر) كوابل الاجهاد المسبق ، بعدة طرق مختلفة ، وعندما تكون القوى ضعيفة والحزم صغيرة (وهذا ما يحدث نادرا) ، يمكن استخدام صفين من المثبتات ذات اللقم السفيتية (المخروطية) ، كما هي الحالة في الانشاءات الخرسانية المسلحة السابقة الاجهاد . وعندما تكون القوى كبيرة ، تستخدم مثبتات على هيئة أكمام فولاذية ذات جدران مستدقه . ويدخل في الكم المشبع ، سلك أو حبل غير مجدول ، ويملأ الكم المذكور بمعدن (بابيت) ، او بأية سبيكة اخرى ، مثلا بالسبيكة ЦАМ9—1.5 وفقا للمواصفات السوفيتية (شكل ٦ — ٥٦ ، أ) وعند استخدام كبل مصنوع من حزمة من الاسلاك ، يمكن كبس سدادة مصنوعة من معدن طري (الفولاذ — ٢)، وكذلك كبس كمية كافية من مختلف الاسافين المعدنية (على ان تلحم اطرافها بعد ذلك مباشرة) ، التي تولد قوة دفع كبيرة ، وتمنع خروج الحزمة من الكم (شكل ٦ — ٥٦ ، ب) . ان لهذا النوع من تصاميم المثبتات ، ميزة مهمة ، وهي انها لا تحتاج الى عملية صب المعدن المعقدة ، التي تتطلب جهدا كبيرا . ان الحزم المحتوية على أكمام تثبيت ، تصنع بصورة منفصلة عن العتبة ، وتربط مع العتبة وهي جاهزة الصنع تماما . ولاجل الاجهاد المسبق للكبل ، يستحدث سن لولبي في الكم ، تشد عليه قارنة ، تتصل معها العتبات الثانوية ، المرتكزة او المحمولة على مرافع ايدرولية . وبعد شد الكبل ، الذي يتحكم فيه بواسطة جهاز قياس الضغط ، الموضوع على مرفاع ايدرولي ، توضع بين كم التثبيت والمسند ، حلقات منشعبة . ويجب ان نأخذ في الاعتبار، ضرورة تقوية اودعم وترة العتبة عند مسند المثبتات ، باضلاع تقوية .

وعند التحكم الملائم ، يمكن القيام بالاجهاد المسبق للكبل ، بواسطة الشد الجانبي ايضا ، للحزمة او الحبل ، اما بدق اسافين معدنية بين قطع التثبيت والقطع الساندة (المرتكزات) .

مثال ٦ — ١٢ : يطلب بناء على معطيات المثالين (٦ — ٤) و و (٦ — ٥) ، حساب وتصميم عتبة ملحومة سابقة الاجهاد ، مصنوعة من الفولاذ ماركة BCr.3 ، على ان يكون طول باعها ١٢ م، مع العلم بأن العتبة المذكورة محملة بأحمال موزعة بانتظام ، تساوى q = ٢١,١٣ طن/م ، وان العزم التصميمي يساوى M = ٣٨٠ طن/م ، وقوة القص تساوى Q = ١٢٧ طن .

الحل : ١) تختار القطعة المولدة للشد ، على هيئة حزمة من الاسلاك بقطر ٣ مم (طبقا للمواصفات السوفيتية GOST7348 — 55) . ان المقاومة التصميمية للاسلاك ، تستخرج من الجدول (٦ — ٢٤) ، وتساوى R_a = ١٠٦٠٠ كجم/سم٢ ، ومعامل المرونة يساوى E_a = ٢ × ١٠^٦ كجم/سم٢ .

والان تحدد عامل الانفعالات النسبية ، كما يلي :

$$\mu_a = \frac{\epsilon}{\epsilon_a} = \frac{RE_a}{R_a E} = \frac{2100 \times 2 \times 10^6}{10600 \times 2.1 \times 10^6} = 0.189$$

وفي حالة تعرض العتبة للاحمال الموزعة بانتظام ، وباتباع طريقة الاستكمال الرياضي لمعطيات الجدول (٦ — ٢٣) ، تقوم بايجاد قيمتي المقدارين k_{as} و C ، عند قيمتي عامل التحميل التاليتين n_1 = ٠,٩ و n_2 = ١,١ . وعند قيمة μ = ٠,١٨٩ فنجد بأنهما تساويان ما يلي : k_{as} = ١,٧٩ و C = ٠,٣٤ .

٢) نختار نسبة قضافة الوترة λ_w ، أو نأخذ اصغر ثخن ممكن للوترة. نأخذ نفس ثخن وترة العتبة ، المأخوذ في المثالين (٦ — ٤) و (٦ — ٣) ، اي t = ١ سم ، ونوجد الاوصاف (الابعاد) الهندسية الضرورية الصغرى ، من الصيغتين (117 — 6) و (110 — 6) ، كما يلي :

$$A = 1.16\sqrt[4]{t}\sqrt{\frac{M}{CR}} = 1.16\sqrt[4]{1}\sqrt{\frac{38000000}{0.34 \times 2100}} = 268\ cm^2$$

$$A_1 = A\left(\frac{k_{as}}{k_{as}+1} - 0.275\right) = 268\left(\frac{1.79}{2.79} - 0.275\right) = 99\ cm^2$$

$$A_2 = A - \left(\frac{1}{Ak_s+1} - 0.275\right) = 268\left(\frac{1}{2.79} - 0.275\right) = 22.5\ cm^2$$

$$A_w = 0.55 \times 268 = 147\ cm$$

$$h_{opt} = \frac{A_w}{t} = \frac{147}{1} = 147\ cm$$

$$A_a = A\frac{R}{R_a} \times \frac{k_{as}-1}{k_{as}+1} = 268 \times \frac{2100}{10600} \times \frac{0.79}{2.79} = 15.1\ cm^2$$

ان الطول الافضل للقطعة المولدة للشد ، سيساوى ما يلي [راجع الجدول (٦ — ٢٣) و الصيغة (6 — 116)] :

$$L_a = L\sqrt{\eta} = 1200\sqrt{0.535} = 880\ cm$$

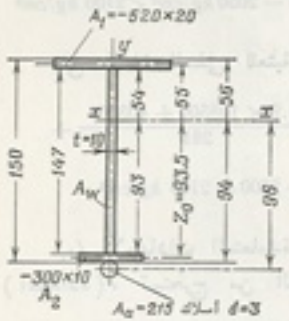
حيث :

$$\eta = 1 - \frac{\sqrt{0.55}}{C}\left[\frac{6k_{as} - 0.55(k_{as}+1)^2}{6k_{as}(k_{as}+1)}\right] =$$

$$= 1 - \frac{0.74}{0.34} \times \left[\frac{6 \times 1.79 - 0.55 \times 2.79^2}{6 \times 1.79 \times 2.79}\right] = 0.535$$

٣) ونقوم الان باختيار المقطع ومراجعة الاجهاد في العتبة . نتخذ مقطع الشفة العليا من لوح ابعاده ٥٢٠ × ٢٠ مم ، ومقطع الشفة السفلى من لوح ابعاده ٣٠٠ × ١٠ مم ، والوترة من لوح أبعاده ١٤٧٠ × ١٠ مم (شكل ٦—٥٧).

$$A = A_1 + A_2 + A_w = 52 \times 2 + 30 \times 1 + \\ + 147 \times 1 = 281\ cm^2$$



شكل (٦ — ٥٧) رسم توضيحي للمثال ٦ — ١٢ . مقطع العتبة .

ثم نوجد المسافة من مركز ثقل العتبة الى محور اللوح السفلي :

$$z_0 = \frac{147 \times 74 + 104 \times 148.5}{281} = 93.5\ cm$$

وبعد ذلك تحدد عزم القصور الذاتي للعتبة :

$$I = 104 \times 55^2 + 30 \times 93.5^2 + \frac{1 \times 54^3}{3} + \frac{1 \times 93^3}{3} = 897000\ cm^4$$

ومعاملات المقطع :

$$W_b = \frac{897000}{94} = 9570\ cm^3$$

$$W_t = \frac{897000}{56} = 16000\ cm^3$$

ثم نحدد بعد ذلك عزم القصور الذاتى للشفة السفلى ، حول المحور $y-y$:

$$I_y = \frac{1 \times 30^3}{12} = 2240 \ cm^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{2240}{30}} = 9 \ cm$$

ان قوة الاجهاد (الشد) الذاتى فى الكبل ، تستخرج من الصيغة (106 — 6) وتساوى :

$$X_1 = \frac{2 M h_a}{3\left(h_a^2 + \frac{I}{A} + \frac{EI}{E_a A_a}\right)} \left(2 - \frac{L_a}{L}\right) =$$

$$= \frac{2 \times 38,000,000 \times 96}{3\left(96^2 + \frac{897000}{281} + \frac{2.1 \times 10^6 \times 897000}{2 \times 10^6 \times 15}\right)} \left(2 - \frac{880}{1200}\right) = 40300 \ kg$$

ان قوة الاجهاد المسبق فى الكبل ، تستخرج من الصيغة (114 — 6) :

$$F_{ps} = \frac{A_a R_a - X_1}{n_2} = \frac{15.1 \times 10600 - 40300}{1.1} = 108500 \ kg$$

مراجعة الاجهادات .

أ) الاجهادات المتعامدة فى ظروف الاشتغال : فى الشفة العليا للعتبة [من الصيغة (103 — 6)] :

$$\delta_t = \frac{(n_1 F_{ps} + X_1)}{A} - \frac{M - (n_1 F_{ps} + X_1) h_a}{W_t} = - \frac{(0.9 \times 108500 + 40300)}{281} -$$

$$- \frac{38000000 - (0.9 \times 108500 + 40300)\, 96}{16000} = -492 - 1560 = -2050 \ kg/cm^2 < 2100 \ kg/cm^2$$

وفى الشفة السفلى للعتبة من الصيغة (104 — 6) :

$$\sigma_b = - \frac{(n_1 F_{ps} + X_1)}{A} + \frac{M - (n_1 F_{ps} + X_1) h_a}{W_b} = - \frac{(0.9 \times 108500 + 40300)}{281} +$$

$$+ \frac{38000000 - (0.9 \times 108500 + 40300)\, 96}{9570} = -492 + 2600 \approx 2100 \ kg/cm^2$$

ب) الاجهادات المتعامدة فى الشفة السفلى للعتبة ، فى مرحلة الاجهاد المسبق للكبل (الشدادة) ، تستخرج من الصيغة (102 — 6) :

$$\sigma_{b.1} = - \frac{n_2 F_{ps}}{A} - \frac{n_2 F_{ps} h_a}{W_b} = - \frac{1.1 \times 108500}{281} - \frac{1.1 \times 108500 \times 96}{9570} =$$

$$= -425 - 1200 = -1625 \ kg/cm^2 < 2100 \ kg/cm^2$$

ح) الاجهادات القصوى فى الكبل (المؤلف من ٢١٥ سلكا ، قطر كل منها يساوى $d = 3$ سم ، ومساحة الكبل تساوى $A_a = 15,1$ سم^2) .

$$\sigma_a = \frac{n_2 F_{ps} + X_1}{A_a} = \frac{1.1 \times 108500 + 40300}{15,1} = 10600 \ kg/cm^2$$

وتستخرج القوة المتحكم فيها ، عند شد الكبل ، من الصيغة (118 — 6) ، وتساوى :

$$F_{con} = \frac{F_{ps}}{0.95} + \Delta_a \frac{E_a A_a}{L_a} = \frac{108500}{0.95} + \frac{0.2 \times 2 \times 10^6 \times 15,1}{880} = 121400 \ kg$$

وعندما تكون الحواسل او الاطواق الدليلية للكبل ، مرتبة على مسافة قدرها $L_{gr} = 2$ م من بعضها البعض ، على امتداد الشفة السفلى للعتبة ، نوجد القوة القصوى المسموح بها فى الكبل ، التى تحقق شرط استقرار الشفة السفلى ، فى حالة انضغاطها اثناء عملية الاجهاد المسبق :

$$F_{ps.1} = \frac{R \varphi_{b.y} A W_b}{W_b + h_a A} = \frac{2100 \times 0.96 \times 281 \times 9570}{9,570 + 96 \times 281} = 149000 \ kg > 121400 \ kg$$

وهنا $\varphi_{b.y} = 0,96$ عندما تكون :

$$\lambda_{b.yl} = \frac{L_{gr}}{r_y} = \frac{200}{9} = 23$$

ان العتبة السابقة الاجهاد ، اصبحت أخف وزنا بمقدار ١٤,٥ ٪ ، من العتبة المصممة فى المثالين (٦ — ٤) و (٦ — ٥) ، بمساحة مقطع قدرها $A_{beam} = 346$ سم^2 :

$$\frac{A_{beam} - (A + A_a)}{A_{beam}} = \frac{346 - (281 + 15.2)}{346} \times 100 = 14.5\%$$

ويوضح الشكل (٦ — ٥٨) أحد الرسوم التشغيلية لعتبة ملحومة . وهذا الرسم التشغيلى يبين او يشرح مادة هذا الفصل ، المتعلق ببحث العتبات الملحومة العادية البسيطة ، وهى اكثر العتبات استخداما فى الوقت الحاضر .

مواصفات القطعة القياسية B3 للفولاذ رقم BCт.3 حسب المواصفات السوفييتية GOST 380—60

رقم القطعة	المقطع	الطول (مم)	الكمية	الوزن (كجم)		الملاحظات
				لقطعة واحدة	لجميع القطع	
١	٢٢ × ٥٨٠ —	١١٩٧٠	١	١٢٠٠	١٢٠٠	—
٢	٢٢ × ٦٤٠ —	١١٩٧٠	١	٩٥٠	٩٥٠	—
٣	١٤ × ١٥٥٦ —	١١٩٧٠	١	٢٠٥٠	٢٠٥٠	تسوية الحواف للحام
٤	١٤ × ٤٠٠ —	١٥٥٦	٢	٦٨,٤	١٣٧	كشط النهايات
٥	٦ × ٨٠ —	١٥٥٦	١٤	٥,٩	٨٢	
					*٦٦	

المجموع ٤,٤٨٥

* وزن المعدن المصهور ١,٥ بالمئة .

الانتاج

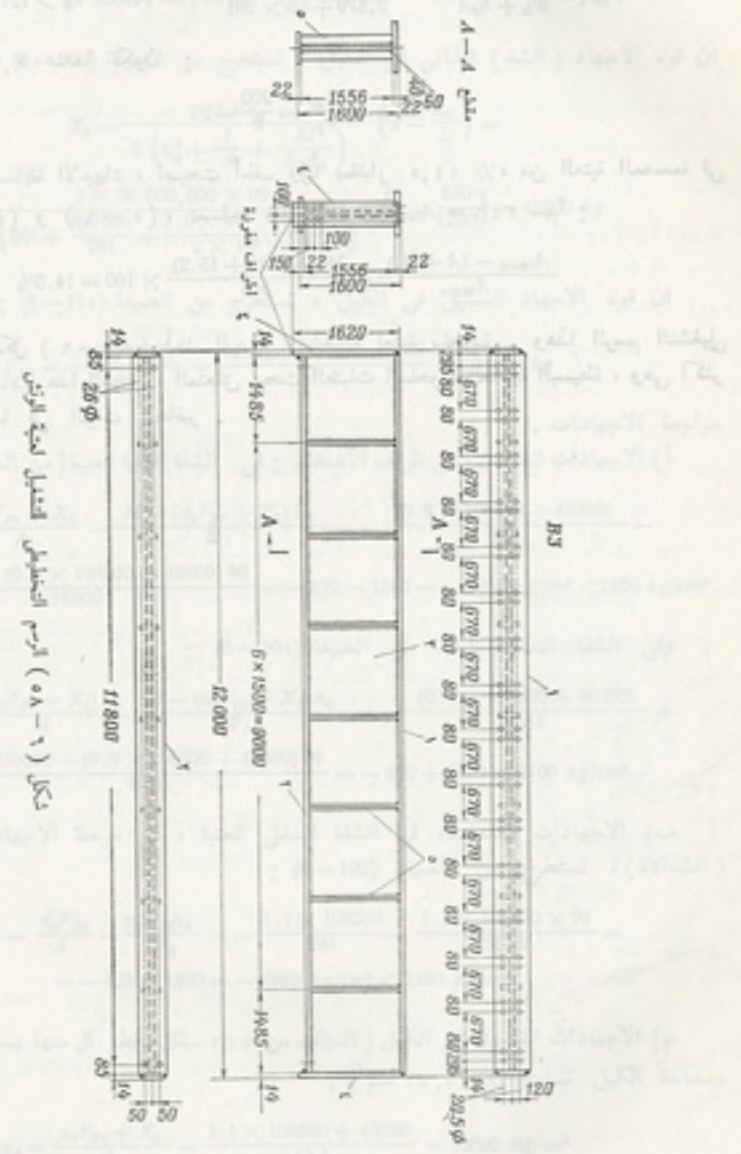
القطعة القياسية	الكمية	الوزن (كجم)	
		لقطعة	لجميع
B3	٢٤	٤٤٨٥	١٠٧٦٤٠

ملحوظة: ١) استعمل الكترودات من نوع Э42 لكل انواع اللحام الا عندما يذكر سواه .

٢) استعمل مكنة اوتوماتيكية للحام الشفهات .

٣) احجام اللحامات $R = ٦$ مم ، فيما عدا ما يذكر سواه .

٤) جميع الفتحات بقطر $d = ٢٠$ مم ، الا اذا ذكر سواه .



شكل (٦ — ٥٨) الرسم التخطيطي لتشغيل لجة الوتد

الفصل السابع

الجمالونات

البند الرابع والثلاثون – الجمالونات السقفية

(Roof Trusses)

١ – المميزات العامة للجمالونات

ان الجمالون هو عبارة عن انشاء تشابكي ، مصمم على الاغلب لمقاومة الانحناء ، كما هي الحالة في العتبة . ويتميز الجمالون عن العتبة ، بأنه يتألف من قضبان مستقيمة منفردة ، مربوطة مع بعضها في وصلات (منفصلة من الناحية النظرية) ، على هيئة نظام هندسي ثابت . ان الاحمال ، كقاعدة عامة ، تسلط على الجمالون في مواضع الوصلات فقط . ونظرا لانتقال الاحمال عن طريق الوصلات ، فان قضبان (قطع) الجمالون تتعرض فقط الى التأثير المحوري لقوى الشد او الانضغاط ، الامر الذي يساعد على الاستفادة من المادة استفادة تامة ، اكبر مما هي عليه في حالة العتبات المصمتة او العملية . ان الجمالونات ملائمة بصورة خاصة في القطع الانشائية (الانشاءات) ، التي تحتاج الى ارتفاع كبير ، لتحقيق شروط الجسؤة الكافية . وعندما تكون الاحمال كبيرة والابواع صغيرة نسبيا ، تصبح الجمالونات ثقيلة وتحتاج الى جهد كبير لانتاجها ، مما يجعلها اقل فائدة من العتبات المصمتة في هذه الحالة . وتزداد الفائدة المرجوة من الانتقال من العتبات المصمتة الى الجمالونات التشابكية ، بزيادة باع القطعة الانشائية وقلة الاحمال المسلطة عليها .

ان مجالات استخدام الجمالونات متنوعة جدا .

ويمكن تصنيف الجمالونات وفقا للدلائل التالية :

أ) غرض الاستخدام – جمالونات الجسور او القناطر ، جمالونات سقفية ، جمالونات الاوناش الرافعة ، والجمالونات المستخدمة بمثابة ابراج لخطوط نقل القدرة الكهربائية ، وغير ذلك .

ب) التصميم – جمالونات خفيفة ذات سطح واحد وجمالونات ثقيلة ذات سطحين .

ح) اتجاه ردود فعل الارتكازات (المساند) ، وتصميم القطع الساندة – جمالونات عتبية (بسيطة ، كابولية ومتواصلة) ، جمالونات العقود المدعمة بالشكالات وغير ذلك .

وفيما عدا ذلك ، قد تكون الجمالونات اما مستوية او فراغية (مجسمة) .

وتبعا لتصنيف الجمالونات حسب تصاميمها ، سنبحث في هذا الفصل ، الجمالونات الخفيفة ذات السطح الواحد ، المستخدمة في السقوف – الجمالونات السقفية .

تستخدم الجمالونات الثقيلة ، ذات القطع المحتوية على مقاطع ذات مستويين ، عادة ، في الحالات التي تزيد فيها القوى الموجودة في الشفهات ، على ما يتراوح بين ٣٥٠ – ٤٠٠ طن . ومن هذه الجمالونات ، على سبيل المثال ، جمالونات الجسور او القناطر ، والجمالونات الواسعة الابواع ، المستخدمة في ورشات تجميع اوتركيب الطائرات ، او في مزالق السفن (سطح مائل نحو الماء لترميم السفن) ، التي علقت فيها الاوناش ، وغير ذلك .

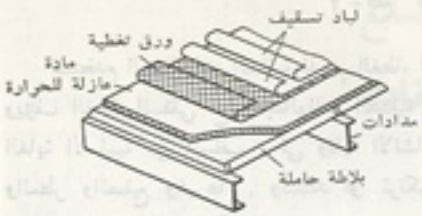
تستخدم الجمالونات السقفية لدعم الغطاء السقفي ، وتحمل او مقاومة الاحمال المؤثرة عليه . ويؤلف الغطاء السقفي مع الجمالونات السقفية والاربطة المختلفة ، ما يسمى ؛ السقف . وتتلخص الغاية الاساسية من السقف ، في وقاية الانشاء او المبنى من المؤثرات الجوية الخارجية (الثلج والمطر والصقيع وغيرها) . وتستند او ترتكز معظم الجمالونات السقفية ، على اعمدة فولاذية او خرسانية مسلحة (شكل ٧ – ١) .

شكل (٧ – ١) جمالون مرتكز سقفي على الاعمدة الخرسانية المسلحة

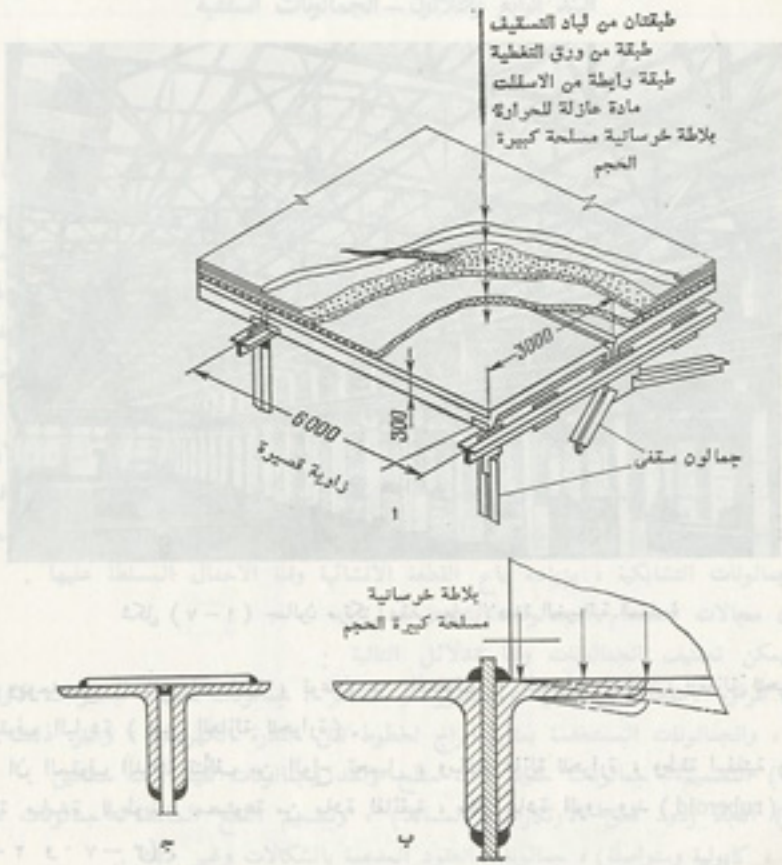
ويوجد في المباني الصناعية ، نوعان من السقوف : السقوف الدافئة (العازلة للحرارة) ، والسقوف الباردة (غير العازلة للحرارة) .

ان السقوف الدافئة تتألف من الواح تحميل ، ومادة عازلة للحرارة ، وطبقة اسفلتية رابطة ، وطبقة حامية للرطوبة ، مصنوعة من مادة لفائفية ، مثل مادة الروبيروويد (ruberoid) (شكل ٧ – ٢ و ٧ – ٣) .

وهناك نوعان من السقوف : السقوف ذات المدادات والسقوف الخالية من المدادات . في النوع الاول من السقوف ، يمكن ان تكون الواح التحميل ، مكونة من بلاطات قياسية سابقة الصنع من الخرسانة المسلحة ، او من بلاطات من الخرسانة الرغوية المسلحة (concrete reinforced foam) او من بلاطات من السيليكات الرغوية المسلحة (silicate foam) (التي تجمع بين وظائف قطعة التحميل ووظائف الطبقة العازلة للحرارة) ، وغير ذلك . وتوضع هذه البلاطات (الالواح) على المدادات (شكل ٧ – ٢) ، التي ترتكز على الجمالونات السقفية في مواضع الوصلات ، وتنتقل اليها الاحمال . ان طول البلاطة المستخدم على اوسع نطاق ، والذي يحدد حجم بلاطة الجمالون ، يساوي ٣ م .



شكل (٧ – ٢) سقف عازل للحرارة مستند على مدادات

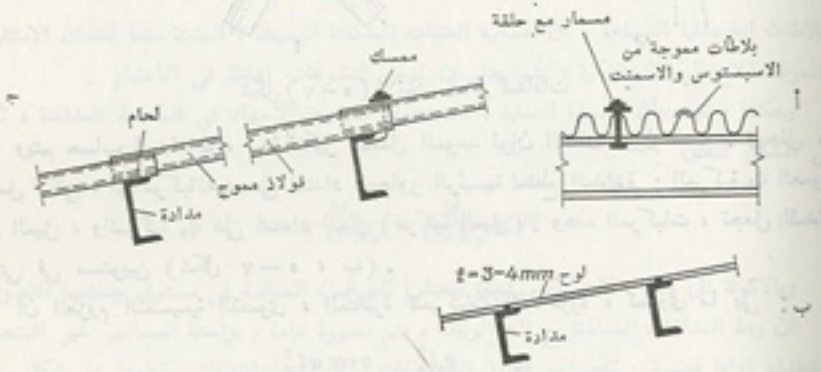


شكل (٧ – ٣) سقف عازل للحرارة ، بدون مدادات

ويتألف النوع الثاني من السقوف ، الاكثر انتشارا (السقوف الخالية من المدادات) من بلاطات قياسية كبيرة الحجم من الخرسانة المسلحة ، ابعادها : ٣ × ٦ م (ПК Ж) ، وارتفاعها ٣٠٠ مم ؛ او ١,٥ × ١٢ م (ПНТП) و ٣ × ١٢ م (ПК Ж Н) وارتفاعها ٤٥٠ مم، مرتكزة مباشرة على الاوتار العليا للجمالونات السقفية ، وتربط او تثبت البلاطات مع اوتار الجمالونات بواسطة لحام الزوايا المعدنية (القطع المعدنية القصيرة) ، المطمورة في البلاطات (شكل ٧ – ٣ ، أ) . وتوضع على البلاطة الكبيرة الحجم ايضا ، طبقة من المادة العازلة للحرارة (اذا كانت البلاطات لا تقوم في

وقت واحد ، بوظيفة او مهمة المادة العازلة للحرارة) ، وطبقة من المادة الرابطة وطبقة من مادة الروبيرويد ، الصامدة للرطوبة .

وعند وضع البلاطات الخرسانية المسلحة ، على الزوايا المعدنية للجمالون ، لا يجب التخوف من انحناء او تقوس الزوايا ، وذلك لأنه بتطور التشوه المشترك للبلاطة والزاوية المعدنية ، ينتقل ضغط تحميل (ارتكاز) البلاطة ، الى ظهر الزاوية ، اى الى سطحها الخلفي (شكل ٧ – ٣ ، ب) . ويجب في هذه الحالة فقط ، اتخاذ الاجراءآت الكفيلة بعدم تعرض مادة الزاوية للقص ، الناجم عن تأثير ضغط تحميل او ارتكاز البلاطة . ولهذا السبب ، عندما تكون زوايا اوتار الجمالونات رقيقة ($t > 10$ مم للبلاطات التي يبلغ طولها ٦ م ، $t > 14$ مم للبلاطات التي يبلغ طولها ١٢ م) ، يجب التفكير باستخدام الواح تحميل بتراوح ثخنها بين ١٠ – ١٢ مم ، توضع مع الزوايا (شكل ٧ – ٣ ، ح) . ان السقوف الباردة تستخدم في الورشات الحارة وفي المباني الباردة . وتنتج هذه السقوف من الالواح المموجة المصنوعة من الاسبستوس والاسمنت ، ذات المقطع الحلوى (شكل ٧ – ٤ ، أ) ، او تصنع في حالات خاصة، من الالواح الفولاذية المموجة (شكل ٧ – ٤، ب)،



شكل (٧ – ٤) انواع السقوف غير العازلة للحرارة

او من الالواح المصمتة او الصلبة ، المحمولة على المدادات (شكل ٧ – ٤ ، ح) . وبالاضافة الى ذلك ، يمكن انشاء السقوف الباردة ، على نمط السقوف الدافئة ، مع استخدام البلاطات الخرسانية المسلحة ، ولكن بدون استخدام المادة العازلة للحرارة .

ولتأمين تصريف المياه ، تكون السقوف عادة مائلة ، ويعتمد ميلها بصورة اساسية على مادة التسقيف . وتستخدم عادة القيم التالية ، الممثلة لميل السقوف المختلفة :

للسقف المصنوع من المواد اللفائفية . . . . . $i = \frac{1}{8} \dots \frac{1}{12}$

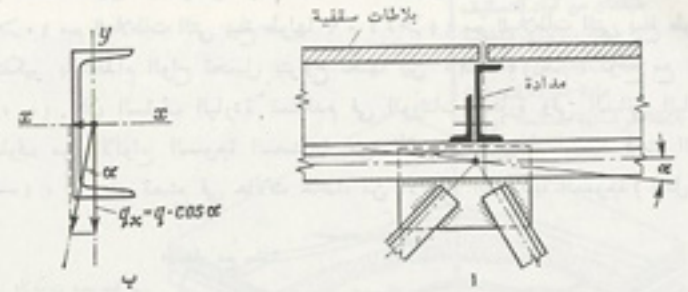
للسقف المصنوع من بلاطات الاسبستوس والاسمنت المموجة . . . . . $i = \frac{1}{3} \dots \frac{1}{4}$

للسقف المصنوع من الالواح الفولاذية المموجة . . . . . $i = \frac{1}{5} \dots \frac{1}{7}$

ويتم انجاز الميل ، كقاعدة عامة ، بتصميم الجمالونات السقفية ، بحيث يكون وترها العلوي مائلا .

وهناك سقوف وحيدة الميل وسقوف مزدوجة او ثنائية الميل .

وتكون المدادات اما مصمتة (مدلفنة) ، او تشابكية . ان المدادات المدلفنة ، المصنوعة من المقاطع التي على شكل —I او المجاري (—) ، تكون اثقل من المدادات التشابكية ، ولكنها ابسط كثيرا واقل كلفة في الانتاج ، وهذا ما يفسر لنا سبب استخدامها على نطاق واسع . وتوضع المدادات المدلفنة ، على الوتر العلوي المائل للجمالون . ولما كانت هذه المدادات ، تميل بزاوية معينة على مستوى تأثير الاحمال (القوى) ، فانها تتعرض للانحناء المائل او الانحناء غير المتمائل (شكل ٧ — ٥ ، أ) .



شكل (٧ — ٥) الانحناء المائل للمدادات

ويتم حساب المدادات ، تبعا لتأثير الحمل الموحد لوزن السقف ووزن الثلج . ويحلل هذا الحمل الكلي ، الى مركباته ، على امتداد المحاور الرئيسية لمقطع المدادة : المركبة q_x العمودية على الميل ، والمركبة q_y على امتداد الميل (مركبة الميل) . وهذه المركبات ، تجعل المدادة تنحني في مستويين (شكل ٧ — ٥ ، ب) .

ان العزوم التصميمية القصوى ، المناظرة للمركبات المذكورة ، تساوي ما يلي :

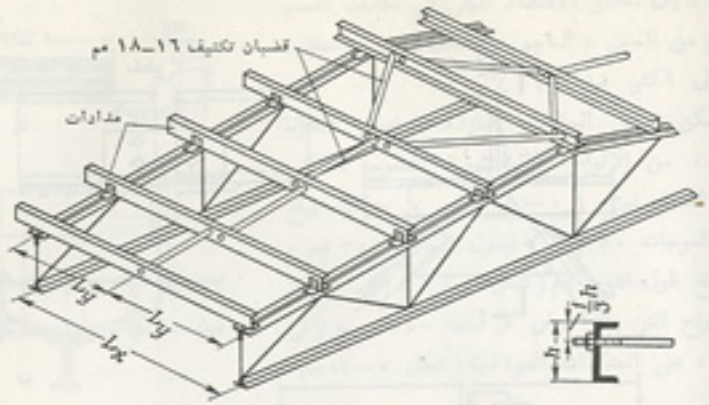
$$M_x = \frac{q_x L_x^2}{8} = \frac{q \cos\alpha\, L_x^2}{8}$$
$$M_y = \frac{q_y L_y^2}{8} = \frac{q \sin\alpha\, L_y^2}{8} \qquad (7-1)$$

ويتضح بأن الاجهادات الناجمة عن التأثير الموحد للعزمين M_x و M_y ، في النقطتين الطرفيتين لمقطع المدادة ، سوف تضاف الى بعضها البعض . وفي هذه الحالة ، لا يجب ان يزيد الاجهاد الكلي ، على المقاومة التصميمية ، اي :

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_y = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq R \qquad (7-2)$$

ولا بد من محاولة جعل الاجهاد σ_y ، اقل كثيرا من الاجهاد σ_x ، وذلك لأن لمقاطع العتبات ، عزم قصور صغير نسبيا ، حول المحور y — y .

ولتقليل الاجهاد σ_y ، الناجم عن المركبة المائلة للحمل ، تدعم او تكتف المدادات بقضبان تكتيف ، توضع في وسط الباع ، ضمن مستوى السقف ، وبذلك يقل الاجهاد σ_y الى النصف (شكل ٧ — ٦) . ان قضبان التكتيف ، بالاضافة الى ما سبق ، تسهل عملية تعديل المدادات ، اثناء التجميع او التركيب ، وهذا الامر يؤدي الى تحسين ظروف وضع وتثبيت



شكل (٧ — ٦) اثناء قضبان التكتيف على المدادات

البلاطات الخرسانية المسلحة . ان حساب العتبات المدلفنة البسيطة ، المثبتة متعا لفقدان الاستقرار، والمعرضة للاحمال الاستاتيكية ، يتم بعد ان تؤخذ التشوهات اللدنة في الاعتبار .

وهكذا ، نجد بأن الصيغة العملية ، المستخدمة لمراجعة الاجهاد في المدادة المدلفنة ، تكون على الشكل التالي :

$$\sigma = \frac{M_x}{1.12\, W_x} + \frac{M_y}{1.2\, W_y} \leq R \qquad (7-3)$$

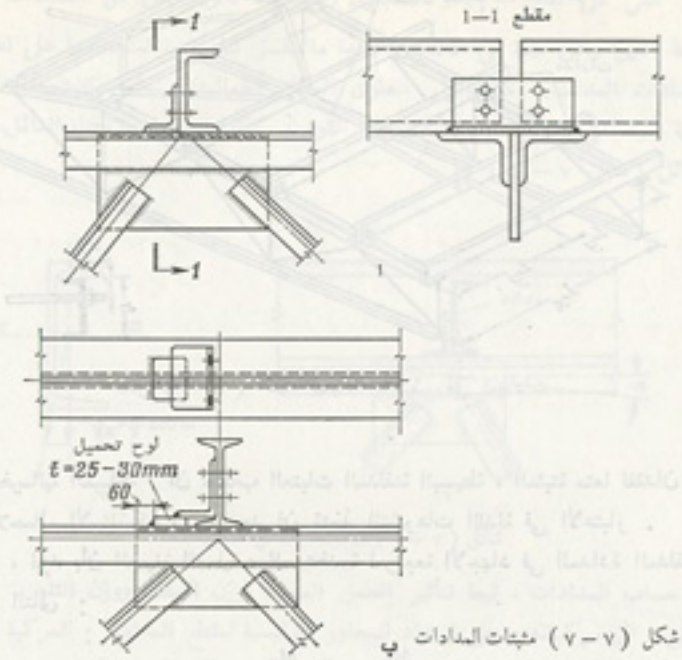
وبالاضافة الى ذلك ، لابد من مراجعة انحناء (انحراف) المدادة في مستوى جسؤتها القصوى .

ان ربط المدادات المدلفنة مع الجمالونات ، يتم بصورة عامة ، بواسطة المسامير غير المتجزة ، باستخدام زوايا قصيرة ، تلحم مع اوتار الجمالونات . ان المدادات التي مقطعها على شكل مجرى (—)، تلحم بالطريقة المبينة في الشكل (٧ — ٧ ، أ) ؛ اما المدادات التي مقطعها على شكل —I، فتلحم بالطريقة المبينة في الشكل (٧ — ٧ ، ب) .

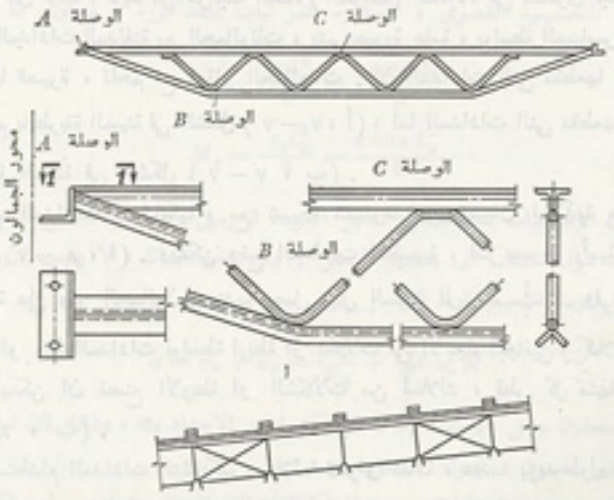
وتستخدم المدادات التشابكية ، مع شبيكة مصنوعة من قضبان فولاذية مدورة (مدادات قضيبية ، شكل ٧ — ٨ ، ا) . ويمكن وضع المدادات القضيبية ، اما بصورة رأسية او مائلة ، اي بصورة عمودية على وتر الجمالون (عندما يصل ميل السقف الى حد $\frac{1}{7}$) . وفي جميع الحالات، يجب تكتيف او ربط المدادات بواسطة اربطة او شكالات في الاتجاه الجانبي (كلا الوترين العلوي والسفلي) . ويمكن ان تصنع الاربطة او الشكالات من اسلاك ، قطر كل منها يساوي ٦ مم (شكل ٧ — ٨ ، ب) .

ويكون استخدام المدادات التشابكية ، ملائما للغرض تماما ، عندما يزيد طول الباع على ٦ م .

ان العيب الوحيد لبلاطات السقف الخرسانية المسلحة ، الكبيرة الحجم ، هو وزنها الكبير ، الذي يؤدي الى استهلاك كمية كبيرة من المادة ، للانشاءات الحاملة (قطع التحميل الانشائية) . ولتخفيف وزن السقف ، يكون من الافضل عمليا ، استخدام بلاطات سقف الومنيومية ، عازلة للحرارة او غير عازلة . وقد اثبتت البحوث الخاصة بدراسة تأثير استخدام السقوف الالومنيومية في المباني



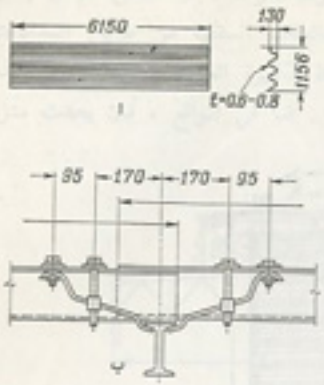
شكل (٧ – ٧) مثبتات المدادات

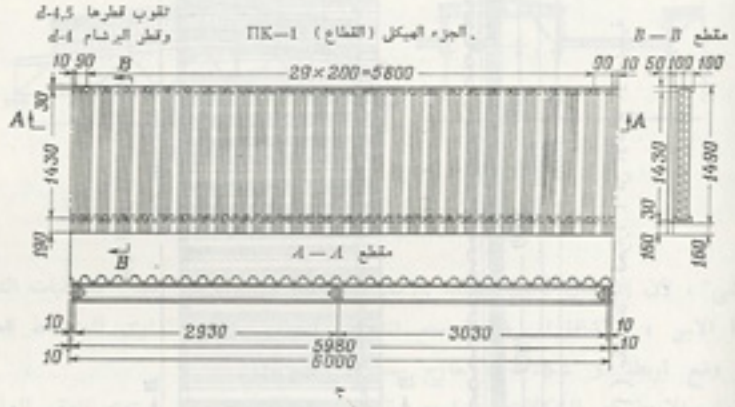


شكل (٧ – ٨) مدادة من القضبان الفولاذية المدورة

الصناعية ، بأن مقدار الاقتصاد الكلى فى تكاليف القسم الانشائى من المبنى ، الناجم عن تخفيف وزن السقف، يصل الى اكثر من ١٠ ٪ .

ويمكن صنع السقوف الباردة (غير العازلة للحرارة) ، من الالواح الالومنيومية المموجة ، التى يتراوح ثخنها بين ٠,٦ — ٠,٨ مم ، بحيث يبلغ ارتفاع الموجات ١٣٠ مم ، وطول الموجة ٣٥٠ مم ، عندما يبلغ طول اللوح ٦م (شكل ٧ — ٩ ، أ) . وتوضع هذه الالواح التى يبلغ عرض كل منها ١١٥٠ مم (فى المسقط) ، على المدادات الفولاذية (شكل ٧ — ٩، ب)،





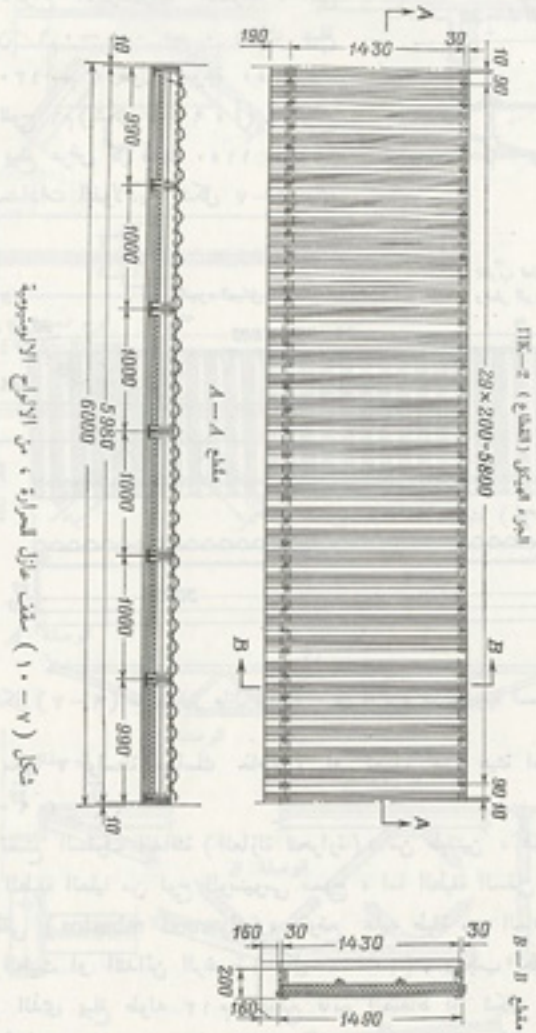
شكل (٧ – ٩) سقف غير عازل للحرارة ، من الالواح الالومنيومية المموجة

وتربط او تثبت معها ، بواسطة مماسك خاصة ، او تصمم على هيئة اجزاء هيكلية (الواح) معينة (شكل ٧ — ٩ ، ح) .

ويمكن ان تصنع السقوف الدافئة (العازلة للحرارة) ، من طبقتين ، عل هيئة اجزاء هيكلية (الواح) ، تتألف الطبقة العليا من لوح الومنيومى مموج ، اما الطبقة السفلى فتتألف من لوح من الاسبستوس الرقائقى (plywood asbestos) ، توضع عليه طبقة من المادة العازلة للحرارة ، مثل مادة صوف الخبث او الفلين الرغوية (شكل ٧ — ١٠) . ويجب تعزيز او تقوية الجزء الهيكلى (اللوح) الذى يبلغ طوله ١٢ م ، بوضع قائم انضغاط او شكال انضغاطى (strut) .

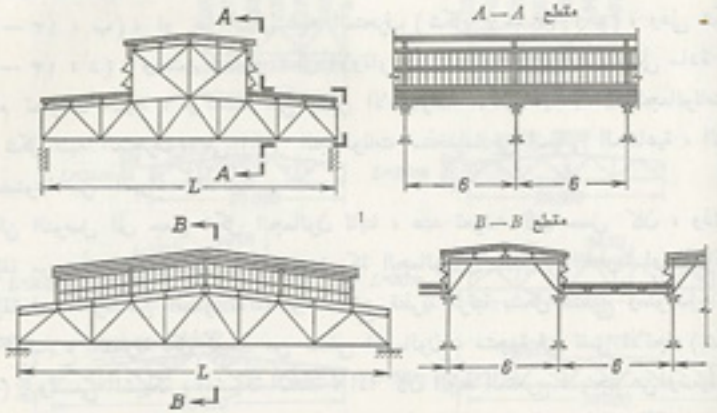
ويجب ان نأخذ فى الاعتبار ، عدم تلامس او اتصال الالواح الالومنيومية مع الفولاذ ، فى اية نقطة من النقاط . ولهذا السبب ، نرى بأن ربط الالواح الالومنيومية مع الجمالونات الفولاذية ، يتم بواسطة مسامير مجلفنة او مطلية بالكادميوم .

وفى بعض الاحيان توضع على الجمالونات السقفية مناور خاصة (skylights) ، وهى عبارة عن أجزاء مهمتها اضاءة المبنى من الاعلى ، كما تستخدم للتهوية الطبيعية . ويمكن وضع هذه المناور على طول المبنى (مناور طولية ، شكل ٧ — ١١ ، أ) ، او بعرض المبنى (مناور مستعرضة ،



شكل (٧ — ١٠) سقف طابق الحرارة ، من الالواح الالمنيومية

شكل ٧ — ١١ ، ب) . وتعلق فى المناور ، اطر معدنية منزلقة للنوافذ ، او مغالق معدنية . ان جميع الاحمال الناجمة عن ثقل السقف ، تنتقل الى الجمالونات السقفية عن طريق المدادات والمناور ، او مباشرة عن طريق البلاطات الخرسانية المسلحة الكبيرة الحجم . ويفترض فى هذه الحالة ، بأن الاحمال تؤثر مباشرة فى مستوى الجمالونات . اما فى الواقع ، فلا يحدث مثل

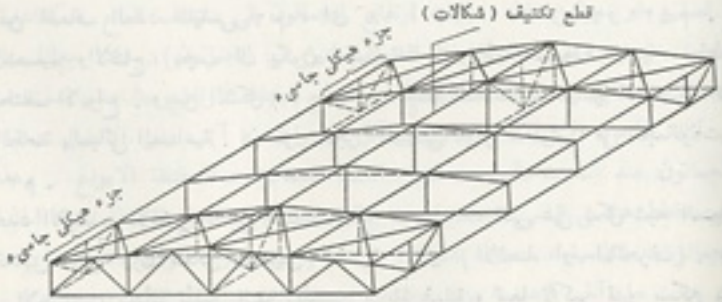


شكل (٧ — ١١) المناور العرضية والطولية

هذا الشيء ، لأن الاحمال تكون مسلطة بلاتمركزية قليلة ، ناجمة عن بعض المتطلبات التصميمية . ان هذا الامر ، بالاضافة الى ضرورة منع التحدب الجانبى للوتر العلوى المنضغط للجمالون ، يتطلب وضع اربطة او شكالات ، خارج مستوى الجمالون .

وتوضع الاربطة او الشكالات ، اما بصورة افقية ـ شكالات افقية فى مستوى الوتر العلوى ، او بصورة رأسية — شكالات رأسية بين الجمالونات ، توضع فى اطراف المبنى او البلوك الحرارى (شكل ٧ — ١٢) .

وتوصل الجمالونات المتوسطة (البينية) مع الاجزاء الهيكلية (الالواح) الرابطة الجاسئة ، بواسطة المدادات او قضبان التكتيف (braces) . وسوف نأتى الى بحث موضوع انشاء او عمل الاربطة والشكالات ، فى المبانى الصناعية ، فى البند الرابع والاربعين .

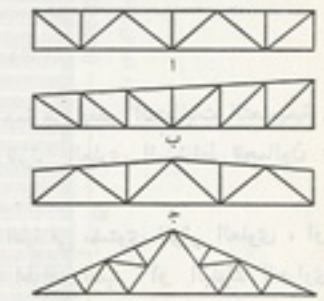


شكل (٧ — ١٢) الاربطة بين الجمالونات السقفية

البند الخامس والثلاثون – انواع الجمالونات.
تحديد الابعاد العامة. المسافة بين الجمالونات

تختلف الجمالونات تبعا لشكل او هيئة الاوتار ، وتبعا لنوع الشبيكة ايضا . ومن ناحية شكل الاوتار ، تكون الجمالونات متوازية الاوتار (شكل ٧ – ١٣ ، أ) ، او وحيدة الميل (شكل ٧ – ١٣ ، ب) ، او على شكل شبه المنحرف (شكل ٧ – ١٣ ، ج) ، وعلى شكل مثلث (شكل ٧ – ١٣ ، د) . ويعتمد اختيار شكل الاوتار على مهمة الجمالونات ، وعلى مادة السقف ، وعلى نظام تصريف المياه ، وكذلك على بعض الاعتبارات الاقتصادية . ان الجمالونات السقفية التى على شكل شبه المنحرف، هى اكثر الجمالونات استخداما فى المبانى الصناعية ، التى تكون سقوفها مصنوعة من المواد اللفائفية .

ويمكن التوصل الى جعل شكل الجمالون ثابتا ، عند تعرضه لأى حمل كان ، وذلك بانشاء شبيكة مؤلفة من مجموعة مثلثات . وتسمى شبيكة الجمالون ، الشبيكة القطرية او المائلة ، اذا كانت مؤلفة او مكونة من اقطار مائلة او اضلاع قطرية مرتبة بشكل متعرج ومتواصل ، وتكون هنا كافة الاضلاع القطرية لكل نصف من نصفى الجمالون ، متجهة فى نفس الاتجاه (شكل ٧ – ١٣ ، ب) . وتسمى الشبيكة ، الشبيكة المثلثة ، اذا كان الخط المتعرج ، ينجم عن وضعية الاضلاع القطرية وحدها ، المتجهة فى مختلف الاتجاهات بصورة متبادلة . وفى اغلب الاحيان ، تستخدم الشبيكة المثلثة، المحتوية على قوائم انضغاط اضافية (شكل ٧ – ١٣ ، أ و ب) ، وذلك لأن الطول الكلى لخطها المتعرج ، وعدد الوصلات ، اقل مما هما عليه فى الشبيكة المائلة او القطرية ، اما قوائم الانضغاط الاضافية ، فتعمل على اختصار حجم الجز" الهيكلى (اللوح) ، العائد للوتر العلوى للجمالون . وفى هذا النظام من الشبيكات ، لا تحتاج الى قوائم الانضغاط ، اللازمة لجعل شكل الجمالون ثابتا .

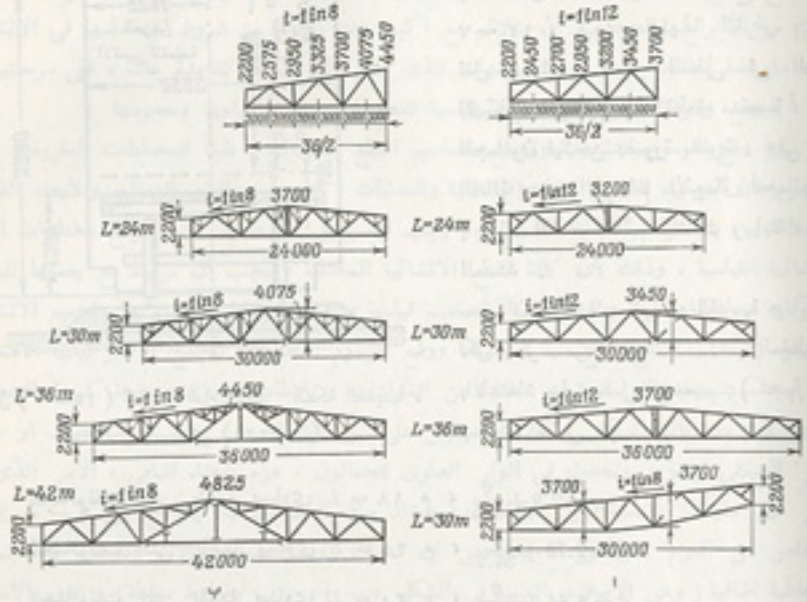


شكل (٧ – ١٣) انواع الجمالونات

ان البعدين العامين (الاساسين) للجمالون ، هما الباع والارتفاع . وقد جرى توحيد ابواع الجمالونات السقفية للمبانى الصناعية ، للحصول على مواصفات قياسية موحدة ، وتؤخذ كقاعدة عامة ، من اضعاف العدد القياسى ٦ م ، اى ١٨ ، ٢٤ ، ٣٠ ، ٣٦ و ٤٢ م . ولتسهيل عمليتى التصميم والانتاج ، يجب ان يكون للجمالونات الفولاذية الموحدة قياسيا ، مخطط هندسى قياسى لمختلف الابواع . ويبين الشكل (٧ – ١٤) ، امثلة للمخططات القياسية الموحدة ، للجمالونات السقفية الخاصة بالمبانى الصناعية . ان طول الجز" الهيكلى للوتر العلوى ، فى الجمالونات القياسية ، يساوى ٣ م .

ويحدد الارتفاع الافضل h فى منتصف باع الجمالونات التى على شكل شبه المنحرف ، من شروط تحقيق اقل وزن ممكن وتحقيق الجسؤة الكافية (الانحناء او الانحراف) . وهنا حتما تؤخذ فى الاعتبار ، مسألة تأمين النقل بأحسن طريقة عملية ، تبعا لأكبر قدر ممكن من الانتاج او العمل المركز فى المصنع . ان الوزن الاصغر لمثل هذه الجمالونات ، يتحقق تقريبا عندما

يتساوى وزن الاوتار ووزن الشبيكة (مع الواح التقوية) ، وهذا ما يحدث عندما تكون نسبة ارتفاع الجمالون الى باعه، كبيرة نوعا ما $\left(\frac{h}{L} \approx \frac{1}{5}\right)$. ان مثل هذا الارتفاع الكبير للجمالون السقفى ، غير ملائم من ناحيتى النقل والتجميع (التركيب) ، وذلك لأنه فى هذه الحالة ، يتحتم



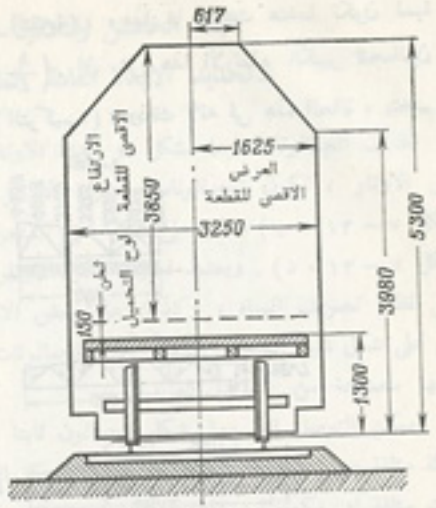
شكل (٧ – ١٤) المخططات القياسية الموحدة للجمالونات السقفية

نقل الجمالون على هيئة قطع منفصلة ، ثم يتم تجميعها او ربطها فى موقع التركيب ، الامر الذى يحتاج الى كثير من الوقت والتكاليف .

ولكى تتوفر امكانية النقل على خطوط السكك الحديدية ، يجب ان لا تزيد الابعاد الاجمالية للجمالون ، على ما يلى : ٣,٨ م فى الاتجاه الرأسى ، و ٣,٢ م فى الاتجاه الافقى (شكل ٧ – ١٥) . ان طول عربة النقل المسطحة ، ذات الاربع عجلات ، يبلغ ٩ م ، وطول عربة النقل المسطحة ذات الثمان عجلات ، يبلغ ١٣ م . ونظرا لمحاولة ادراج الابعاد الاجمالية للجمالونات السقفية ، ضمن حدود مقياس السكة الحديدية ، بحيث يتم تجميع او تركيب الجمالون فى موقعه ، وهو مؤلف من نصفين او جزئين فقط ، يحدد ارتفاع الجمالون فى منتصف الباع ، كقاعدة عامة ، بحيث لا يزيد على ٣,٨ م (المسافة بين اقصى نقطتين فى الجمالون) . واذا جعلنا ميل الوتر العلوى للجمالون السقفى ، مساويا للمقدار $\frac{1}{12}$ ، نستطيع ايجاد الارتفاع h_0 عند المسند ، ونحصل بذلك على كافة الابعاد الاجمالية للجمالون (شكل ٧ – ١٤ ، أ) . ومن الافضل عمليا ، جعل ارتفاع الجمالون عند المسند h_0 ، متساويا بالنسبة للجمالونات المختلفة الابواع . وهذا يجعلنا نحصل على مخطط هندسى قياسى موحد ، ونضمن التوحيد القياسى للقطع الرابطة . وقد اخذ الارتفاع h_0 فى الجمالونات القياسية ، مساويا للمقدار ٢,٢ م (بين ظهور الزوايا المعدنية) .

ولكن هناك حل آخر ، عندما يزيد ارتفاع الجمالون فى منتصف الباع ، على ٣,٨ م (عندما يبلغ ميل الوتر العلوى $\frac{1}{8}$)، ويكون الجمالون فى نفس الوقت قابلا للتصنيع والنقل تماما. ويتلخص

هذا الحل ، فى زيادة عدد الوصلات التركيبية (المنتجة فى الموقع) ، زيادة بسيطة (نستخدم ثلاث وصلات تركيبية بدلا من وصلتين ، راجع الشكل ٧ — ١٤ ، ب) . ولهذا الغرض ، يتم نقل او شحن الوتر السفلى فى الجزء الهيكلى الوسطى ، كقطعة منفصلة ، اما الجمالون فيشحن بصورة مقلوبة . وفى هذه الحالة يحدد الارتفاع الاجمالى للجمالون ، بارتفاع الضلع القائم الثالث ، ابتداء من السند .



شكل (٧ — ١٥) المقياس العام لخط السكة الحديدية ، فى الاتحاد السوفيتى (١٥٢٤ مم) .

ان وزن الجمالونات القياسية g كجم لكل متر مربع من المساحة المغطاة ، بالاعتماد على حمل التصميم q (كجم/م^2)، يساوى مايلى :

للجمالونات التى باعها يساوى $L = ١٨$ م ، $g = 2.2 + \frac{q}{123}$

للجمالونات التى باعها يساوى $L = ٢٤$ م ، $g = 2.78 + \frac{q}{54.2}$

للجمالونات التى باعها يساوى $L = ٣٠$ م ، $g = 4.44 + \frac{q}{34.7}$

للجمالونات التى باعها يساوى $L = ٣٦$ م ، $g = 5.27 + \frac{q}{21}$

ان افضل زاوية ميل بين الاقطار (الاضلاع) والوتر السفلى ، تتراوح بين ٤٥ — ٥٠° فى الشبيكة المثلثة ، وبين ٣٥ — ٤٥° فى الشبيكة المائلة .

ان اتجاه اول ضلع ارتكاز قطرى ، الذى يحدد نظام الشبيكة بأكمله ، يمكن ان يكون اما الى الاعلى (شكل ٧ — ١٣ ، ه وشكل ٧ — ١٤) ، او الى الاسفل (شكل ٧ — ١٣ ، أ وب) .

وفى المجال العملى لتصميم المبانى الصناعية والمدنية ، غالبا ما تستخدم اضلاع الارتكاز القطرية المتجهة الى الاعلى ، فى الجمالونات السقفية . وعند استخدام مثل هذا التصميم ، تكون جسزة الورشة اكثر ضمانة ، عند قيام الجمالون بمهمة العارضة الهيكلية او الاطارية (راجع الفصل التاسع) ، وتكون وصلات الارتكاز ووضع الاربطة ، سهلة التصميم من الناحية الانشائية . ان للجمالونات ذات الاضلاع القطرية المتجهة الى الاسفل ، ميزة قليلة الاهمية من الناحية التركيبية ، تتلخص فى وقوع نقطة الارتكاز ، فوق مركز ثقل الجمالون .

وتجدر الاشارة هنا ، الى ان التوحيد القياسى للقطع الانشائية الفولاذية ، يعتبر من الاجراءات المهمة فى تصنيع عملية البناء ، وذلك لأن التوحيد القياسى للقطع ، يقلل الى حد بعيد من عدد انواع القطع الانشائية وابعادها ، ويضاعف من كمية الانتاج بالدفعات ، الامر الذى يساعد على سرعة الانتاج وانخفاض تكاليفه . ولما كانت القطع الانشائية القياسية ، مصممة بعناية فائقة ، فانها تكون عادة اخف من القطع الانشائية المصممة تصميما خاصا . ان استخدام القطع الانشائية

القياسية، يؤدى الى اختصار المدة التى يستغرقها تصميم الانشاء او المبنى ، وذلك لأن القطع الانشائية القياسية ، هى فى حقيقة الامر ، مجموعة متنوعة من القطع المصممة لمقاومة احمال معينة .

ان القطع الانشائية القياسية ، تختلف بعض الشىء عن القطع ذات التصميم الخاص ، وذلك لأن نوع القطع الانشائية القياسية المنتجة ، يجب ان يحدد او يقرر ، بحيث يمكن لأقل عدد ممكن من الانواع والحجوم ، ان يتلائم مع اكبر عدد ممكن من شروط استخدامها فى الانشاء . وهذا ما يضفى طابعا خاصا على تصميمها ، الذى يجب ان يتم ، كقاعدة عامة ، على مرحلتين :

أ) وضع واقرار مخططات تصميمية قياسية للقطع الانشائية وانواعها وحجومها ؛

ب) وضع الرسوم التشغيلية وتجميع تصاميم القطع الانشائية ، طبقا للمخططات المقررة . ومن المفهوم بأن التوحيد القياسى للقطع الانشائية والمنشآت ، اى وضع واقرار النماذج والابعاد القياسية (العلاقة بين بارامترات الابعاد الاساسية) ، يجب ان يسبق اية عملية كانت لوضع مخططات القطع الانشائية القياسية ، وذلك لأن كافة القطع الانشائية المختلفة ، يجب ان ترتبط مع بعضها البعض بسهولة ، فى انشاء موحد . وعند وجود تصاميم قياسية ، تقتصر عملية التصميم على تجميع الانشاء ، واختيار وتركيب القطع الانشائية القياسية، ووضع الرسوم التخطيطية لتجميع او تركيب الانشاء .

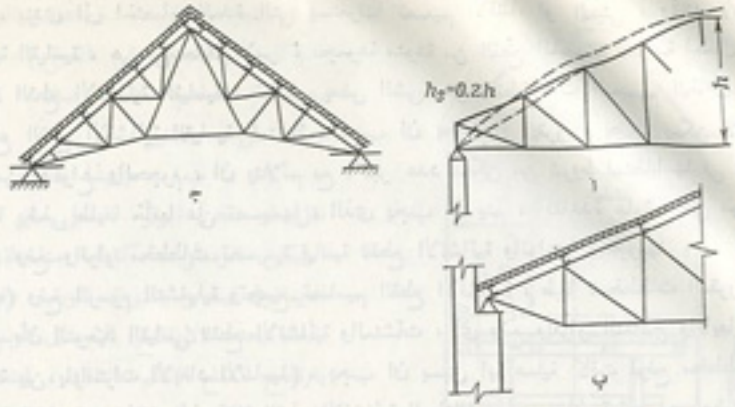
وعندما تستخدم فى السقوف الخالية من المدادات ، بلاطات خرسانية مسلحة كبيرة الحجم ، عرضها ١,٥ م ، فانها ترتكز بأضلاعها ، ليس على الوصلات فحسب ، بل وفى منتصف او وسط الجزء الهيكلى ايضا ، وتحدث فى الوتر العلوى للجمالون ، عزم انحناء اضافى ، الامر الذى له تأثير غير مفيد ، بالنسبة لوزن الجمالون (يزداد وزن الجمالون بما يتراوح بين ٤ — ٥ ٪) . وللتخلص من العزم المذكور ، يستحسن ان تضاف الى الشبيكة شكلات الضغاط او اضلاع انضغاطية اضافية (وهى الاضلاع المبينة فى الشكل ٧ — ١٤ ، ب بخطوط منقطة) ، تقاوم الاحمال الموضعية ، وتمنع بذلك انحناء او انثناء وتر الجمالون .

ان الجمالونات المثلثة الشكل ، تستخدم للسقوف الشديدة الانحدار او الميل (شكل ٧ — ١٦) . وفى هذه الحالة يجب ان نحاول جعل شكل الوتر العلوى للجمالون ، ملائما لكى تصبح القوى الموجودة فيه ، عند منتصف الباع وعند السند ، متساوية تقريبا . ولهذا الغرض ، يجب ان نضع على السند ، ضلعا قائما صغيرا ، ارتفاعه يساوى $h_1 = 0.2h$ (شكل ٧ — ١٦ ، أ) . ويؤدى هذا الامر ، فى حالة السقوف الشديدة الميل ، الى زيادة ارتفاع الجمالون ، والى وجود وصلة ارتكاز غير مريحة من حيث التصميم . ولهذا السبب ، يكون من الافضل عمليا ، نقل السند ، الى الوصلة العليا للجمالون (شكل ٧ — ١٦ ، ب) . وتكون الشبيكة عادة ، فى مثل هذه الجمالونات ، مائلة او قطرية ، وذلك لأنه فى حالة استخدام الشبيكة المثلثة ، نرى بأن الاضلاع القطرية المتجهة الى الاعلى ، تصنع مع الوتر العلوى للجمالون ، زاوية حادة جدا ، وتتطلب لأجل ربطها او تكتيفها ، الواح تقوية كبيرة .

وفى حالة السقوف الشديدة الميل، التى تقابلنا احيانا ($i = \frac{1}{1}$) ، تستخدم جمالونات مثلثة مدعمة بالشكالات ومعقدة التركيب ، تكون احيانا ذات وترسفلى مرفوع الى الاعلى (شكل ٧ — ١٦ ، ب) .

ان المسافة بين الجمالونات (خطوة الجمالونات) ، تعين عند وضع الرسم التخطيطى للانشاء بأكمله ، بعد ان يؤخذ فى الاعتبار ، التوحيد القياسى للقطع الانشائية واجزاء الانشاء .

وقد اثبتت نتائج الابحاث الخاصة بتعيين افضل مسافة (خطوة) بين الجمالونات ، فى التصاميم العملية ، بأن اكثر المسافات (الخطوات) القياسية انتشارا فى الانشاءآت ، هما ٦ م و ١٢ م .



شكل (٧ – ١٦) جمالون مثلث الشكل

البند السادس و الثلاثون – حساب وتصميم الجمالونات

١ – تحديد الاحمال

ان حساب الجمالونات السقفية ، يجرى تبعا لتأثير الانواع التالية من الاحمال ، التى تنتقل اليها على هيئة قوى مركزة فى الوصلات :

أ) الاحمال الساكنة ، الناجمة عن وزن السقف ووزن القطعة الانشائية بالذات ؛

ب) الاحمال المتنقلة (المتحركة) ، الناجمة عن الثلج والريح ومعدات الرفع والنقل المعلقة ، وغيرها .

ان معظم هذه الاحمال ، تكون موزعة بانتظام .

وتحسب الاحمال الموزعة بانتظام اولا بالنسبة لكل متر مربع من المساحة ، ثم تحدد مساحة التحميل الخاصة بكل وصلة من الوصلات ، وبعد ذلك يتم ايجاد القوة المركزة ، المؤثرة فى كل وصلة من وصلات الجمالون :

$$P = bd \sum q_i n_i \qquad (7-4)$$

حيث q_i — احمال التشغيل (الاستخدام) ، الموزعة بانتظام ، لكل متر مربع من المسقط الافقى ؛

n_i — عامل التحميل ، المناظر للحمل ؛

d — طول الجز° الهيكلى لوتر الجمالون ، الذى سلطت عليه الاحمال ؛

b — المسافة بين الجمالونات (خطوة الجمالونات) .

وفى حالة السقوف الشديدة الميل ، يجب اعتبار الحمل الناجم عن وزن السقف بالذات g_r ، مساويا للمقدار $\frac{g_r}{\cos \alpha} = q_r$.

ان الاحمال الناجمة عن الوزن الذاتى للجمالونات السقفية والاربطة والمدادات والمناور ، المؤثرة على متر مربع واحد من مساحة المبنى او الانشاء ، يمكن ان تحدد من الجدول (٩ — ٣) .

ويؤخذ وزن الاقسام الزجاجية فى الجمالون ، مساويا لـ ٣٥ كجم للمتر المربع الواحد من المساحة المزججة (السطح المزجج) . وتؤخذ احمال الثلج ، وفقا للمواصفات القياسية السوفيتية

الخاصة بذلك . وفى هذه الحالة ، يعتبر الثلج عادة ، موزعا بانتظام على مساحة السقف بأكملها . واحيانا عند حساب الجمالونات السقفية ، تؤخذ فى الاعتبار امكانية وجود الثلج على جانب واحد فقط من جانبى الجمالون (على نصف باع الجمالون) ، الامر الذى يعطى بالنسبة للاضلاع القطرية المتوسطة ، قوى اكبر ، ويمكن ان يؤدى حتى الى حدوث تغيير فى علامة القوة . ولكن لما كان تعيين مقطع الاضلاع القطرية المتوسطة ، يتم فى الغالب بناء على اعتبارات تصميمية خاصة (وفقا لنسبة القضافة الكافية) ، وذلك نتيجة للقوى الصغيرة نسبيا ، الموجودة فيها ، نرى بأن حساب حمل الثلج وتوزيعه بالطريقة السابقة الذكر ، يكون فى معظم الحالات ، غير ضرورى من الناحية العملية . اما حمل الريح ، فيؤخذ فى الاعتبار فقط بالنسبة للجمالونات التى تزيد زاوية ميل وترها العلوى ، على ٣٠ درجة

٢ – تحديد القوى فى قطع الجمالونات

ان الفرضية الاساسية التى يمكن السماح بها عند حساب وتصميم الجمالونات ، هى اعتبار ان كافة القضبان متصلة فى الوصلات اتصالا مفصليا .

وهذه الفرضية ممكنة عادة ، عندما تكون النسب صغيرة ، بين ارتفاع مقطع القضيب h وطوله L $\left(\frac{h}{L} \leqslant \frac{1}{10}\right)$.

واسهل طريقة لتحديد القوى الناجمة عن الاحمال الساكنة ، فى الجمالونات السقفية ، هى الطريقة التخطيطية، وذلك برسم المخطط البيانى، المسمى بمخطط كريمون (Cremona's diagram) للقوى ، كما هى الحالة فى الجمالون المحدد استاتيا . ويمكن كذلك تحديد القوى بالطريقة التحليلية .

وعندما يصمم السقف بدون مدادات ، يمكن ان يتعرض الوتر العلوى للجمالونات السقفية ، بالاضافة الى تعرضه الى قوى الانضغاط ، الى الانحناء الموضعى ، الناجم عن ارتكاز (استناد) البلاطة الكبيرة الحجم ، فى وسط الجز° الهيكلى (بالرغم من انه فى هذه الحالة ، كما اشرنا سابقا ، يكون من الافضل لاجل اقتصاد الفولاذ ، وضع شكالات او اضلاع انضغاطية) . واذا اعتبرنا الوتر العلوى للجمالون ، بمثابة عتبة متواصلة ، مرتكزة او محمولة على مساند مرنة الهبوط (وصلات او مفاصل الجمالون) ، يمكن عندئذ ايجاد تأثير تصريف الحمل الناجم عن عزوم المساند ، على العزوم الموجودة فى وسط الجز° الهيكلى . وقد اثبتت نتائج الحسابات ، بأن هذا التاثير غير كبير . ولهذا السبب ، نجد بأن العزم الناجم عن الحمل الموضعى P_{loc} ، فى الجز° الهيكلى الاول ، الذى يبلغ طوله d ، يحدد عادة كما فى العتبة البسيطة :

$$M_1 = \frac{P_{loc} d}{4}$$

اما فى الاجزاء الهيكلية الاخرى، فان تأثير تصريف الحمل ، يمكن ان يؤخذ فى الاعتبار ، بادخال عامل قيمته تساوى ٠,٩ :

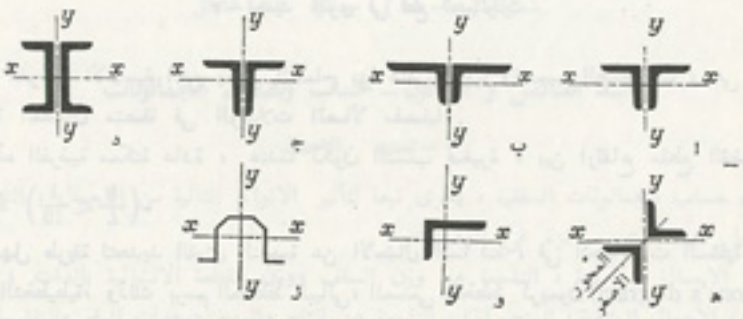
$$M_2 = 0.9 \frac{P_{loc} d}{4}$$

البند السابع والثلاثون ـ اختيار مقاطع قطع الجمالونات

١ ـ تحديد مساحة مقطع القطعة

تتعرض قضبان الجمالونات بالدرجة الاساسية ، الى القوى المحورية ، وهى قوى الشد او الانضغاط .

وان افضل مقطع من الناحية التصميمية ، بالنسبة لقضبان الجمالونات السقفية ، وهو المقطع الذى يكون بناء على ذلك اكثر انتشارا من الناحية العملية ، هو المقطع المؤلف من زاويتين معدنيتين على هيئة ـ[(شكل ٧ ـ ١٧ ، أ ، ب ، حـ) . ونظرا لوجود قطعتين متطابقتين فى المقطع ، تكون القطعة متماثلة بالنسبة للمستوى الرأسى . ويتم انجاز وتكوين وصلات الجمالونات ، باستخدام



شكل (٧ ـ ١٧) مقاطع الجمالونات السقفية

الواح تقوية ، تربط معها من كلتا الجهتين ، قضبان الاوتار والشبكة . ان المقاطع المؤلفة من زاويتين معدنيتين ، تفصلهما مسافة ضرورية لادخال لوح التقوية ، يمكن تجميعها من زوايا متساوية الساقين (شكل ٧ ـ ١٧ ، أ) ، او مختلفة الساقين ، موضوعة بحيث تكون سيقانها (شفهاتها) العريضة (شكل ٧ ـ ١٧ ، ب) متجهة الى الخارج ، او تكون سيقانها الضيقة (شكل ٧ ـ ١٧ ، حـ) ، متجهة الى الخارج . وهناك انواع اخرى من المقاطع (شكل ٧ ـ ١٧ ، د ، هـ) .

ويمكن كذلك ان تتألف مقاطع كافة قطع الجمالونات السقفية ، من زوايا معدنية منفردة (شكل ٧ ـ ١٧ ، و) . وتكون كمية الفولاذ المستهلكة فى مثل هذه الجمالونات ، مساوية للكمية المستهلكة فى الجمالونات العادية ، ولكن حجم العمل المبذول فى الانتاج يكون اقل ، نتيجة لقلة عدد الاجزاء ، ولعدم وجود ضرورة لحنى او لى القطع ، اثناء القيام باعمال اللحام . ولكن نظرا لوجود بعض الصعوبات عند تصميم الوصلات ، وعدم تسليط الاحمال بصورة متماثلة ، يكون من الملائم لهذا الغرض، استخدام هذه الجمالونات على الاغلب، فى المبانى او الانشاآت، المقامة فى وسط مؤكسد ، وذلك لأنها لا تحتوى على شدوخ او تصدعات ، وهذا ما يجعلها تطلى بصورة احسن .

ويمكن كذلك استخدام المقاطع المحنية الرقيقة الجدران (شكل ٧ ـ ١٧ ، ز) ، فى القطع المنضغطة من الجمالونات .

ويتم تحديد مساحة المقطع اللازمة للقطعة الشدودة (قطعة الشد) ، من الصيغة (6 ـ 1) كما يلى :

$$A_{req\,n} \geq \frac{F}{R} \qquad (7-5)$$

ان مقاطع القطع المشدودة (قطع الشد) ، يجب ان تكون ذات شكل جاسئ* ، لكى تمنع الجمالون من التشوه اثناء عمليتى الشحن والتجميع او التركيب ، وتمنع القطعة بالذات من الانحناء او الانثناء ، الناجم عن الوزن الذاتى . ولذلك نرى بأن المواصفات القياسية للبناء ، لا تسمح بزيادة نسبة قضالة القطع المشدودة ، على ٤٠٠ (راجع للجدول ٧ ـ ١) .

ويتم تحديد مساحة المقطع اللازمة للقطعة المنضغطة من الصيغة (14 ـ 2) كما يلى :

$$A_{req\,cr} \geq \frac{F}{\varphi R} \qquad (7-6)$$

وبالنسبة لقطع (قضبان) شبيكة الجمالونات ، التى تكون فيها قوة الانضغاط صغيرة نسبيا ، ومقاطعها صغيرة وقليلة الجسؤة ، مما يجعلها قابلة للتشوه بسهولة اثناء صنعها وتركيبها ، يجب ادخال عامل الخدمة الذى يساوى $k_s = 0{,}8$ ، والذى يعمل على تقليل المقاومة التصميمية (راجع الجدول ٢ من الملحق الاول فى آخر الكتاب) . ان زيادة لا تمركزية تسليط القوى (الاحمال) ، تعتبر من الامور المحذورة ، بالنسبة للقطع المنضغطة .

وعند معرفة القوة F والمقاومة التصميمية R ، تحصل على مساحة المقطع الصغرى ، عند القيمة القصوى لعامل التحدب φ ، التى تحدد من الجدول فى الملحق الثانى ، بالاعتماد على نسبة قضالة القطعة λ . وهكذا نرى بأن مسألة تحديد مساحة المقطع اللازمة ، للقضيب المنضغط ، يجب ان تحل بطريقة التقريب المتتالى ، بالحصول اولا على مختلف قيم العامل φ . ولاجل التقريب الاول ، يمكن استخدام القيم التالية للعامل المذكور : لأوتار الجمالون $\varphi = 0{,}7 - 0{,}8$ ؛ لقطع الشبيكة $\varphi = 0{,}5 - 0{,}6$.

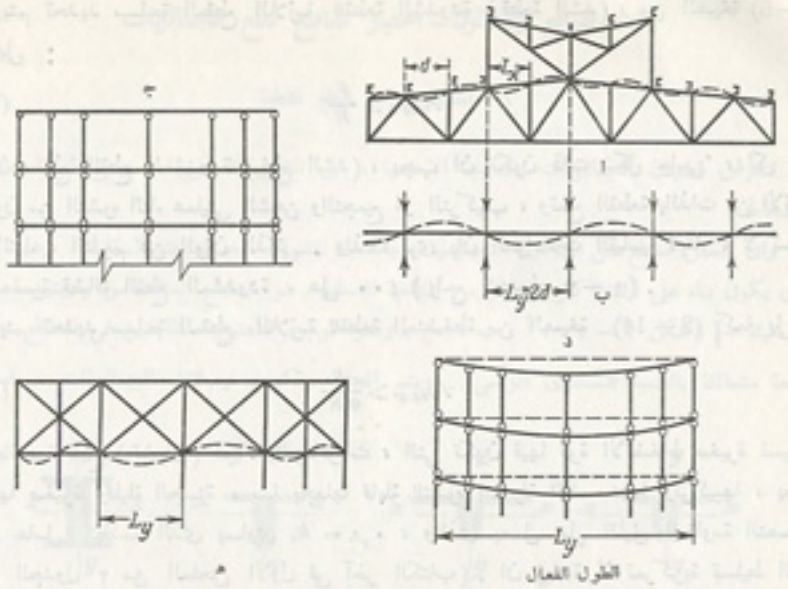
وهكذا نجد بأن الشئ* الاساسى ، الذى يؤثر على اختيار نوع مقطع القطعة المنضغطة للجمالونات ، هو عامل التحدب φ .

٢ ـ الطول الفعال للقضبان المنضغطة فى الجمالونات السقفية

فى الحالة الحرجة ، يمكن ان يفقد القضيب المنضغط استقراره (يتحدب) فى اى اتجاه كان . ولنبحث الآن اتجاهين رئيسيين وهما : فى مستوى الجمالون ، وفى المستوى العمودى على مستوى الجمالون .

ان التشوه المحتمل للوتر العلوى للجمالون ، عند فقدان الاستقرار فى مستوى الجمالون ، يمكن ان يحدث بالطريقة المبينة فى الشكل (٧ ـ ١٨ ، أ) ، اى بين وصلات (مفاصل) الجمالون . ان هذا النوع من التشوه ، يناظر الحالة الاساسية للتحدب ، مع ادخال معامل الطول $k' = 1$ [راجع البند العاشر ، الصيغة (16 ـ 2)]. ولهذا السبب يؤخذ الطول الفعال للوتر العلوى المنضغط ، فى مستوى الجمالون ، مساويا لطوله الهندسى (بين مراكز الوصلات اوالمفاصل) :

$$L_e = L$$



شكل (٧ — ١٨) رسم توضيحى لتحديد الطول التصميمى لقطع الوتر العلوى للجمالون

و بالنسبة للاضلاع القطرية (باستثناء ضلع الارتكاز ، الذى يعتبر امتدادا للوتر) والاضلاع القائمة ، يؤخذ الطول الفعال فى مستوى الجمالون ، مساويا لما يلى :

$$L_e = 0.8\,L$$

و ذلك نظرا لتثبيت اطراف القضبان، تثبيتا معينا، تبعا لوجود القطع المشدودة، المربوطة او الموصولة مع لوح التقوية . و فى الحقيقة ، عند فقدان الاستقرار ، نرى بأن الضلع القطرى (الضلع القائم) المتضغط ، المربوط مع لوح التقوية ، يحاول ان ينحنى او يلوى هذا اللوح ، ولكن القطع المشدودة ، التى ترتبط مع لوح التقوية ايضا ، تقاوم هذا الانحناء او اللى ، و بهذا تقوم بمهمة نوع من المثبتات ، التى تجعل من الممكن ادخال او استخدام معامل الطول ، الذى يساوى $k = 0{,}8$.

ان الطول الفعال للقطع المتضغطة ، فى المستوى العمودى على مستوى الجمالون ، يحدد بالمسافة الموجودة بين نقاط تثبيت القطع المذكورة . و هكذا نرى بأنه فى السقف الجمالونى المبين فى الشكل (٧ — ١٨ ، أ) ، الذى يحتوى على متور و مدادات ، يمكن ان يتعرض قسم او جزء الوتر العلوى المتضغط ، الواقع تحت المتور ، الى التحدب فى مستوى الجمالون ، بطول فعال يساوى طول الجزء الهيكلى $L_x = d$ ؛ و يتعرض الى التحدب فى المستوى العمودى على مستوى الجمالون (فى المستوى الافقى) ، بطول فعال يساوى $L_y = 2d$ (شكل ٧ — ١٨ ، ب) . اما بالنسبة للاقسام او الاجزاء الباقية من الوتر العلوى المتضغط ، فان الاطوال الفعالة عند التحدب ، فى المستوى العمودى على مستوى الجمالون، سوف تكون متساوية ، و ذلك نظرا لوجود المدادات عند الوصلات او المفاصل ؛ اى ان $L_y = L_x = d$. ويجب ان نأخذ فى الاعتبار بأن المدادات تكون عبارة عن نقاط ارتكاز ، للوتر العلوى فى حالة واحدة فقط، هى عندما تكون مثبتة او محصورة ،

لمنع تحركها بحرية فى المستوى الافقى . و على سبيل المثال ، نرى بأن الشكل (٧ — ١٨ ، هـ) ، يبين السقط الافقى لجمالونات ذات مدادات ، متصلة اتصالا مفصليا مع الجمالونات ، و تسمح بالتحرك المطلق للجمالونات فى المستوى الافقى . و نتيجة لذلك ، يمكن ان يفقد الوتر العلوى استقراره (يتحدب) ، كما مبين فى الشكل (٧ — ١٨ ، هـ) ، ؛ اى عندما يكون طوله الفعال ، مساويا لباع الجمالون بأكمله . وبعد وضع او استخدام الاربطة فقط ، فى مستوى الوتر العلوى (شكل ٧ — ١٨، هـ) ، يؤمن ثبات المدادات (فى حدود السلوك المرن لجمالون التكتيف الافقى) ، التى تحصر نقاط الوتر العلوى المتضغط ، فى الاتجاه الجانبى ، و تحدد بذلك طوله الفعال فى المستوى العمودى على مستوى الجمالون . و عادة توضع الاربطة ، بطريقة معينة ، بحيث تجعل كل وصلة من الوصلات المربوطة بالاربطة ، تقع بين جزء هيكلى وآخر ، اى عبر كل جزء هيكلى واحد (من الصعب جدا تثبيت الرباط فى وسط المدادة ، من ناحية التركيب او التجميع) . و لهذا السبب ، فى اكثر الحالات ، عند تحديد نسبة قضافة الوتر المتضغط للجمالونات السقفية ، فى المستوى العمودى على مستوى الجمالون ، يؤخذ طوله الفعال مساويا لضعف طول الجزء الهيكلى، حتى عندما تحتوى كل وصلة من الوصلات على مدادات (الا اذا كانت المدادة غير مثبتة برباط) .

ويؤخذ الطول الفعال للاضلاع القطرية و الاضلاع القائمة المتضغطة ، فى المستوى العمودى على مستوى الجمالون ، مساويا لطولها الهندسى .

وفى السقف الخالى من المدادات ، تلحم البلاطات الكبيرة الحجم ، مع الاوتار العليا للجمالونات . و بهذا الشكل ، فانها تؤمن استقرار الوتر العلوى للجمالون ، فى المستوى العمودى على مستوى الجمالون. ولكن اثناء التركيب او التجميع (او فى حالة وجود متور) ، يمكن على اية حال ، ان تدعو الحاجة الى استخدام اربطة (راجع الفصل التاسع) .

٣ — اختيار نوع المقاطع

ان اختيار نوع الزوايا المستخدمة للوتر العلوى المتضغط فى الجمالونات السقفية ، يتم بعد ان يؤخذ فى الاعتبار ، اقل استهلاك ممكن من المادة ، و تأمين استقرار منتظم للوتر فى جميع الاتجاهات ، و كذلك اعطاء الوتر الجسؤة الضرورية ، فى المستوى العمودى على مستوى الجمالون ، لتسهيل عمليتى النقل (الشحن) و التركيب .

و لما كانت الاطوال الفعالة للجمالون ، فى مستوى الجمالون وفى المستوى العمودى عليه ، مختلفة كثيرا عن بعضها البعض ، فى حالات كثيرة ($L_y = 2L_x$) ، فلاجل مساواة نسب القضافة ، لابد ان تكون انصاف اقطار الحركة التدويمية ، مختلفة هى الاخرى ($r_x \approx 2r_y$) . ان الزوايا التى تنطبق على هذه القاعدة ، هى الزوايا المختلفة الساقين ، الموضوعة بحيث تكون سيقانها الطويلة ، متجهة فى اتجاه المستوى العمودى على مستوى الجمالون (شكل ٧ — ١٧ ، ب) .

واذا كانت كل وصلة من وصلات الوتر العلوى مربوطة (مثبتة) بطريقة ما ، بواسطة الاربطة او بلاطات السقف (اى $L_x = L_y$) ، فان الاستقرار المنتظم يؤمن ، باستخدام مقطع مؤلف من زاويتين مختلفتى الساقين ، موضوعتين بحيث تتجه سيقانهما القصيرة الى خارج مستوى الجمالون (شكل ٧ — ١٧ ، هـ) ، وذلك لأنه فى هذه الحالة يكون لدينا $r_y \approx r_x$. ولكن الجمالونات التى يكون مقطع وترها العلوى بهذا الشكل ، تعتبر صعبة النقل (الشحن) والتركيب ، وذلك لأنها تنحنى

بسهولة الى خارج مستواها ، الامر الذى يستدعى انفاق مصروفات اضافية لتصحيح او تعديل القطع الانشائية ، ونتيجة للتأخير فى عملية الانشاء . ولهذا السبب ، لا ينصح باستخدام مثل هذا المقطع ، للوتر العلوى للجمالون . ان المقاطع المؤلفة من زوايا متساوية الساقين ، لا تختلف عن المقاطع المؤلفة من زوايا غير متساوية الساقين ، الا قليلا، باعتبارها افضل بعض الشئ من حيث نسب انصاف اقطار الحركة التدويمية ، الاكثر ملائمة ، مع العلم بأن مجموعة مقاطع الزوايا المتساوية الساقين ، اكثر تنوعا واوسع من مجموعة مقاطع الزوايا المختلفة الساقين .

وهكذا نرى بأن المقاطع الافضل عمليا للوتر العلوى فى الجمالونات السقفية ، هى المقاطع المؤلفة اما من زاويتين مختلفتى الساقين ، موضوعتين بحيث تتجه سيقانهما الطويلة الى خارج مستوى الجمالون ، او من زاويتين متساويتى الساقين .

وبالنسبة لأضلاع الارتكاز القطرية المنضغطة ، التى تكون اطوالها الفعالة متساوية فى كلا المستويين ($L_x = L_y$) ، يمكن وضع الزوايا المختلفة الساقين ، بالترتيب المبين فى الشكل (٧ — ١٧ ، هـ) ، وذلك لأن انصاف اقطار الحركة التدويمية لهذا المقطع ، متساوية تقريبا .

ومن الافضل عمليا ، ان تستخدم لاضلاع الارتكاز القطرية ، زوايا مختلفة الساقين ، موضوعة بحيث تتجه سيقانها الطويلة الى خارج مستوى الجمالون ، وتقلل بذلك الطول الفعال للضلع القطرى ، فى مستوى الجمالون ، الى نصف ما هو عليه ، باستخدام شكلات (اضلاع) انضغاطية (شكل ٧ — ١٤ ، أو ب) . ان مثل هذا التصميم ، ملائم للغرض ليس من ناحية اقتصاد المعدن فحسب ، بل كذلك لأن الشكل او الضلع الانضغاطى ، يقوى او يعزز القطعة البارزة من الوتر العلوى ، ويمنعه من الانحناء اثناء عملية نقل الجمالونات .

وتصمم بقية اضلاع الارتكاز القطرية ، التى يوجد اختلاف صغير بين اطوالها الفعالة ($L_x = 0.8\,L;\ L_y = L$) ، فى اغلب الاحيان ، من زوايا متساوية الساقين (شكل ٧ — ١٧ ، أ) ، لأن النسبة بين انصاف اقطار الحركة التدويمية r_y و r_x فى مثل هذا المقطع ، تناظر تقريبا ، النسبة المشار اليها بين الاطوال الفعالة. وفى جميع المقاطع التى تحدثنا عنها ، يتم تحقيق الاجهاد المشترك للمقطعين ، بوضع الواح ايلاج (الواح مولجة) صغيرة، فى المسافات او الخلوصات الموجودة بين الواح التقوية (راجع الشكل ٧ — ١٩) .

شكل (٧ — ١٩) سقف جمالونى يحتوى على زاوية طرفية (حائية) واحدة

وتكون اهمية نوع ووضع الزوايا اقل ، بالنسبة للقطع المشدودة ، وذلك لأن العامل الحاسم بالنسبة لها ، هو مساحة المقطع الصافية . ولهذا السبب ، فانها يمكن ان تنجز من الزوايا المتساوية الساقين والمختلفة الساقين على حد سواء ، الموضوعة بحيث تكون اضلاعها الطويلة متجهة الى خارج مستوى الجمالون (اذا كان من الضرورى زيادة الجسؤة فى الاتجاه الجانبى ، لتحسين ظروف التركيب او التجميع) . وفى الورشات ذات ظروف الاشتغال الصعبة ، لا يجب ان تزيد نسبة القضافة الجانبية للوتر السفلى ، على ٢٥٠ (راجع الجدول ٧ — ١) ، وهذا الامر ، عندما تبلغ المسافة بين الاربطة ،

على امتداد الوتر السفلى ١٢ م او ١٨ م ، يحتاج كذلك فى اغلب الاحيان ، الى استخدام زوايا مختلفة الساقين .

اما بقية انواع المقاطع ، فتستخدم فى حالات نادرة ، فقط عند وجود متطلبات خاصة من حيث التصميم والانشاء . مثلا ، الاوتار المؤلفة من مقطعين على شكل مجرى (⎍) ، كما مبين فى الشكل (٧ — ١٧ ، د) ، تستخدم فى الحالات التى تتعرض فيها ، ليس للقوة المحورية فحسب ، بل لعزم موضعى كبير ايضا ، ناجم عن الحمل المسلط بين وصلات الجمالونات (تعليق الناقلات فى الوتر السفلى ، الوتر العلوى لعوارض الونش الجمالونية .. الخ).

وتصمم مقاطع الاضلاع القائمة فى الجمالونات ، على شكل — I ، بحيث يتألف كل مقطع من زاويتين متساويتى الساقين . ويستخدم المقطع التصالبى (cross-shaped) المؤلف من زاويتين (شكل ٧ — ١٧ ، هـ) ، فى الاضلاع القائمة للجمالونات ، فى الحالات التى يكون فيها من الضرورى ان تربط معها قطع انشائية اخرى ، تتصل مع الجمالونات فى المستوى الافقى ، بزاوية قائمة . ان نصف قطر الحركة التدويمية الاصغر ، لهذا المقطع ، اكبر مما هو عليه فى المقطع الذى على شكل — I ، ولهذا السبب ، يكون استخدام هذا المقطع ملائما للغرض ايضا ، فى القطع التى تحتاج الى جسؤة بالدرجة الاساسية . ان المقاطع المؤلفة من زاوية واحدة فقط ، لا تستخدم فى القطع الاساسية للجمالونات العادية ، نتيجة لعدم تماثل وصلاتها . ان استخدام مثل هذه المقاطع ، ممكن فقط بالنسبة للقطع الثانوية من الجمالون ، التى تكون معرضة الى اجهادات منخفضة جدا . وطبقا للمواصفات القياسية السوفييتية ، عند حساب الزوايا المنفردة المنضغطة ، المثبتة من ساق او شفة واحدة ، يدخل فى الحساب عامل الخدمة ، الذى يساوى ٠,٧٥ (راجع الجدول ٢ ، من الملحق الاول فى آخر الكتاب) .

٤ — اختيار المقاطع

عند اختيار مقاطع قطع الجمالونات ، يجب ان نحاول استخدام اقل عدد ممكن من ارقام وحجوم المقاطع الزاوية ، لتسهيل عملية دلفنة المعدن وتخفيض تكاليف شحنه (وذلك لأن الدلفنة فى المصانع ، خاصة بالمقاطع) . وعادة يمكن اختيار افضل مقطع عملى لقطع الجمالونات السقفية ، باستخدام زوايا ذات حجوم قياسية متنوعة ، تتراوح بين ٦ — ٨ انواع .

ويتم فى البداية اختيار مقاطع القطعة المنضغطة ، التى تتعرض لأكبر قوة تصميمية . وبعد ذلك يتم اختيار القطعة التى تتعرض لأصغر قوة (فى اغلب الاحيان ، تبعا لنسبة القضافة الحدية) ، وبهذا يتحدد شكل وابعاد المقاطع الزاوية . وعند اختيار المقاطع الزاوية للقطع المنضغطة ، يجب ان نحاول استخدام زوايا بأقل ثخن ممكن ، لأن انصاف اقطار حركتها التدويمية ، تكون ذات قيمة كبرى نسبيا .

ولتجنب الانحناء المحتمل اثناء عملية الشحن ، يستخدم اصغر مقطع زاوى ممكن ٥٠×٥٠ والامر الذى له اهمية جوهرية بالنسبة لاختيار المقاطع ، هو حصر نسبة القضافة الحدية للقضبان ، الذى تمليه ضرورة منع ارتخاء قطع الجمالونات ، وتذبذبها عند تأثير الاحمال الدينامية ، وانحنائها او التوائها اثناء عملية النقل (الشحن) ، وغير ذلك .

ان نسبة القضافة الحدية ، المقررة فى المواصفات القياسية السوفييتية ، للقطع الانشائية الفولاذية ، مدرجة فى الجدول (٧ — ١) .

جدول ٧ — ١

نسبة القضاة الحدية λ للقطع المتضغطة والمشدودة

اسماء القطع الانشائية	القطع المتضغطة	عند التأثير المباشر للاحمال الديناميه	عند تأثير الاحمال الاستاتيكية	في الانشاءات او المباني ذات ظروف الاشتغال الصعبة
الاوتار واضلاع الارتكاز القطرية والاضلاع القائمة للجمالونات ، التي تقوم بنقل رد فعل الارتكاز	١٢٠	٢٥٠	٤٠٠	٢٥٠
بقية قطع الجمالونات	١٥٠	٣٥٠	٤٠٠	٣٠٠
اربطة السقوف (باستثناء قضبان التكثيف)	٢٠٠	٤٠٠	٤٠٠	٣٠٠

وفي الانشاءات غير المعرضة لتأثير الاحمال الدينامية ، تتم مراجعة نسبة قضاة القطع المشدودة، في المستوى الرأسي فقط .

وعندما تكون القوى في القطع (القضبان) المتضغطة ، صغيرة نسبيا ، يتم اختيار المقطع طبقا لقيمة نسبة القضاة الحدية المعطاة λ . ويحدد في البداية ، نصف قطر الحركة التدويمية المطلوب، من المعادلة التالية :

$$r_{req} = \frac{L_e}{\lambda_l}$$

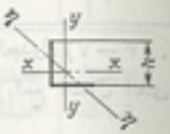
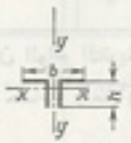
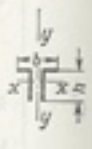
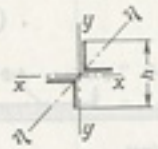
وبموجب نصف قطر الحركة التدويمية ، يتم اختيار الزوايا المناظرة . ولتسهيل عملية تحديد الابعاد او الحجوم الضرورية للمقطع ، التي تساعد على تعيين الابعاد الضرورية للزوايا ، فقد ادرجت في الجدول (٧ — ٢) ، القيم التقريبية لأنصاف اقطار الحركة التدويمية لمختلف انواع مقاطع القطع ، المصنوعة من الزوايا المعدنية .

وعند اختيار مقاطع اوتار الجمالون ، كان من الممكن اخذ افضل مقطع من الناحية العملية ، لكل جزء من الاجزاء الهيكلية (تبعا لتغيير القوة)، ولكن هذا الامر كان سيؤدي الى تجهيز عدد كبير من الوصلات والمقاطع المتنوعة ، وهذا يعني حدوث زيادة كبيرة في حجم العمل المبذول في الانتاج ، ويصبح طلب تجهيز النماذج المعدنية معقدا ، وتنعدم امكانية اقتصاد المعدن تقريبا (وذلك بسبب ضرورة انشاء الوصلات) . ولهذا السبب ، جرت العادة ، بالنسبة للجمالونات التي يصل طول باعها الى ٢٤ م ، على استخدام اوتار متماثلة المقطع ، الذي يتم اختياره اعتمادا على القوة القصوى . اما في الجمالونات التي يصل طول باعها الى ٢٤ م واكثر ، فيكون من الافضل عمليا تغيير مقطع الوتر ، على امتداد طول الجمالون ، وهنا يتحتم ، كقاعدة عامة ، تغيير عرض الوتر فقط ، مع الحفاظ على نفس ثخن الزوايا المتساوي ، وذلك لتسهيل عملية انشاء الوصلات ، باستخدام اطواق وصل زاوية (راجع الشكلين ٧ — ٢٤ و ٧ — ٢٥) .

وفي الجمالونات المستندة مفصليا على الاعمدة ، يمكن لغرض تخفيض الوزن ، الاستغناء عن الزاوية الثانية لمقطع الوتر العلوي ، في الجزء الهيكلي الاول ، حيث تكون القوة الناجمة عن

جدول ٧ — ٢

القيم التقريبية لانصاف اقطار الحركة التدويمية لمقاطع القطع المصنوعة من زوايا معدنية

مقاطع القطع	انصاف اقطار الحركة التدويمية		مقاطع القطع	انصاف اقطار الحركة التدويمية	
	r_{η}, r_x	r_y		r_{η}, r_x	r_y
	$r_{\eta} = 0.195\,h$	$r_x = r_y = 0.3\,h$		0.32 h	0.2b
	$r_x = 0.3\,h$	$r_y = 0.2b$		$r_{\eta} = 0.185\,h$	0.21 h
	0.28 h	0.24 b		0.3 h	0.17 b

تأثير الاحمال الرأسية ، مساوية للصفر . وعادة في مثل هذه الحالات ، تمتد في هذا الجزء الهيكلي ، زاوية واحدة فقط ، من زوايا المقطع المختار للجزء الهيكلي المجاور (شكل ٧ — ١٩) . وهذا الاجراء ، يؤدي الى اقتصاد في كمية الفولاذ ، يساوي تقريبا ٥٪ ، للجمالون الواحد .

وعند تغيير المقطع ، على طول الوتر ، يجب التأكد من ان ازاحة مراكز ثقل مقاطع كل قطعتين متجاورتين ، لا تزيد على ٥٪ من ارتفاع وتر الجمالون (وذلك لتجنب نشوء عزوم اضافية كبيرة) . وفي هذه الحالة ، يمكن عدم اخذ مثل هذه العزوم الاضافية ، في الاعتبار . اما عندما تكون لاتمركزية العزم الاضافي كبيرة ، يجب اخذه في الاعتبار عند اختيار مقطع قطع الوتر .

وبعد ان يتم اختيار مقطع القطعة ، يجب مراجعة الاجهادات التصميمية فيه . وفي هذه الحالة ، يراجع استقرار القضبان المتضغطة والمنحنية في نفس الوقت ، ليس في مستوى الجمالون فحسب، بل وكذلك في المستوى العمودي عليه ، باستخدام الصيغة (40—8) ، مع اخذ تأثير الانحناء الموضعي في الاعتبار .

ان اختيار او تحديد ثخن الواح التقوية ، التي يتم بواسطتها تكوين وصلات الجمالونات ، يجري اعتمادا على مقدار القوة القصوى في ضلع الارتكاز القطري ، هذا وان ثخن الواح التقوية ، يكون عادة متساويا في الجمالون بأكمله . اما في الجمالونات الواسعة الابواع ، فيمكن ان تكون الواح التقوية ، اثخن من الواح تقوية الوصلات المتوسطة (البينية) ، بمقدار ٢ مم .

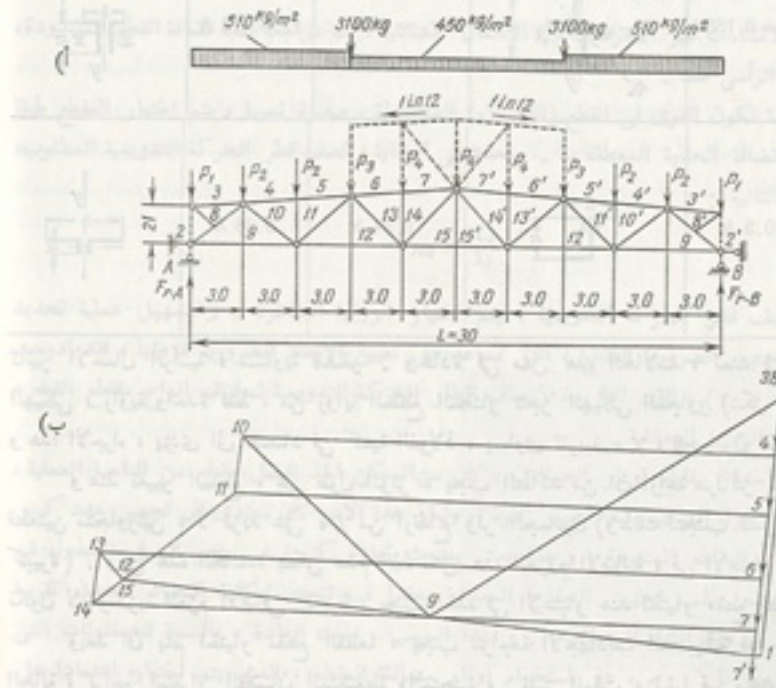
الخان الواح التقوية فى الجمالونات ، التى ينصح باتخاذها عند التصميم

القوة التصميمية القصوى (بالاطنان) ، فى ضلع الارتكاز القطرى	الى ٢٠	٦٠—٤٥	٤٥—٧٥	٧٥—١١٥	—١١٥ —١٦٥	—١٦٥ —٢٢٥	—٢٢٥ —٣٠٠
ثخن الواح التقوية (مم)	٨	١٠	١٢	١٤	١٦	١٨	٢٠

و ينصح باتخاذ الخان الواح التقوية فى الجمالونات ، المدرجة قيمها فى الجدول (٧ — ٣) .

وعادة تنظم نتائج حساب واختيار المقاطع ، على هيئة جداول خاصة (راجع المثال الذى يلى ادناه) .

مثال ٧ — ١ : يطلب حساب واختيار مقاطع قطع الجمالون السقفى للمبنى الصناعى ، المبين فى الشكل (٧ — ٢٠ ، أ) .



شكل (٧ — ٢٠) رسم توضيحى لحساب الجمالون السقفى

مع العلم بأن طول باع الجمالون يساوى ٣٠ م ، والمسافة (الخطوة) بين الجمالونات فى الاتجاه الطولى ، تساوى ١٢ م . والجمالونات مزودة من الاعلى بمتور عرضه ١٢ م وارتفاعه ٤ م . وقد وضعت على الجمالونات بلاطات خرسانية مسلحة كبيرة الحجم ، ابعاد كل منها تساوى ٣×١٢ م . ان المادة العازلة للحرارة هنا ، مكونة من بلاطات من الخرسانة الرغوية ، ثخنها ٨٠ سم ، مع وجود طبقة رابطة اسفلتية للتسوية ، ثخنها ٢٠ سم ، وطبقة صامدة (مانعة) للرطوبة . ان معدل سقوط الثلج يحسب كما هو عليه فى مدينة موسكو . ويجب صنع الجمالون من الفولاذ ماركة BCr.3nc.

قيم احمال التصميم

طبيعة الاحمال	اسماء الاحمال	وحدة القياس	احمال التشغيل (كجم/م²)	عامل التحميل	احمال التصميم (كجم/م²)
١	٢	٣	٤	٥	٦
الاحمال الساكنة	الطبقة المانعة للرطوبة	كجم/م²	١٠	١,١	١١
	الطبقة الاسفلتية الرابطة ، وثختها ٢٠ مم (٢ × ١,٨ طن/م³)	"	٣٦	١,١	٤٠
	طبقة عازلة للحرارة ، مؤلفة من بلاطات من الخرسانة الفروية ، ثخنها ٨٠ مم (٢ × ٠,٦ طن/م³)	"	٤٨	١,٢	٥٨
	البلاطات الخرسانية المسلحة ، الكبيرة الحجم	"	١٧٣	١,١	١٩٠
	وزن القطع الانشائية الفولاذية (الجمالونات السقفية ، المتاور والاربطة) * . . .	"	٣٧	١,١	٤١
الاحمال الساكنة المركزة	مجموع الاحمال الساكنة الموزعة بالنظام	—	—	—	٣٤٠
	الاحمال المركزة على الضلع القائم الطرفى للمتور :				
	وزن البلاطة الطرفية التى حجمها ١×١٢ م	كجم	١٥٥٠	١,١	١٧٠٠
	وزن زجاج المتور ، الذى ارتفاعه ٣ م وطوله ١٢ م (بوزن قدره ٣٥ كجم/م²)	"	١٢٦٠	١,١	حوالى ١٤٠٠
الاحمال المتنقلة **	مجموع الاحمال الساكنة المركزة على الضلع القائم الطرفى للمتور	كجم	—	—	٣١٠٠
	الثلج الموجود على المتور (c_{os} = ٠,٨)	كجم/م²	=٠,٨×١٠٠ =٨٠	١,٤	١١٢
	الثلج المؤثر على القسم الباقى من الجمالون (c_{os} = ١,١٣٣ = ١٢/(١٢ − ٣٠) × ٢,٢ + ١)	كجم/م²	=١,١٣٣×١٠٠ =١١٣,٣	١,٤	١٥٩

* يمكن اخذ وزن القطع الانشائية المعدنية التقريبى ، من الجدول (٩ — ٣)، على الصفحة ٣٥٨

** ان احمال الثلج مأخوذة حسب المواصفات القياسية السوفييتية . ان حمل الثلج بالنسبة لمنطقة موسكو يساوى ١٠٠ كجم/م² . ان العامل c_{os} يأخذ فى الاعتبار توزيع الثلج على السقف .

الحل : ١) تحديد احمال التصميم — ان احمال التصميم المؤثرة على الجمالون ، مدرجة في الجدول (٧ — ٤) .

ان مجموع الاحمال الكلية الموزعة بانتظام على المتور ، يساوى ١٥٩+٣٤٠ ≈ ٥٠٠ كجم/م٢.

٢) تحديد الاحمال المؤثرة في وصلات الجمالون . ان حساب الاحمال المؤثرة في الوصلات ، مبين في الجدول (٧ — ٥). ان الاحمال او القوى P_2 ، و P_4 ، المسلطة في الوصلات ، مستخرجة من حاصل ضرب الاحمال الكلية الموزعة بانتظام في مساحة التحميل المناظرة . ان القوة P_3 ، تضم وزن البلاطة الطرفية وزجاج المنور .

جدول ٧ — ٥

قيم الاحمال المؤثرة في الوصلات

رموز الاحمال المؤثرة في الوصلات	حساب الاحمال المؤثرة في الوصلات	مقدار القوة بالاطنان
P_1	$12\times1{,}5\times500$	٩
P_2	$12\times3\times500$	١٨
P_3	$3100+12\times1{,}5\times450+12\times1{,}5\times500$	٢٠,٢
P_4	$12\times3\times450$	١٦,٢
$P_{7.8}$	$\frac{16{,}2}{2}+16{,}2+20{,}4+18\times2+9$	٨٩,٥

٣) تحديد القوى في قطع الجمالون — ان تحديد القوى في قطع الجمالون ، يتم بطريقة تخطيطية ، بوضع المخطط البياني للقوى ، المسمى بمخطط "كريمونا"، كما مبين في الشكل (٧ — ٢٠ ، ب) .

٤) اختيار المقاطع — نبدأ باختيار المقاطع ، بالنسبة لأكثر قطعة محملة ، من قطع الوتر العلوي المنضغط (الجزء الهيكلي ٦ — ١٣) ، الذى قوته التصميمية تساوى $F = -204$ طن ، وطوله الفعال يساوى $L_x = 3$ م في مستوى الجمالون ، و $L_y = 6$ م في المستوى العمودى على مستوى الجمالون . وعند وجود مثل هذه النسبة للاطوال الفعالة ، سيكون افضل مقطع من الناحية العملية ، هو المقطع المؤلف من زاويتين متلقتي الساقين ، موضوعتين بحيث تتجه سيقانها الطويلة الى خارج مستوى الجمالون .

نأخذ مقطعا مؤلفا من زاويتين ⟦⟧ ٢٥٠×١٦٠×١٦ ، مساحته تساوى $A = 63{,}6\times2 =$ $= 127{,}2$ سم٢ ، وانصاف اقطار حركته التدويمية هي : $r_x = 4{,}58$ سم ، و $r_y = 11{,}93$ سم .

ان نسبة قضالة القطعة في مستوى الجمالون وفي المستوى العمودى عليه ، تساوى :

$$\lambda_x = \frac{L_x}{r_x} = \frac{300}{4.58} = 66$$

$$\lambda_y = \frac{L_y}{r_y} = \frac{600}{11.93} = 50$$

وباستخدام نسبة القضالة القصوى ، المستخرجة من الجدول من الملحق الثاني في آخر الكتاب ، نستطيع ايجاد عامل التحدب ، ويساوى $\varphi = 0{,}830$. ونأتي الآن الى مراجعة الاجهادات بواسطة الصيغة (14 — 2) :

$$\sigma = \frac{F}{\varphi A_{gr}} = \frac{204000}{0.83\times127.2} = 1930\ kg/cm^2 < 2100\ kg/cm^2$$

جدول ٧ — ٦

جدول اختيار مقاطع قطع الجمالونات المنفذة

اسم القطعة	رموز القضبان	القوة التصميمية	المقطع	المساحة A (سم٢)	السلول الفعال (سم)		انصاف اقطار الحركة التدويمية (سم)		نسب القضالة		φ_{min}	k_s	الاجهاد (kg/cm^2)
					L_x	L_y	r_x	r_y	λ_x	λ_y			
الوتر العلوي	١-٩	−١٠٣	١٤×١٠٠×١٠	٥٢,٦	٦٠٠	٦٠٠	٤,٩٤	٥,٠٩	٤٩	٣٩	٠,٨٧٨	١	١٩٦٠
	٩-١٢	+١٩٧	١٦×١٢٥×٢٠٠	٩٩,٦	٦٠٠	٦٠٠	٣,٥٢	٩,٧٧	١٨٠	١٧١	—	١	١٩٨٠
	١٢-١٥	+١٩٧	١٦×١٢٥×٢٠٠	٩٩,٦	٦٠٠	٦٠٠	٣,٥٢	٩,٧٧	١٨٠	١٧١	—	١	١٩٨٠
الوتر السفلي	١-٤	−١٣١	١٢×١٦٠×١٠	٧٤,٨	٦٠٠	٦٠٠	٤,٩٤	٥,٠٩	٥٤	٣٩	٠,٨٧٨	١	٢٠٠٠
	٤-٨	+١٧٩	١٢×١٦٠×١٠	٣٩,٤	٣٠٠	٣٠٦	٣,٨٧	٥,٦٠	٧٨	٧٩	—	١	٢٠٠٠
	٨-١٢	+٧٩	٨×١٢٥×١٠	٣٩,٤	٣٣٢	٤١٤	٣,٨٧	٥,٦٠	٨٦	٧٤	٠,٧١٤	١	١٩٥٠
	١٢-١٣	−٤٤	٨×١٢٥×١٠	١٤,٧٨	٣٣٢	٤١٤	٢,٣١	٣,٥٦	١٤٤	١١٦	—	١	٧٤٤
	١٣-١٤	+١١	٥×٧٥	١٤,٧٨	٣٦٠	٤٤٩	٢,٣١	٣,٥٦	١٥٦	١٢٦	—	١	٩١٢
الاضلاع الخارجية	١٠-١١	−١٣,٣	٩×٨٠	١٨,٧٦	٢٠٨	٢٦٠	٢,٤٧	٣,٨٠	٨٤	٦٩	٠,٧٢٠	٠,٨	١٧٨٠
	١٢-١٤	−٢١,٥	٩×٩٠	٢١,٢	٢٤٨	٣١٠	٢,٧٨	٤,١٨	٨٩	٧٤	٠,٦٩٦	٠,٨	١٨٢٠
الاضلاع القائمة	—	صفر	٥×٧٥	٧,٣٩	١٥٧	٢٦٠	١,٤٩ = r_{min}		١٠٥ = λ_{max}		—	—	—
الشكل الانضغاطي	—	—											

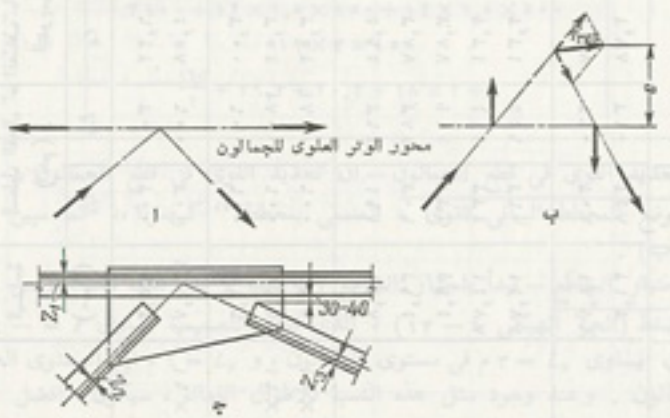
لقد اتخذ لمين الرافع التقوية امتدادا الى الجدول ٧-٣ : الرافع تقوية السلك 16 mm ، بقية الرافع التقوية جميعا 14 mm . ان وزن الجمالون الواحد يساوى ٦,٢ طن

وتراجع الاجهادات بالنسبة لبقية قطع الجمالون ، بنفس الطريقة السابقة ، مع ادخال عامل الخدمة الذى يساوى $K = 0,8$ (راجع الصفحة) ، بالنسبة للاضلاع القطرية المنضغطة (باستثناء اضلاع الارتكاز القطرية) . ان نتائج كافة العمليات الخاصة باختيار المقاطع ، تدرج مباشرة فى جدول معين (جدول ٧ — ٦) ، بدون اية حسابات متوسطة او بينية .

البند الثامن والثلاثون — تصميم الجمالونات. اجزاء الوصلات

١ — مركزة القضبان . شكل الواح التقوية وربطها .

ان عملية تصميم الجمالونات ، تبدأ برسم او تخطيط خطوط المنتصف ، التى تشكل الرسم التخطيطى الهندسى للقطعة الانشائية . ويجب فى هذه الاثناء ، ان تحرص بدقة على ان تجعل خطوط المنتصف، المتقاربة (المجتمعة) فى وصلات القطع الانشائية، تتقاطع فى مركز الوصلة (شكل ٧—٢١، أ). وفى هذه الحالة فقط ، يمكن ان تتساوى او تتوازن القوى المجتمعة فى الوصلة . ان مركزة القضبان بالطريقة المبينة فى الشكل (٧ — ٢١، ب) ، غير مسموح بها، وذلك لأن القوى المجتمعة



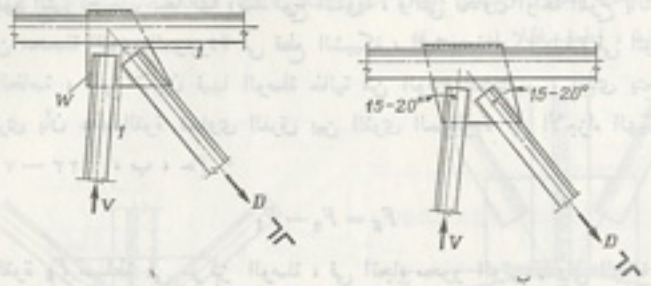
شكل (٧ — ٢١) تمركز (مركزة) القضبان فى وصلات الجمالون

فى الوصلة، لا تتوازن فى هذه الحالة ، ويظهر عزم اضافى هو $M = F_{res}e$ ، يؤدى الى انحناء الوتر . ولا يمكن اهمال هذا العزم الاضافى ، وذلك لأنه يؤثر على شروط توازن الوصلة ، والاجهادات الناجمة عن هذا العزم ، تعتبر من الاجهادات الرئيسية (راجع البند الخامس) .

وبعد ذلك ترسم خطوط مناسيب القضبان على الرسم التخطيطى ، بحيث تنطبق خطوط المنتصف ، قدر الامكان ، مع مركز ثقل المقطع ، او تكون قريبة منه اكثر ما يمكن . وفى هذه الحالة ، بالنسبة للجمالونات الملحومة ، تقرب المسافة من مركز الثقل الى الجانب الخلفى (الظهر)، كما مبين فى الشكل (٧ — ٢١ ، حـ) ، الى اقرب واكبر عدد صحيح ، من اضعاف العدد ٥ مم ؛ وفى الجمالونات المبرشمة، تتم مركزة الزوايا ، طبقا لخطوط قياس البرشام ، وكقاعدة عامة ، يجب قطع (تفريز) زوايا الشيكة ، بصورة عمودية على المحور ، مع ترك مسافة تتراوح بين ٣٠ — ٥٠ مم ، بين نهايات القضبان والوتر . ان شكل الواح التقوية ، الموضوعة عند الوصلات ، يحدد من

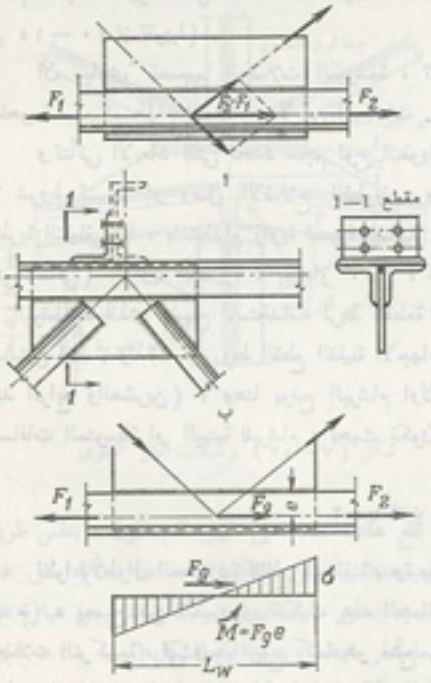
شروط ترتيب اللحامات او البرشام ، التى تربط قطع الشبيكة مع بعضها ؛ ويجب ان يكون الشكل المذكور بسيطا على قدر الامكان . وبما ان الواح التقوية تنقل القوة من قضيب الى آخر ، يجب ان يكون كل مقطع من مقاطعها ، قويا وقابلا لتحمل مجال القوة المسلط عليه .

ويبين الشكل (٧ — ٢٢ ، أ) ، تصميما غير صحيح للوح التقوية ، الذى تكون مساحته على امتداد المقطع 1—1 ، اصغر من مساحة الضلع القطرى المتصل معه ، المؤلف من زاويتين ،



شكل (٧ — ٢٢) تصميم الواح التقوية

ولذلك فانه يمكن ان ينهار . وبالاضافة الى ذلك ، ان اللحام W الواقع عند الطرف الخلفى للزوايا القائمة ، والذى يتحمل القسط الاكبر من القوة الرأسية ، لا يمكن ان ينقل هذه القوة الى لوح التقوية ، بسبب عدم وجود موضع لمجال القوة العادى . وفى هذا الجزء سوف يتعرض لوح التقوية ، الى اجهادات مفرطة كبيرة . ويبين الشكل (٧ — ٢٢ ، ب) تصميما صحيحا للوح التقوية ، مع وجود زاوية تتراوح بين ١٥ — ٢٠ ، بين حافة اللوح والقضيب .



شكل (٧ — ٢٣) ربط الواح التقوية مع وتر الجمالون

ويكون من الافضل ربط او تثبيت الواح التقوية مع زوايا الاوتار، من الجهتين — من الجهة الخلفية (الظهر) للزوايا ، ومن جانبها (شكل ٧ — ٢٣ ، أ) ، وذلك لأنه بخلاف ذلك ، يمكن ان تنحنى زوايا الاوتار الى الخلف ، نتيجة لبعض الاسباب الطارئة (مثلا عند الشحن او النقل). ولكنه ليس من الملائم دائما ، من الناحية التصميمية ، ان نجعل لوح التقوية يمتد الى ما وراء حافة الوتر ، مثلا عندما تضع على امتداد الوتر العلوى ، مدادات مربوطة مع زوايا قصيرة (شكل ٧ — ٢٣ ، ب) . وفى هذه الحالة ، تترك مسافة فاصلة قدرها ٥ مم ، بين لوح التقوية وبين ظهر الزوايا ، ويثبت او يربط لوح التقوية ، باللحامات فقط ، عند

حافته الحادة. ومن المستحسن هنا ، لحام الفراغ المتكون بين اظهر الزوايا القصيرة ولوح التقوية، ولكن لا يجوز اعتبار هذا اللحام ، بمثابة لحام تصميمي ، وذلك لأن من الصعب جعله جيد الاختراق (ان هذا اللحام هو عبارة عن لحام جلفطة وليس لحام اختراق) . وبهذا الشكل ، نجد بأن اللحامات التصميمية الرئيسية في هذه الحالة ، هي اللحامات المنجزة عند الحافة العليا (الحافة الحادة) للوح التقوية .

ان القوة التي تحسب تبعا لها وصلة لوح التقوية ، والتي تحاول ازاحة اللوح بالنسبة للوتر ، هي عبارة عن محصلة القوى الموجودة في قطع الشبيكة ، المتجمعة او الملتقية في الوصلة المعينة . وفي الحالة الخاصة ، التي تكون فيها الوصلة خالية من الوتر المستقيم ، الذي يتحمل الاحمال الخارجية ، نرى بأن هذه القوة تساوي الفرق بين القوى الموجودة في الاجزاء الهيكلية المتجاورة للوتر (شكل ٧ — ٢٣ أ ، ب ، حـ) :

$$F_g = F_2 - F_1$$

وان القوة F_g مسلطة في مركز الوصلة ، في اتجاه محور الوتر . وفي الحالة التي يكون فيها لوح التقوية ، غير بارز عن حافة الوتر ، فان هذه القوة ، ستؤدي ليس الى حدوث قص فقط ، في اللحامات الواقعة عند الحافة العليا (الحادة) لزوايا الوتر ، بل الى حدوث انحناء ايضا ، ناجم عن العزم $M = F_g e$ (شكل ٧ — ٢٣ ، حـ) .

وعادة تكون الاجهادات المتعاضدة ، الناجمة عن الانحناء ، غير كبيرة ، ولذلك تتم مراجعة اللحام ، تبعا لتأثير القص فقط ، عند القيمة المخفضة للمقاومة التصميمية للحام (مخفضة بما يتراوح بين ١٥ — ٢٠ ٪ تقريبا) .

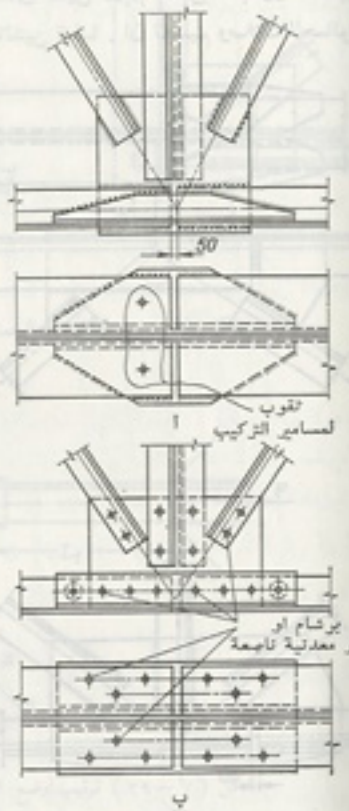
ان مبادئ تصميم الوصلات المبرشمة ، تبقى في الحقيقة مثل مبادئ تصميم الوصلات الملحومة ، مع استخدام البرشام بدلا من اللحامات .

وتتأثى الابعاد التي تحدد حجم لوح التقوية ، كما هي الحالة في الجمالونات الملحومة ، من شروط تثبيت او وصل الاضلاع القطرية . وفي هذه الحالة ، يمكن وصل او ربط الاضلاع القطرية الثقيلة جدا ، باستخدام زاوية قصيرة اضافية . وهنا يزداد عدد البرشام المستخدم في احدى شفتي (ساقي) الزاوية القصيرة ، بمقدار ٥٠ ٪ ، عن عدد البرشام التصميمي . ان العدد الاصغر من البرشام ، الذي يسمح باستخدامه لربط القطعة في الوصلة ، يساوي ٢ ؛ اي يسمح باستخدام برشامتين فقط . ولذلك عند ربط القطع القليلة الاجهادات ، يرتب البرشام باكبر خطوة ممكنة (راجع البند الرابع والعشرين) ؛ وهنا يوضع البرشام اولا على امتداد اطراف الوصلة ، وبعد ذلك تحدد المسافات المتوسطة او البينية للبرشام ، بحيث تكون من اضعاف العدد ٥ سم ، كلما امكن .

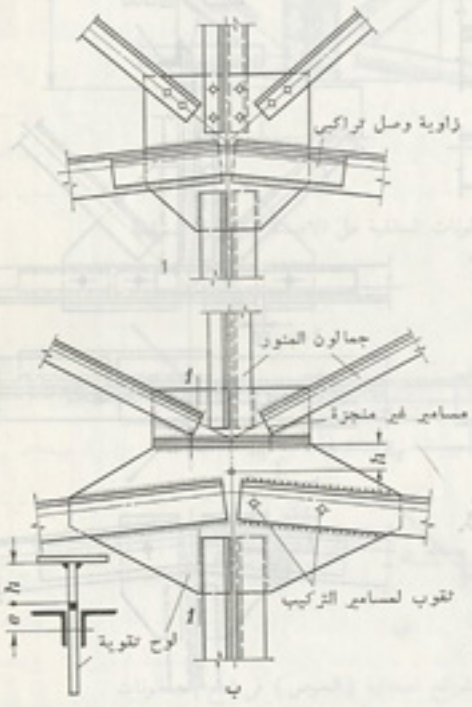
٢ — وصلات الاوتار

نظرا للاطوال المحدودة للقطع المدلفنة ، وتبعا لشروط نقل الجمالونات الواسعة الابواع (L= ١٨ م) ، يصبح من الضروري تفكيك هذه الجمالونات ، الى قطع مشحونة منفصلة ، مع تصميم الوصلات التركيبية ، في وسط الباع كما هو متبع . وعند تصميم الوصلات ، يجب مراعاة القاعدة الاساسية للوصل ، وتتلخص في ان مساحة مقطع الوصلة ، لا يجب ان تقل عن مساحة مقطع القطع التي تتألف منها هذه الوصلة . ان وصلات اوتار الجمالونات ، يمكن ان تقع عند المفاصل وفي

الجزء الهيكلي ايضا . ان من الاسهل ان تكون وصلة الوتر واقعة عند المفصل ، وذلك لأنه في هذه الحالة ، يمكن استخدام جزء من لوح التقوية ، بمثابة قطعة توصيل . ان ابسط تصميم للوصلة ، هو تغطية زوايا الوتر ، بزوايا توصيل لها نفس المقطع . ويبين الشكل (٧ — ٢٤ ، أ) ، وصلة ملحومة ، اما الشكل (٧ — ٢٤ ، ب) فيبين وصلة مبرشمة ، للوتر السفلي في الجمالون . وفي الوصلة الملحومة ، تقطع (تفرز) الشفهات الرأسية لزاوية التوصيل ، وذلك لأجل الابتعاد عن تركز اللحامات عند الحافة العليا . ولتأمين انتقال القوة بشكل اكثر انتظاما ، ينصح بقطع شفهات (سيقان) الزوايا العريضة ، قطعا مائلا او منحرفا .



شكل (٧ — ٢٤) وصلات الوتر السفلي

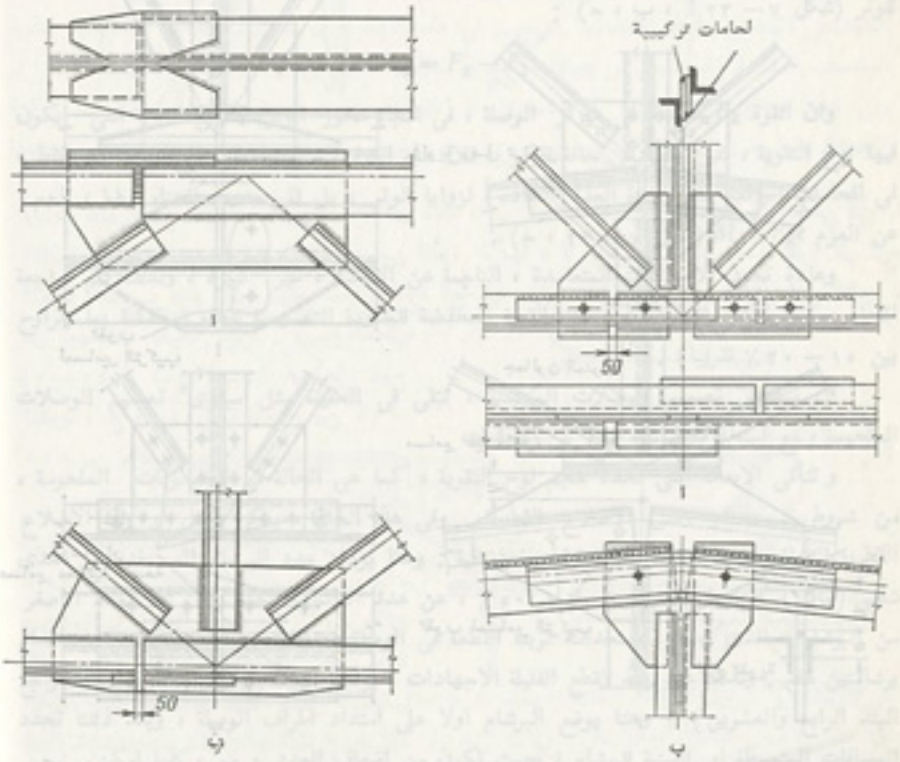


شكل (٧ — ٢٥) وصلات الوتر العلوي

ويمكن انجاز وصلة الوتر العلوي ، التي تقع عادة عند اعلى ظهر الجمالون ، بنفس طريقة انجاز وصلة الوتر السفلي، بتغطيتها بزوايا توصيل محنية . ويبين الشكل (٧ — ٢٥ ، أ)، مثل هذه الوصلة ، و هنا قد برز لوح التقوية الى الاعلى ، لتثبيت المنور . ان لهذه الوصلة ، التي هي عبارة عن تقليد للوصلات المبرشمة ، في حقيقة الامر ، تصميما آخر ايضا ، مبين في الشكل (٧ — ٢٥ ، حـ) . وهنا نرى بأن مقطع لوح التقوية ، الذي على شكل — ∫ ، يعوض تماما عن المقطع المؤلف من زاويتين. ومن المستحسن تحديد البعد h فقط ، بحيث ينطبق مركز ثقل المقطع — ∫ للوح التقوية ،

مع محور زوايا الوتر . وعندما لا يتحقق هذا الانطباق ، يجب مراجعة مقاومة لوح التقوية ، ليس بالنسبة للانضغاط فحسب ، بل وكذلك تبعا للانحناء الناجم عن العزم ، الذى يساوى حاصل ضرب القوة الموجودة فى الوتر ، فى لاتمركزية القوة e بالنسبة لمركز ثقل لوح التقوية (شكل ٧—٢٥، ب، المقطع 1—1) . ولسهولة انجاز ووضع اللحامات عند اظهر زوايا الوتر ، لا يجوز ان يزيد عرض الشريحة المعدنية الافقية ، على 2h . ان تصميم الوصلة بالطريقة المبينة فى الشكل (٧ — ٢٥ ، ب) ، ملائم للتركيب ، نظرا لوجود مقعد افقى ، توضع عليه قطع المنور ، على هيئة جمالون مستقل (شكل ٩ — ٢٦ ، ب) .

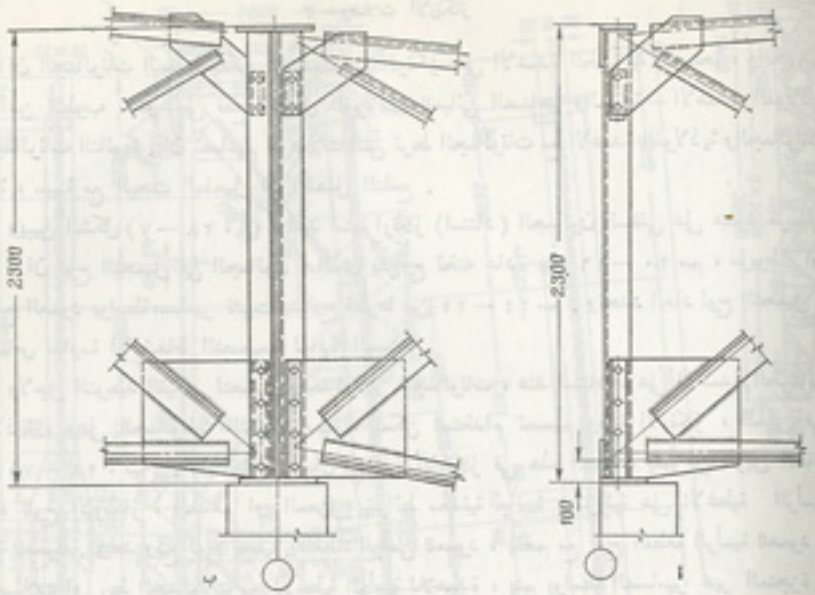
ولاجل زيادة عدد القطع الانشائية المتماثلة ، وبالتالى تقليل حجم العمل المبذول لانتاجها ، يجب محاولة تجزأة الجمالون ، الى قطعتين مشحونتين متماثلتين تماما . ان تصميم وصلات الجمالون ،



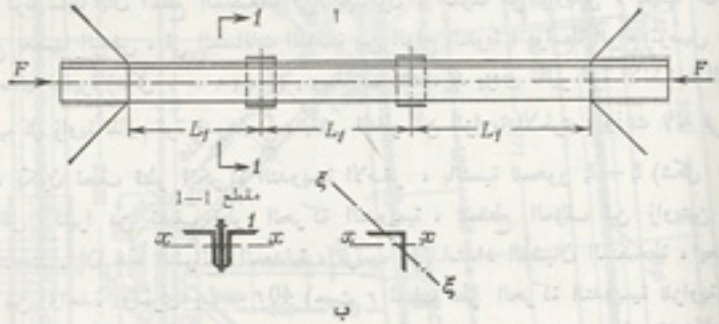
شكل (٧ — ٢٦) وصلات الاوتار عند تقسيم الجمالون الى قطعتى شحن متساويتين

شكل (٧ — ٢٧) وصلات الاوتار عند تغير مقاطع الاوتار

الذى يحقق هذا الشرط ، مبين فى الشكل (٧ — ٢٦) . ان التصميم الجيد والناتج هنا ، هو وصلة الوتر السفلى ، للجمالونات التى تبلغ ابواعها ٢٤ م و ٣٦ م ، والتى تلتقى او تجتمع اضلاعها القطرية ، فى اتجاه مركز الوتر (شكل ٧ — ٢٦ ، أ) . و هنا يكون لوح التقوية مشقوقا من الوسط ، ووصلات زوايا الوتر موضوعة بصورة متعرجة الترتيب . و هنا تحصل على مقطعين كاملين للزوايا ، على امتداد محور الجمالون، اما فى مواضع وجود الوصلات، فتنتهى عندها زاوية واحدة فقط، تغطى بزاوية



شكل (٧ — ٢٨) امتداد الجمالونات السفلية على الاعمدة الخرسانية المسلحة



شكل (٧ — ٢٩) ترتيب وضع الشرائح المعدنية (الخوص) فى قطع الجمالونات

توصيل ولوح تقوية . ويبين الشكل (٧ — ٢٦ ، ب) ، التصميم المناظر ، لوصلة الوتر العلوى — المحتوية كذلك على لوح تقوية مشقوق من الوسط . ولمقاومة قوى القص ، التى يحتمل ظهورها نتيجة لتأثير الاحمال غير المتماثلة ، تضاف الى الاضلاع القائمة المتصالبة ، بين الزوايا القائمة ، حشيات مزدوجة من الشرائح المعدنية (شكل ٧ — ٢٦ ، أ) ، او زوايا معدنية قصيرة. وبهذا الشكل، يصبح تصميم وصلة الجمالون ، متماثلا تماما .

وعند استخدام زوايا ذات شفهات مختلفة الثخن ، فى وتر الجمالون ، يمكن انجاز وصلة الاوتار ، باستخدام الواح تقوية وشرائط معدنية (شكل ٧ — ٢٧ ، أ و ب) .

ان الجمالونات السقفية يمكن ان تستند او ترتكز على الاعمدة الخرسانية المسلحة ، والجدران المبنية من الطوب ، او على قطع الهيكل الفولاذى للمبانى الصناعية والمدنية – الاعمدة الفولاذية او الجمالونات الثانوية . ان تصاميم الوصلات التى تربط الجمالونات مع الاعمدة الفولاذية والجمالونات الثانوية ، مبينة مع البحث المفصل فى الفصل التاسع .

ويبين الشكل (٧ – ٢٨ ، أ) ، احد امثلة ارتكاز (استناد) الجمالون السقفى على عمود خرسانى مسلح . ان لوح التحميل فى الجمالون ، الذى يتراوح ثخنه عادة بين ١٦ – ٢٠ سم ، مربوط او مثبت مع العمود بواسطة مسامير تثبيت يتراوح قطرها بين ٢٢ – ٢٤ سم . وتحدد ابعاد لوح التحميل ، على اساس مقاومة الانضغاط التصميمية لمادة المسند .

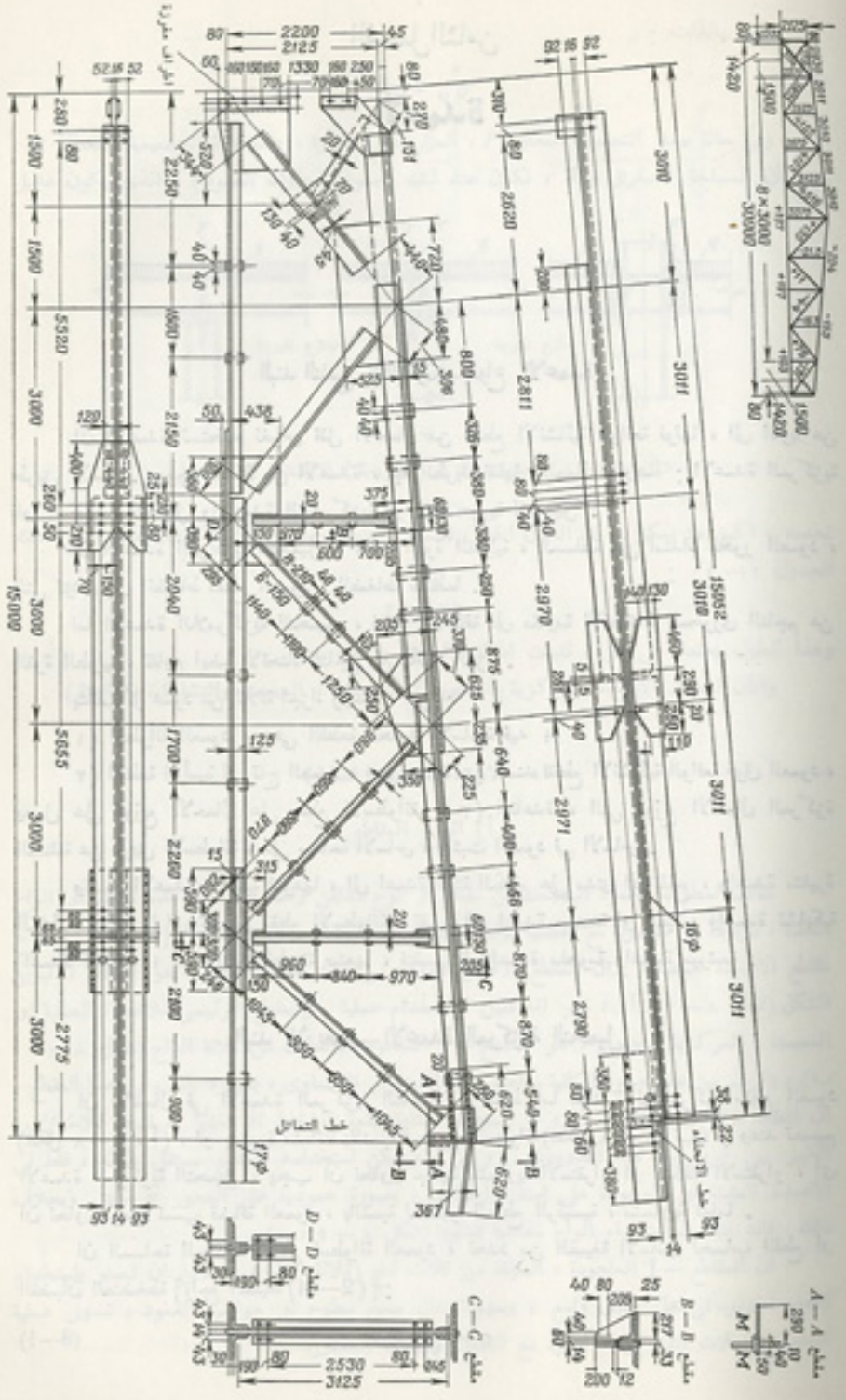
ولاجل التوحيد القياسى لتصميم وصلة ارتكاز الجمالونات ، عند استنادها على الاعمدة الخرسانية والفولاذية ، وعلى الجمالونات الثانوية ايضا ، يمكن استخدام تصميم وصلة الارتكاز ، المبين فى الشكل (٧ – ٢٨ ، ب) . ان انتقال احمال (ضغط) الارتكاز فى هذه الحالة ، يتم عن طريق الحافة المفرزة للوح الارتكاز ، المدعم او المعزز بشرائط معدنية جانبية ، مركبة على الاغطية الرأسية الخاصة للعمود . وبعد وضع لوح تحميل الغطاء الرأسى للعمود ، يلحم مع لوح القطعة الرأسية للعمود . ان توصيلات او ربط الجمالونات مع الاغطية الرأسية للاعمدة ، يتم بواسطة المسامير غير المنجزة .

٤ – اجزاء القطع

ذكرنا سابقا بأن القطع المنضغطة فى الجمالون ، المؤلفة من زاويتين ، يجب ان تربط او توصل مع بعضها البعض ، فى المسافات الفاصلة بين الواح التقوية ، بواسطة الواح توصيل صغيرة او شرائح معدنية صغيرة (شكل ٧ – ٢٩ ، أ) . وبخلاف ذلك ، قد يؤدى تأثير قوة الانضغاط الطولية F ، الى تحدب كل زاوية تقاوم قوة قدرها $\frac{F}{2}$ ، بغض النظر عن الزاوية الاخرى ، وذلك لأنه فى كل زاوية منفردة ، يكون نصف قطر الحركة التدويمية الاصغر ، بالنسبة للمحور $\xi - \xi$ (شكل ٧ – ٢٩ ، ب) ، اقل كثيرا من نصف قطر الحركة التدويمية ، للمقطع المؤلف من زاويتين ، بالنسبة للمحور $x - x$. ان هذه الشرائح المعدنية ، ترتب على امتداد القضبان المنضغطة ، بحيث تكون المسافة بين واحدة واخرى $L_1 = 40r$ (حيث r نصف قطر الحركة التدويمية للزاوية ، بالنسبة للمحور الموازى لمستوى الشرائح المعدنية) . ولتأمين احسن اجهاد مشترك لكلتا الزاويتين ، توضع فى قطع الجمالون المشدودة ايضا ، الواح او شرائح توصيل ، ولكن على مسافة تساوى $L_1 \geq 80r$ ، من بعضها البعض .

وتكون الشرائح المعدنية عادة ، ذات عرض يتراوح بين ٦٠ – ١٠٠ مم .

ويبين الشكل (٧ – ٣٠) مثالا لأحد الرسوم التشغيلية للجمالون السقفى، ويوضح المثال المواضيع التى جرى بحثها فى هذا الفصل .



شكل (٧ – ٣٠) الرسم التخطيطى التشغيلى للجمالون .

ملحوظات : ١ – تحفر او تخرم جميع الثقوب بقطر ٢٠ مم ، الا فى حالة وجود مواصفات خاصة بذلك . ٢ – يكون طول السيقان المقطوعة ٤٠ مم ، الا فى حالة وجود مواصفات خاصة بذلك . ٣ – يكون مقاس جميع اللحامات هو $a_w = 6$ مم الا فى حالة وجود مواصفات خاصة بذلك . ٤ – يستخدم فى اللحام الكترود من النوع 42–9

الفصل الثامن

الاعمدة

البند التاسع والثلاثون ــ انواع الاعمدة

ان الاعمدة تستخدم لغرض نقل الاحمال من القطع الانشائية الواقعة فوقها ، الى التربة عن طريق الاسس . ويوجد نوعان من الاعمدة ، تبعا لطريقة نقلها للاحمال ، وهما : الاعمدة المركزية او المحورية التحميل والاعمدة اللامركزية او اللامحورية التحميل .

ان الاعمدة المركزية التحميل ، تقاوم القوة الطولية ، المسلطة على امتداد محور العمود ، التي تؤدي الى انضغاط مقطع العمود ، انضغاطا منتظما .

اما الاعمدة اللامركزية التحميل ، فانها بالاضافة الى مقاومة الانضغاط المحوري الناجم عن القوة الطولية ، تقاوم ايضا الانحناء الناجم عن تأثير العزم .

يتألف كل عمود من ثلاثة اجزاء رئيسية ، هي :

١) اسطوانة العمود ، وهي القطعة الحاملة الاساسية فيه ؛

٢) القطعة الرأسية او تاج العمود ، وهو عبارة عن مسند للقطع الانشائية الواقعة فوق العمود ، يعمل على توزيع الاحمال على مقطع الاسطوانة ؛ ٣) القاعدة ، التي توزع الاحمال المركزة المنتقلة عن طريق الاسطوانة ، على مساحة الاساس ، وتثبت العمود في الاساس .

وتقسم الاعمدة بالنسبة لنوعها ، الى اعمدة ثابتة المقطع على مدى الارتفاع ، واعمدة متغيرة المقطع ؛ وبالنسبة الى تصميم مقطع الاسطوانة ، تقسم الى اعمدة مصمتة او صلبة ، واعمدة تشابكية (اعمدة نافذة) ؛ اما بالنسبة لطريقة صنعها ، فتقسم الى اعمدة ملحومة واعمدة مبرشمة .

البند الاربعون ــ الاعمدة المركزية التحميل

ان الاحمال في الاعمدة المركزية التحميل ، تسلط اما مباشرة في مركز مقطع العمود (شكل ٨ ــ ١ ، أ) ، او بصورة متماثلة بالنسبة لمحور الاسطوانة (شكل ٨ ــ ١ ، ب) ؛ وعند تصميم الاعمدة المركزية التحميل ، يجب ان نحاول جعلها متساوية الاستقرار او متكافئة الاستقرار ، اي ان نحاول جعل نسب قضانة العمود ، بالنسبة لمحاور المقطع الرئيسية ، متساوية تماما .

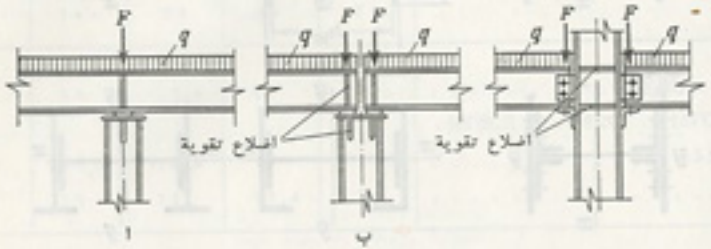
ان المساحة المطلوبة لمقطع اسطوانة العمود ، تحدد من الصيغة الاساسية لحساب القطع او القضبان المنضغطة [راجع الصيغة (14—2)] :

$$\sigma = \frac{F}{\varphi A} \leqslant R \qquad (8—1)$$

وهي بالذات :

$$A_{req} \geqslant \frac{F}{\varphi R} \qquad (8—2)$$

وفي حالة حمل التصميم المعلوم F ، المؤثر على العمود ؛ والمقاومة التصميمية المعطاة R ، نجد بأن المساحة الصغرى A_{req} ، تكون عند ذلك العمود (اسطوانة العمود) ، الذي يكون عامل



شكل (٨ ــ ١) اعمدة مركزية (محورية) الانضغاط او التحميل

تحدبه ، اكبر ما يمكن . ان الطول الفعال للعمود ، يساوي ما يلي (راجع البند العاشر ، وكذلك الجدول ٢ ــ ٤) :

$$L_e = kL$$

وهذا الطول يعتمد على طريقة تثبيت اطراف العمود بالذات .

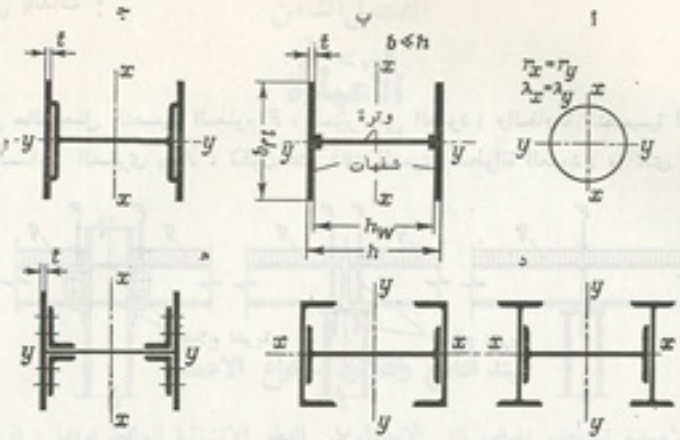
والآن لنبحث الاعمدة المركزية (المحورية) التحميل ، المصمتة والتشابكية (النافذة) .

١ ــ الاعمدة المصمتة (الصلبة)

أ) انواع المقاطع

تتألف اسطوانة العمود المصمت من مقطع او لوح مدلفن واحد ، او من عدة مقاطع او الواح مدلفنة ، مربوطة او موصولة مع بعضها بواسطة اللحام او البرشام . ويبين الشكل (٨ ــ ٢) ، انواع مقاطع الاعمدة المصمتة . ان المقطع الافضل عمليا ، من حيث سلوك المادة ، هو المقطع الانبوبي الشكل (شكل ٨ ــ ٢ ، أ) ، غير انه قليل الاستخدام عمليا . والمقطع الرئيسي للاعمدة الصلبة او المصمتة ، المركزية التحميل ، هو المقطع ــ I الملحوم ، المؤلف من ثلاثة الواح (شكل ٨ ــ ٢ ، ب) ، بالرغم من عدم وجود امكانية مراعاة شرط الاستقرار المتساوي ، بصورة تامة ، في هذا المقطع . ان المقطع ــ I الفردي المدلفن ، لا يستخدم بمثابة قطعة انضغاط الا نادرا ، نتيجة للاختلاف الكبير بين عزوم حركته التدويمية I_x و I_y . ويمكن استخدامه كمقطع مستقل بذاته ، فقط في الاعمدة المثبتة او المربوطة على امتداد ارتفاعها ، بصورة عمودية على المحور $y—y$. وبخلاف ذلك ، فانه يتطلب استخدام الواح معدنية للتقوية (شكل ٨ ــ ٢ ، حـ) .

ان المقاطع ــ I الملحومة ، المؤلفة من ثلاث قطع (ثلاثة الواح) ، يمكن ان تصنع باستخدام اللحام الاوتوماتي على نطاق واسع ؛ وسهولة منال جميع سطوح او جوانب العمود ، تسهل عملية تصميم الوصلات التي تربط العمود مع القطع الانشائية المجاورة .



شكل (٨ — ٢) مقاطع الاعمدة المصمتة المركزية الانضغاط او التحميل

وفي بعض الحالات الخاصة ، تستخدم مقاطع مؤلفة من ثلاثة اشكال مدلفنة (شكل ٨ — ٢ ، د) . ولكن هذه المقاطع تكون اثقل من المقاطع العادية .

وتتألف الاعمدة المبرشمة المصمتة (الصلبة) ، من الالواح والزوايا المعدنية (شكل ٨ — ٢ ، ه) .

ب) حساب وتصميم اسطوانات الاعمدة المصمتة

يبدأ حساب الاعمدة ، بتحديد الاحمال المؤثرة عليها . وبعد ذلك يتم اختيار المقطع وحساب المساحة اللازمة او الضرورية لمقطع اسطوانة العمود ، باستخدام الصيغة (2—8) . وللقيام بذلك ، تحدد مسبقا القيمة التقريبية لعامل التحدب $\varphi = 0{,}75 - 0{,}85$.

وتعين ابعاد المقطع ، انطلاقا من الاعتبارات التالية : تستخدم للشفهات الواح يتراوح ثخنها بين ٦ — ١٦ مم ، تبعا لثقل العمود . ويؤخذ ارتفاع مقطع العمود h في الانشاآت العادية ، اى عندما يتراوح ارتفاع العمود H بين ١٠ — ٢٠ م، بحيث لا يقل عما يتراوح بين $\left(\frac{1}{20}\right.$ و $\left.\frac{1}{15}\right) H$.

ويجب ان يحدد عرض الواح الشفهات، بحيث لا يمكن عنده ان اللوح يفقد استقراره نتيجة لتأثير الاجهادات المتعامدة الضاغطة (راجع الشكل ٦ — ٢٦ ، ه) . وهذا الشرط في الحقيقة ، مماثل للشرط المطلوب تحقيقه عند اختيار مقطع الشفهات المنضغطة للعتبات (راجع الصفحة ١٥٤). ولكن في الاعمدة ، يصبح من الواضح بأنه من المستحسن ، في حالة فقدان الاستقرار الموضعي للشفهات ، ان تكون الاجهادات الحرجة الموجودة ، اكبر قليلا من الاجهادات الحرجة للعمود بأجمعه ، وهذه الاجهادات ، كما هو معروف ، هي دالة نسبة قضافة العمود . ولهذا السبب ، نرى بأن المواصفات القياسية ، تحدد العرض الاقصى المصمم ، للجزء البارز (الناتئ) من اللوح ، اعتمادا على نسبة قضافة العمود (راجع الجدول ٨ — ١) .

ومثلما سبق ، فان نسبة قضافة وترة العمود ، اى النسبة القصوى بين الارتفاع المصمم لوترة العتبة المصمتة و ثخنها (راجع الصفحة ١٧٣)، تعتمد على درجة تثبيت الوترة في الشفهات، التي تعتمد

جدول ٨ — ١

النسب القصوى بين الجزء البارز من اللوح $\frac{b_{fl}}{2}$ وثخنه t_{fl}

ماركة الفولاذ	النسب بين الجزء البارز من اللوح وثخنه ، عندما تكون نسبة القضافة λ هي :				
	٢٥	٥٠	٧٥	١٠٠	١٢٥
الفولاذ — ٣ ، والفولاذ — ٤	١٤	١٥	١٦,٥	١٨	٢٠
14Г2 ، 15ГС ، 10Г2С ، 10Г2СД ، 15 × СНД	١٢	١٣	١٤,٥	١٦,٥	١٨,٥
10 × СНД	١١	١٢,٥	١٤	١٦	١٧,٥

بدورها على نسبة قضافة العمود بأكمله . ولهذا السبب ، فان نسبة القضافة القصوى لوترة العمود المصمت ، المدرجة في المواصفات القياسية ، تحدد من الصيغة التالية :

$$\lambda_w = \frac{h_w}{t} = 40\sqrt{\frac{2100}{R}} + 0.2\lambda \qquad (8-3)$$

ولكنها لا تؤخذ اكثر من ٧٥ .

وعندما يكون العمود منخفض الاجهاد، يمكن زيادة القيم القصوى للنسبتين $\frac{b}{2t_{fl}}$ و $\frac{h_w}{t}$ ، بمقدار $\sqrt{\frac{R\varphi}{\sigma}}$ من المرات (حيث $\sigma = \frac{F}{A}$ ، φ تمثل عامل التحدب) .

وعندما تزيد قيم النسب المذكورة ، على القيم المستخرجة من الصيغة (3 — 8) ، يكون استقرار الوترة غير مؤمن ، ولابد في هذه الحالة من تثبيتها او تعزيزها باضلاع تقوية طولية مزدوجة (شكل ٨ — ٣) . ويتضح بادخال مساحة مقطع اضلاع التقوية ، ضمن مساحة المقطع المصمم للعمود . وبالاضافة الى ذلك ، عند النسبة $\frac{h_w}{t} \geqslant 70$ ، يجب اضافة اضلاع مستعرضة، توضع على ارتفاع العمود ، بحيث لا تقل المسافة بين ضلع وآخر ، عما يتراوح بين $2.5h_w$ و $3h_w$.

ان ابعاد الاضلاع المستعرضة والطولية ، في الاعمدة الملحومة ، تحدد بناء على بعض الاعتبارات التصميمية الخاصة بالانشاء ، وهي : عرض الضلع المستعرض $b_r \geqslant \frac{h_w}{30} + 40\ mm$ ؛ وثخنه $t_r \geqslant \frac{b_r}{15}$ ؛ وعرض الضلع الطولي $b_r \geqslant 10\,t_w$ ؛ وثخنه $t_r \geqslant \frac{3}{4}t_w$. والاضلاع الطولية تحمي او تحفظ وترة العمود من التحدب المتموج ، اما الاضلاع المستعرضة ، فتزيد من جسؤة المقطع بتقويتها للشفهات .

شكل (٨ — ٣) ضلع التقوية في العمود

ان مقطع الاعمدة المبرشمة ، يتألف من لوح (وترة) ، واربع زوايا مختلفة الساقين ، مربوطة مع الوترة بواسطة برشمة شفهاتها (سيقانها) القصيرة . وقد يكون مثل هذا المقطع احيانا ، معززا او مدعما بالواح شفهات (شكل ٨ — ٢ ، ه) ، وهنا لا يجوز ان تزيد النسبة بين عرض

الجزء البارز غير المحفف من اللوح (ابتداء من اقرب صف من صفوف البرشام) وبين ثخنه ، على النسب المبينة في الجدول (٨ — ١) .

وتتم تقوية او تعزيز وترة الاعمدة المبرشمة ، باستخدام اضلاع التقوية (المؤلفة من زوايا معدنية) ، بنفس طريقة تقوية الاعمدة الملحومة .

وبعد تحديد او تعيين ابعاد المقطع ، الملائمة لمتطلبات التصميم ، تحدد نسبة القضافة الحقيقية للعمود λ ، وعامل التحدب المناظر لها φ . وبعد ذلك تجرى مراجعة الاجهادات ، باستخدام الصيغة (1—8) .

ولاجل تأمين خدمة او اشتغال الاعمدة بصورة عادية ، فقد حددت المواصفات القياسية ، مقدار نسبة القضافة القصوى للاعمدة وقطعها الانشائية او اجزائها (جدول ٨ — ٢) .

جدول ٨ — ٢

نسبة القضافة القصوى للاعمدة

اسم القطع الانشائية	اجزاء القطع الانشائية	نسبة القضافة القصوى
الاعمدة والاضلاع القائمة	الاجزاء الرئيسية	١٢٠
— كذلك —	الاجزاء الثانوية (الاضلاع القائمة للهياكل ، الاضلاع القائمة للمتاور ، اجزاء شبيكات الاعمدة) . . .	١٥٠

وفي الاعمدة الملحومة ، يتم وصل او ربط قطع المقطع مع بعضها ، بواسطة اللحامات المتواصلة ، مع اخذ حجم اللحام مساويا $0.5\,t_{min} \approx h$ (بين ٦ — ١٠ مم) . وفي حالة استخدام اللحام الاوتوماتي ، يجب ان يكون ثخن لحامات الشفهات متساويا على طول العمود بأكمله ؛ وعند استخدام اللحام اليدوي ، ينصح بزيادة ثخن هذه اللحامات ، في مواضع التحام او اتصال العتبات والعوارض ، وكذلك عند القاعدة (على امتداد اقسام يبلغ طول كل منها ١ م تقريبا) .

وفي الاعمدة المبرشمة ، يوضع برشام الشفهات على اكبر مسافة ممكنة من بعضه البعض ، على ان لا تزيد على $18t_{min}$ ، حيث t_{min} تمثل اصغر ثخن موجود في قطعة من القطع المبرشمة .

مثال ٨ — ١ : يطلب اختيار مقطع اسطوانة عمود ، محملة بأحمال تصميم قدرها $F = 292$ طن ، مسلطة بصورة رأسية في مركز الثاج . هذا مع العلم بأن ارتفاع العمود يساوي $H = 7{,}2$ م ؛ وان قاعدة العمود مثبتة تثبيتا جاسئا في كلا الاتجاهين ، والطرف العلوي للعمود مثبت تثبيتا مفصليا . ان مقطع العمود يجب ان يكون على شكل — I وملحوم ، والمادة التي يصنع منها ، هي الفولاذ ماركة BCr.3km .

الحل : تحدد الطول الفعال لاسطوانة العمود ، طبقا لشروط تثبيت طرفي العمود :

$$L_e = kH = 0.7 \times 7.2 = 5.04\ m$$

ونعين سلفا قيمة عامل التحدب φ ، ونجعلها تساوي 0.75 .

والآن تحدد مساحة المقطع اللازمة ، من الصيغة (2 — 8) ، كما يلي :

$$A_{req} = \frac{F}{R} = \frac{292.000}{0.75 \times 2100} = 185\ cm^2$$

ثم نوزع هذه المساحة المستخرجة A_{req} ، على قطع المقطع ، كالآتي :

الشفهات . . . . . لوحان ٢×٣٦ = ١٤٤ سم٢

الوترة . . . . . لوح ١×٤٠ = ٤٠ سم٢

المجموع ١٨٤ سم٢

ولتحديد نسبة قضافة اسطوانة العمود ، نحسب عزوم القصور الذاتي للمقطع وانصاف اقطار حركته التدويمية :

$$I_x = \frac{1 \times 40^3}{12} + 2 \times 36 \times 2 \left(\frac{42}{2}\right)^2 = 68830\ cm^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{68830}{184}} = 19.3\ cm$$

$$I_y = 2 \times \frac{2 \times 36^3}{12} = 15500\ cm^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{15500}{184}} = 9.2\ cm$$

ونسبة القضافة القصوى للعمود ، تساوي ما يلي :

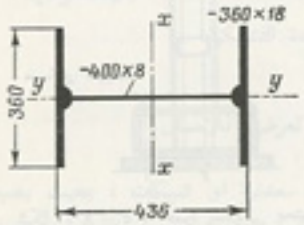
$$\lambda = \frac{L_e}{r_y} = \frac{504}{9.2} = 55$$

وتبعا لذلك نجد بأن معامل التحدب يساوي $\Phi_y = 0{,}875$.

ان الاجهاد الاقصى ، المناظر لنسبة القضافة القصوى ، يستخرج من الصيغة (1 — 8) :

$$\sigma = \frac{F}{\varphi A} = \frac{292000}{184 \times 0.875} = 1810\ kg/cm^2 < R = 2100\ kg/cm^2$$

ان الاستخدام غير الكلي او التام للمقاومة التصميمية ، يدل على وجود مادة زائدة في المقطع . ولذلك تقلل ثخم الشفهات والوترة ، بمقدار ٢ مم ، مع عدم تغيير عرض وارتفاع المقطع ، لأجل الحفاظ على جسوءة ذلك المقطع (شكل ٨ — ٤) . والآن نقوم من جديد بحساب مساحة المقطع والاجهاد التصميمي :



شكل (٨ — ٤) رسم توضيحي للمثال ١ — ٨

$$A' = 2 \times 36 \times 1.8 + 40 \times 0.8 = 161.6\ cm^2$$

$$I'_y = 2 \times \frac{1.8 \times 36^3}{12} = 14000\ cm^4$$

$$r'_y = \sqrt{\frac{14000}{161.6}} = 9.3\ cm$$

$$\lambda'_y = \frac{504}{9.3} = 54; \quad \varphi'_y = 0.878$$

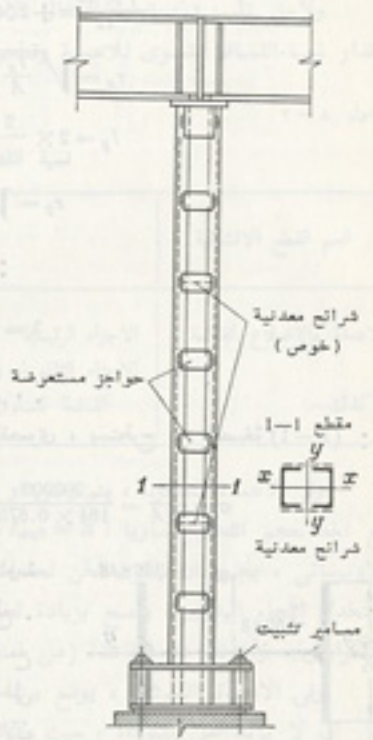
$$\sigma = \frac{292000}{161.6 \times 0.878} = 2060\ kg/cm^2 < 2100\ kg/cm^2$$

أ) انواع المقاطع والشبيكات

تتألف اسطوانة العمود النافذ (التشابكي) ، من مقطعين او عدة مقاطع مدلفنة ، متصلة مع بعضها في مستويات الاوتار ، بواسطة شرائح معدنية (شكل ٨ – ٥) ، او شبيكات .

ان الميزة الاساسية للاعمدة التشابكية ، تتلخص في امكانية تأمين او مراعاة شرط الاستقرار المتساوي فيها .

والاعمدة النافذة او التشابكية ، اقتصادية تماما من حيث المعدن المستهلك . وهي في نفس الوقت ، تتطلب حجما اكبر من العمل المبذول في صناعتها ، وذلك لأن كثرة اللحامات القصيرة ، تجعل من الصعب استخدام اللحام الاوتوماتي .



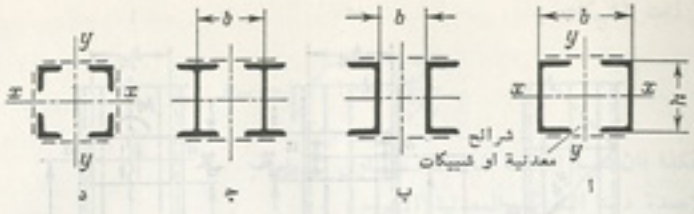
شكل (٨ – ٥) عمود تشابكي يحتوي على شرائح معدنية (خوص)

ويتألف مقطع اسطوانة الاعمدة التشابكية عادة ، من مجريين ، موضوعين بحيث تقع شفهاتهما داخل المقطع (شكل ٨ – ٦ ، أ) . ان وضع المجريين ، بحيث تقع شفهاتهما خارج المقطع (شكل ٨ – ٦ ، ب) ، مع الحفاظ على نفس ابعاد المقطع ، يعتبر اقل فائدة من ناحية استهلاك المعدن ، ولا يستخدم الا في الاعمدة المبرشمة ، نظرا لسهولة البرشمة في هذا الوضع .

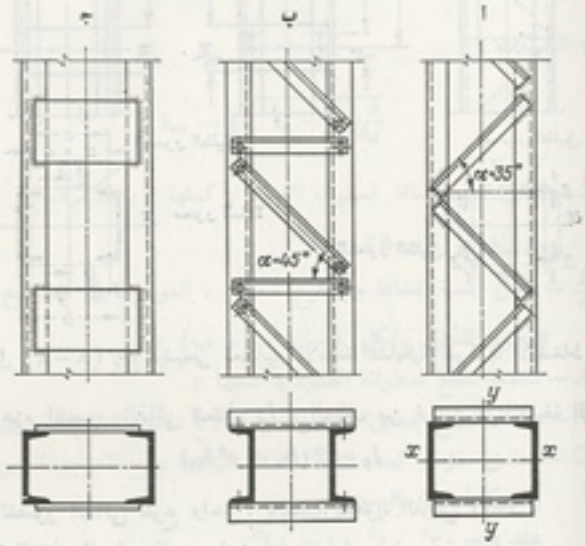
ولا يستخدم المقطع المؤلف من مقطعين — I (شكل ٨ – ٦ ، د) الا عندما تكون الاحمال المسلطة كبيرة جدا ، يستبعد معها استخدام المجاري (⌓) .

ويستخدم المقطع المؤلف من اربع زوايا (شكل ٨ – ٦ ، هـ) ، في القطع المنضغطة الكبيرة الاطوال (في الصواري واذرع المرفاع ، وغير ذلك)، التي تحتاج الى جسؤة معينة في كلا الاتجاهين. وهذا المقطع اقتصادي تماما ويجعل القطعة الانشائية (العمود) خفيفة نوعاما ، ولكن وجود الشبيكات في اربعة مستويات ، يزيد من حجم العمل المبذول في صناعة او انتاج هذه القطعة .

وتصمم شبيكة الاعمدة التشابكية عادة ، من زوايا منفردة ، مع نسبة قضافة قصوى للقطعة الانشائية ، تساوي $\lambda = ١٥٠$. والشبيكة المستخدمة تكون اما مثلثة الشكل ، بسيطة (شكل ٨ – ٧ ، أ) ، او ذات اضلاع قطرية او مائلة (شكل ٨ – ٧ ، ب) . ويمكن انجاز وصلة تثبيت الشبيكة مع فروع العمود ، اما بواسطة اللحام او البرشمة . وفي هذه الحالة يسمح بمركزة الزوايا على الحافات الخارجية لفروع العمود . ان الاعمدة ذات الشرائح او الالواح المعدنية (شكل ٨ – ٧ ، هـ) ، اسهل من حيث الانتاج ، وليس لها زوايا شبيكية بارزة او نائتة ، واكثر جمالا من حيث المظهر ؛ اما الاعمدة ذات الشبيكات ، فهي اكثر جسؤة الى درجة محسوسة ، وخاصة ضد الالتواء .



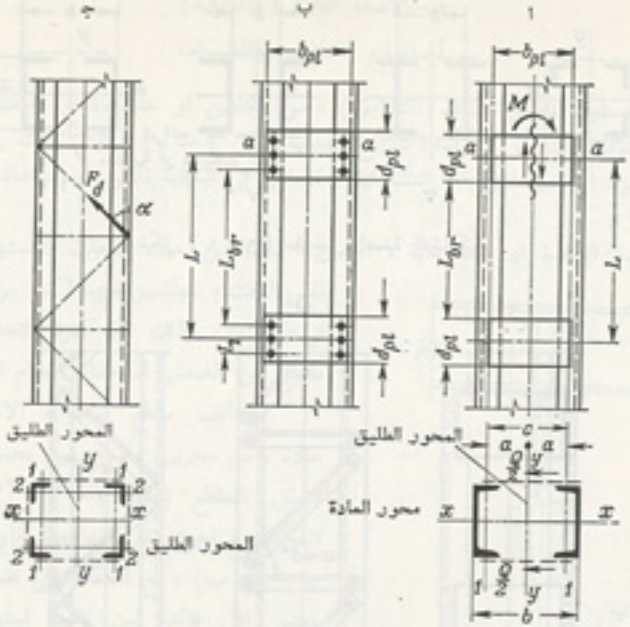
شكل (٨ – ٦) مقاطع الاعمدة التشابكية



شكل (٨ – ٧) انواع شبيكات الاعمدة التشابكية

ب) سلوك اسطوانة العمود التشابكي عند تعرضها للاحمال

يتصل فرعا اسطوانة العمود التشابكي ، بواسطة شرائح معدنية او شبيكات ، بحيث يصبحا كتلة واحدة . وعند عدم وجود مثل هذه الوصلة او هذا الاتصال ، لكان كل فرع من الفرعين سيتعرض الى التحدب بالنسبة لمحوره الذاتي (شكل ٨ – ٨ ، أ ، المحور 1 — 1) . وعند وجود الشرائح المعدنية او الشبيكات ، تزداد جسؤة اسطوانة العمود ككل ، زيادة محسوسة ، وذلك لأن كلا الفرعين يقاومان التحدب بالنسبة للمحور $y—y$ ، كمقطع واحد متكامل (شكل ٨ – ٨ ، أ) . وهذا المحور ، خلافا لمحور المادة $x—x$ ، الذي يقطع جسم العمود ، يسمى ؛ المحور الطليق . ان نسبة قضافة اسطوانة العمود التشابكي ، بالنسبة لمحور المادة λ_x ، تساوي نسبة قضافة فرع واحد من فرعي العمود ، بالنسبة لنفس المحور $x—x$ ، وذلك لأن $r_x = \sqrt{\frac{2I_x}{2A}} = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$. اما نسبة القضافة بالنسبة للمحور الطليق $y—y$ ، فتعتمد على المسافة الموجودة بين فرع وآخر (البعد او المسافة $2a$ في الشكل ٨ – ٨ ، أ) .



شكل (٨ — ٨) رسم توضيحى لحساب الاعمدة الشابكية المركزية الانضغاط

ويعبر عن عزم القصور الذاتى للمقطع I_y ، المؤلف من فرعين ، بالصيغة التالية :

$$I_y = 2\,(I_{br} + a^2 A_{br}) \qquad (8-4)$$

حيث I_{br} — عزم القصور الذاتى لفرع واحد ، بالنسبة لمحوره الذاتى 1—1 ؛

A_{br} — مساحة المقطع العرضى لفرع واحد ؛

a — المسافة من محور الفرع 1—1، الى المحور الطليق للعمود $y-y$ (شكل ٨ — ٨ ، أ).

وربما يبدو بأن نسبة قضاة اسطوانة العمود ، بالنسبة للمحور الطليق ، يجب ان تحدد من الصيغة التالية :

$$\lambda_y = \frac{L_y}{r_y} \qquad (8-5)$$

حيث L_y الطول الفعال لاسطوانة العمود ، بالنسبة للمحور $y-y$.

ولكن يتضح فى حقيقة الامر ، بأن نسبة قضاة العمود ، بالنسبة للمحور الطليق ، تكون اكبر من ذلك، نتيجة للخضوع المرن للشرائح المعدنية او الشبيكات . وهذا ما يسمى « نسبة القضاة المكافئة »، التى تساوى :

$$\lambda_{eq} = k\,\lambda_y$$

حيث $k > 1$ تمثل عامل التكافؤ (التحويل) لاسطوانة العمود المؤلفة ، الذى يعتمد على قابلية تشوه (خضوع) الشرائح المعدنية او الشبيكات .

وللاعمدة المحتوية على شرائح (الواح) معدنية ، يكون لدينا المعامل المذكور كالآتى :

$$k_{eq} = \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda_{br}}{\lambda_y}\right)^2}$$

وللاعمدة ذات الشبيكات :

$$k_{eq} = \sqrt{1 + \frac{C_\alpha A}{\lambda_y^2 A_d}}$$

وهكذا فان نسبة القضاة المكافئة ، ستساوى ما يلى :

للاعمدة ذات الشرائح المعدنية (الالواح) :

$$\lambda_{eq} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_{br}^2} \qquad (8-6)$$

وللاعمدة ذات الشبيكات :

$$\lambda_{eq} = \sqrt{\lambda_y^2 + C_\alpha \frac{A}{A_d}} \qquad (8-7)$$

حيث $\lambda_y = \frac{L_y}{r_y}$ — تمثل نسبة قضاة اسطوانة العمود باكملها ، بالنسبة للمحور الطليق ، المحددة من الصيغة (5 — 8) ؛

$\lambda_{br} = \frac{L_{br}}{r_{br}}$ — تمثل نسبة قضاة جزء فرع العمود ، الموجود بين الشرائح المعدنية ، بالنسبة للمحور الذاتى (شكل ٨ — ٨ ، أ و ب) ؛

A — مساحة مقطع اسطوانة العمود باكملها ؛

A_d — مساحة مقطع ضلعين قطريين من اضلاع الشبيكة (فى مستويين) ؛

C_α — معامل تتخذ قيمته تبعا لقيمة الزاوية α ، الموجودة بين الاضلاع القطرية للشبيكة وفرع العمود :

عند $\alpha = 30^\circ \quad 40^\circ \quad 45 - 60^\circ$

$C_\alpha = 45 \quad 31 \quad 27$

ان الحد الثانى الموضوع تحت الجذر فى الصيغتين (6—8) و (7—8) ، يأخذ فى الاعتبار نسبة قضاة فروع الاعمدة ، وخضوع (ملعب) الشرائح المعدنية (الالواح) او الشبيكات ، وبهذا الشكل يحدد الترتيب الضرورى لها ، وذلك لأنه بتغيير هذه المقادير او الابعاد ، تتغير معها نسبة القضاة المكافئة .

وتكون نسبة القضاة التصميمية ، التى يتم بموجبها تحديد عامل التحدب φ ، هى اكبر قيمة من بين قيمتى نسبة القضاة التاليتين : λ_x و λ_{eq} . ولما كان من المستطاع بسهولة ، بواسطة تفريق او ابعاد الفروع عن بعضها (اى زيادة المسافة a ، كما فى الشكل ٨ — ٨ ، أ) ، التوصل الى تقليل قيمة λ_{eq} بدون اية زيادة محسوسة فى كمية المعدن ، ونعمل بذلك على تحقيق الشرط $\lambda_{eq} < \lambda_x$ ؛ اذن عند اختيار مقطع اسطوانة العمود المؤلف ، يعتمد عادة على نسبة القضاة الضرورية ، حول محور المادة .

وبالنسبة للاعمدة المؤلفة من اربعة فروع (شكل ٨ — ٨ ، حـ) ، تكون نسبة القضاة المكافئة ، مساوية لما يلى :

$$\lambda_{eq} = \sqrt{\lambda^2 + A\left(\frac{C_{\alpha.1}}{A_{d.1}} + \frac{C_{\alpha.2}}{A_{d.2}}\right)} \qquad (8-8)$$

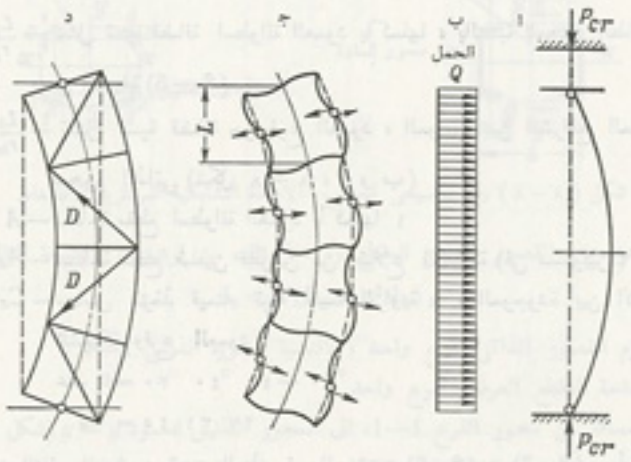
حيث λ — نسبة القضافة القصوى للعمود بأكمله ، بالنسبة للمحور الطليق ؛

$A_{c.1}$ و $A_{c.2}$ — مساحتا مقطع ضلعين قطريين من اضلاع الشبيكات، واقعين فى مستويين عموديين على كل من المحورين 1—1 و 2—2 على التوالى ؛

و $C_{c.2} - C_{c.1}$ نفس مفهوم C_c ، للمستويين المناظرين .

ان نسبة قضافة بعض الفروع المعينة للاعمدة التشابكية (النافذة) ، لا يجب ان تزيد على ٤٠ ، فى الاعمدة ذات الشرائح (الواح) المعدنية ، وعلى نسبة القضافة المكافئة للعمود بأكمله ، فى الاعمدة ذات الشبيكات .

ان قطع التوصيل — الشرائح المعدنية او الشبيكات — فى الاعمدة المركزية (المحورية) التحميل ، تحسب تبعا لتأثير قوة القص (الجانبية) ، التى يمكن ظهورها عند الانحناء الناجم عن القوة الحرجة (شكل ٨ — ٩ ، أ) ، التى كما هو معروف ، تعتمد فى المادة المعنية ، على الابعاد الهندسية



شكل (٨ — ٩) رسم توضيحى لحساب الاعمدة المحتوية على شرائح معدنية وشبيكات

لاسطوانة العمود . وطبقا للمواصفات القياسية ، تحدد قيمة قوة القص الاصطلاحية هذه ، الناجمة عن التحدب ، بالاعتماد على مقطع اسطوانة العمود ، من الصيغتين التاليتين :

$$\left.\begin{array}{l} Q = 20\ A_{gr}\ kg \quad \text{(للفولاذ — ٣)} \\ Q = 40\ A_{gr}\ kg \quad \text{(للفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة ، وللفولاذ — ٥)} \end{array}\right\} \qquad (8—9)$$

حيث A_{gr} — مساحة المقطع الاجمالية لاسطوانة العمود (سم^2) .

ان قوة القص Q ، تعتبر ثابتة على مدى ارتفاع اسطوانة العمود (شكل ٨ — ٩ ، ب) ، وتوزع بالتساوى او بانتظام ، على مستويات الشرائح المعدنية (الشبيكات) .

ان العمود يتحنى تحت تأثير قوة القص (القوة الجانبية) ، وتقوم الشرائح المعدنية بمقاومة الانحناء والقص فى مستوياتها ، مثل قطع الجمالون الخالى من الاضلاع القطرية (شكل ٨ — ٩ ، جـ) ،

اما قطع الشبيكات ، فتقاوم القوى المحورية مثل الاضلاع القطرية والاضلاع القائمة للجمالون (شكل ٨ — ٩ ، د) . والاعمدة ذات الشبيكات ، اقل قابلية للتشوه ، من الاعمدة ذات الشرائح المعدنية (الالواح) ، ولذلك فانها تستخدم على نطاق اوسع ، وتفضل فى حالة الاحمال الثقيلة .

جـ) حساب وتصميم اسطوانات الاعمدة التشابكية

ان اختيار مقطع اسطوانة العمود التشابكى (النافذ) ، يبدأ كما هى الحالة بالنسبة للاعمدة المصمتة ، بتحديد مساحة المقطع الضرورية ، على اساس احمال التصميم والمقاومة التصميمية للمادة . وللقيام بذلك ، تحدد سلفا قيمة عامل التحدب φ بما يتراوح بين ٠,٧ — ٠,٩ . وبعد ذلك تحدد مساحة المقطع اللازمة ، لفرع واحد ، من الصيغة التالية :

$$A_{br.req} = \frac{F}{2\,\varphi\,R} \qquad (8—10)$$

وتبعا لهذه المساحة ، يتم اختيار اقرب رقم من ارقام المجارى (⎯) او الاشكال — I ، وتحدد نسبة قضافته بالنسبة لمحور المادة $x—x$. ثم تستخدم الصيغة (8—1) لمراجعة الاجهاد التصميمى فى العمود ، للمقطع الذى تم اختياره ، على اساس نسبة القضافة بالنسبة لمحور المادة $x—x$. وبعد ذلك تأتى الى عملية تجميع المقطع فى مخطط واحد ، ومراجعته بالنسبة للمحور الطليق . ومن الضرورى ترتيب فروع المقطع وتصميم الشبيكة ، بطريقة يتحقق معها الشرط التالى :

$$\lambda_{eq} \leqslant \lambda_x$$

وبالنسبة للاعمدة ذات الشرائح المعدنية ، اذا فرضنا كتقريب اولى ، بأن فروعه يجب ان تبعد عن بعضها البعض ، بمسافة $2a$ ، بحيث عندها تتحقق المعادلة التالية :

$$\lambda_{eq} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_{br}^2} = \lambda_x$$

عندئذ سنجد بأن نسبة قضافة العمود اللازمة ، بالنسبة للمحور الطليق ، ستساوى ما يلى :

$$\lambda_{y.eq} = \sqrt{\lambda_x^2 - \lambda_{br}^2} \qquad (8—11)$$

وعادة تؤخذ نسبة قضافة الفرع الواحد λ_{br} فى الحدود التى تتراوح بين ٣٠ — ٤٠ . وبعد تحديد قيمة $\lambda_{y.eq}$ ، تستخدم الصيغة (8—5) لا يجاد نصف قطر الحركة التدويمية الضرورى $r_y = \frac{L_y}{\lambda_{y.eq}}$ ، الذى يستخدم لايجاد عزم القصور الذاتى المطلوب I_y ، وبالتالى لتحديد المسافة a من الصيغة (8—4) .

ولتسهيل عملية اختيار مقاطع الاعمدة ، فقد ادرجت فى الجدول (٨ — ٣) ، القيم التقريبية لانصاف اقطار الحركة التدويمية ، لمختلف مقاطع الاعمدة المصمتة والنافذة (التشابكية) .

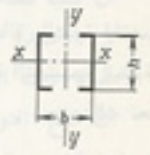
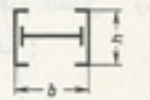
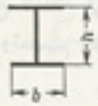
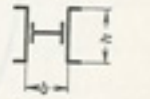
ويتم ترتيب الشرائح المعدنية (الالواح) فى الاعمدة ، بطريقة تتفق مع نسبة قضافة الفرع ، المحددة سابقا ، اى $\lambda_{br} r_{br} = L_{br}$. وفى هذه الحالة ، يؤخذ الطول الفعال للفرع ، مساويا لما يلى :

أ) فى الاعمدة الملحومة، يؤخذ مساويا للمسافة الخالصة بين الشرائح المعدنية (شكل ٨ — ٨، أ).

ب) فى الاعمدة المبرشمة ، يؤخذ مساويا للمسافة بين البرشامات الطرفية للشرائح (الالواح) المعدنية المتجاورة (شكل ٨ — ٨ ، ب) .

جدول ٨ — ٣

القيم التقريبية لأنصاف اقطار الحركة التدويمية لمقاطع الاعمدة

شكل المقطع	r_x	r_y	شكل المقطع	r_x	r_y
	0.38 h	0.44 b		0.32 h	0.49 b
	0.38 h	0.6 b		0.43 h	0.43 b
	0.32 h	0.4 b		0.42 h	0.24 b
	0.32 h	0.58 b			

ويعتمد طول الشريحة المعدنية b_{pl} ، على المسافة بين الفروع . وفي الاعمدة الملحومة ، يتراوح طول ذلك الجزء من الشرائح المعدنية ، الراكب على الفروع ، بين ٤٠ — ٥٠ سم . ويحدد عرض الشرائح المعدنية d_{pl} من شرط ترتيب اللحامات او صفوف البرشام ، المستخدمة لربط الشريحة المعدنية مع فرع العمود . ويحدد او يؤخذ ثخن الشرائح المعدنية ، مساويا لما يتراوح بين ٦ — ١٢ سم ؛ وفي الاعمدة الثقيلة يجب مراجعة هذا الثخن حسابيا ، بالاضافة الى ضرورة تحقيق الشرط $\frac{b_{pl}}{t_{pl}} \leqslant 50$.

ويجرى حساب الشرائح (الالواح) المعدنية ووصلاتها مع فرع العمود ، تبعا لقوة القص $F_{sh.pl}$ وللعزم M_{pl} ، المؤثرين في مستوى الشريحة المعدنية ، والناشئين فيها نتيجة لتأثير قوة القص . الاصطلاحية Q ، التي تؤدي الى انحناء اسطوانة العمود (شكل ٨ — ١٠ ، أ) . ويتم الحساب باستخدام الصيغتين التاليتين :

$$F_{sh.pl} = \frac{Q_p L}{c} \qquad (8—12)$$

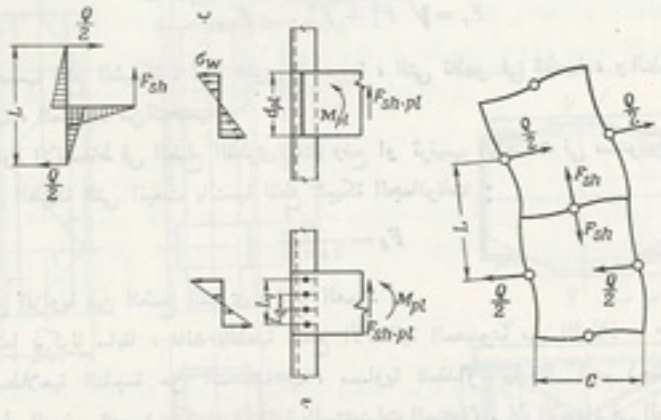
$$M_{pl} = \frac{Q_p L}{2} \qquad (8—13)$$

حيث L — المسافة بين مراكز الشرائح المعدنية ؛

c — المسافة بين محاور فروع العمود ؛

$Q_p = \frac{Q}{2}$ — تمثل قوة القص، المؤثره على كل مجموعة من الشرائح المعدنية، واقعة في مستوى واحد (شكل ٨ — ٨ ، أ) ؛

Q — قوة القص المستخرجة من الصيغة (9—8) .



شكل (٨ — ١٠) رسم توضيحي لحساب اربطة (مثبتات) الشرائح المعدنية

وتراجع مقاومة الشريحة المعدنية (اللوح) ، باستخدام الصيغة التالية :

$$\sigma = \frac{M_{pl}}{W_{pl}} \leqslant R \qquad (8—14)$$

ويتم حساب اللحامات ، التي تربط كل طرف من اطراف اللوح (الشريحة) مع الفرع ، تبعا لمحصلة الاجهاد ، الناجمة عن تأثير العزم وقوة القص (شكل ٨ — ١٠ ، ب) ، بواسطة الصيغة التالية :

$$\sigma_{res} = \sqrt{\sigma_w^2 + \tau_w^2} \leqslant R_{w.l} \qquad (8—15)$$

حيث

$$\sigma_w = \frac{M_{pl}}{W_w} = \frac{6 M_{pl}}{0.7 h_w d_{pl}^2}$$

$$\tau_w = \frac{F_{sh.pl}}{A_w} = \frac{F_{sh.pl}}{0.7 h_w d_{pl}}$$

وفي حالة ربط الشرائح المعدنية بواسطة البرشام ، فان الحساب يتم تبعا لنفس المؤثرات ، التي عرفناها في حالة الشرائح المعدنية الملحومة (شكل ٨ — ١٠ ، ح) . ان برشامات التصميم في هذه الحالة ، هي البرشامات الطرفية ، الاكثر اجهادا او تحميلا .

ان المركبة الافقية للقوة (الناجمة عن العزم) ، التي تقص البرشامة الطرفية ، تساوي :

$$F_1 = M_{pl} \frac{L_1}{\sum L^2} \qquad (8—16)$$

حيث ... $\sum L^2 = L_1^2 + L_2^2 +$ ، تعتمد على عدد ازواج البرشام ، المتماثلة الترتيب بالنسبة لمحور الشريحة المعدنية (راجع الصفحة ١٨٣) .

و المركبة العمودية للقوة (الناجمة عن قوة القص) ، في البرشامة الطرفية ، تساوى :

$$F_{sh.1} = \frac{F_{sh.ser}}{N} \qquad (8-17)$$

حيث N عدد البرشام على جانب واحد من الشريحة المعدنية (اللوح) .

ان القوة التصميمية (المحصلة) F_r ، لا يجب ان تزيد على القوة ، التي يمكن ان تتحملها البرشامة الواحدة :

$$F_r = \sqrt{F_1^2 + F_{sh.1}^2} \leqslant F_{r.sh} \qquad (8-18)$$

و تحسب قطع الشبيكة ، تبعا للقوى المحورية ، التي تظهر في قطعها ، و الناجمة عن تأثير قوة القص Q ، المتولدة من التحدب .

ان قوة الانضغاط في الضلع القطري (عند وضع او ترتيب الشبيكات في مستويين متوازيين) ، تحدد بنفس الطريقة التي اتبعت بالنسبة لقطع شبيكة الجمالونات :

$$F_d = \frac{Q}{2 \sin \alpha} \qquad (8-19)$$

حيث α هي الزاوية بين الضلع القطري و فرع العمود .

و كما ذكرنا سابقا ، فانه بالنسبة للقطع الانشائية المصنوعة من الفولاذ — ٣ ، تؤخذ قوة القص الاصطلاحية الناجمة عن التحدب Q ، مساوية للمقدار $20A_{gr}$ كجم (حيث A_{gr} تمثل مساحة المقطع العرضي للعمود بأكمله ، مقاسة بالسنتمترات المربعة) . ان الاجهاد في الضلع القطري ، لا يجب ان يزيد على المقاومة التصميمية :

$$\sigma = \frac{F_d}{\varphi A_d} = \frac{20 A_{gr}}{2 \sin \alpha \varphi A_d} \leqslant k_s R \qquad (8-20)$$

حيث A_d تمثل مساحة المقطع العرضي لضلع قطري واحد من اضلاع الشبيكة .

و عند اختيار مقطع الاضلاع القطرية ، من الزوايا المتساوية الساقين المفردة ، المربوطة او المثبتة من جهة واحدة (من شفة واحدة) ، يتم تخفيض المقاومة التصميمية ، بضربها في عامل الخدمة ، الذي يساوى $k_s = 0.75$. وفي حالة استخدام الزوايا المختلفة الساقين ، المربوطة مع العمود من شفتها الطويلة ، لا يدخل عامل الخدمة k_s في الحساب .

و بأخذ عامل الخدمة المشار اليه ، في الاعتبار ، يتم حساب الوصلة التي تربط الاضلاع القطرية مع فروع العمود ، تبعا لتأثير القوة التالية :

$$F_{j.d} = \frac{F_d}{k_s} \qquad (8-21)$$

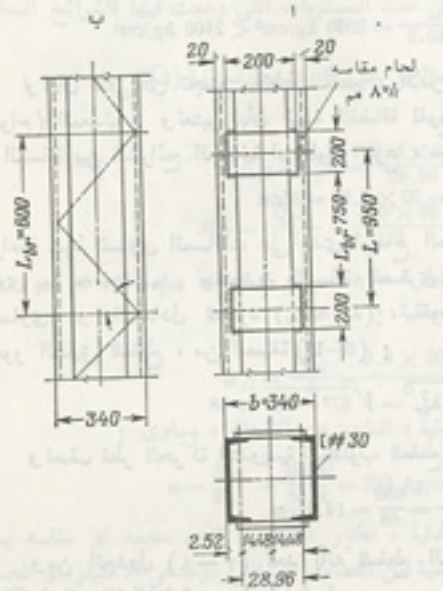
حيث $F_{j.d}$ — القوة التصميمية للوصلة ؛

F_d — القوة في الضلع القطري .

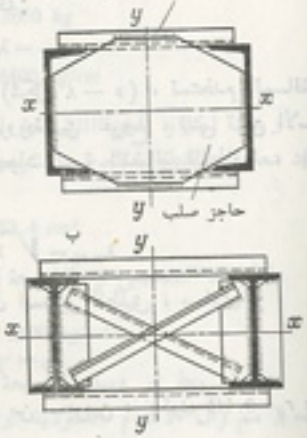
ان المقطع الاصغر لقطع الشبيكة ، المستخدم في الاعمدة الملحومة ، هو عبارة عن زاوية ابعادها ٤٥×٥ ، بينما يعتمد المقطع الاصغر لقطع الشبيكة ، في الاعمدة المبرشمة ، على قطر البرشام المستخدم . و قد اتخذت نسبة النحافة القصوى لقطع الشبيكة ، مساوية للمقدار $\lambda = 150$.

و عادة تتم مركزة الاضلاع القطرية للشبيكة ، على الحافة الخارجية لفرع العمود (شكل ٨ — ٨ ، ح) ؛ و تمركز الاضلاع القطرية ، في الاعمدة المحلوبة ، على اظهر الزوايا (شكل ٨ — ٧ ، أ) ، اما في الاعمدة الملحومة ، فتمركز على امتداد خطوط قياس البرشام (شكل ٨ — ٧ ، ب) .

و لمنع التواء اسطوانة الاعمدة التشابكية (النافذة) ، توضع حواجز مستعرضة على امتداد ارتفاع الاسطوانة ، بحيث تكون المسافة بين حاجز وآخر حوالى ٤ م ، و ذلك بغض النظر عن حجم الشبيكة . وقد تكون هذه الحواجز المستعرضة ، اما مصمتة (شكل ٨ — ١١ ، أ) او مؤلفة من زوايا (شكل ٨ — ١١ ، ب) .



شكل (٨ — ١١) حواجز الاعمدة المصمتة



شكل (٨ — ١٢) رسم توضيحي للمثال ٨ — ٢

مثال ٨ — ٢ : يطلب اختيار مقطع عمود مركزي التحميل ملحوم ، مؤلف من مجريين (شكل ٨ — ١٢) ، و كذلك حساب و تصميم نوعين من انواع قطع التوصيل ، و هما الشرائح المعدنية و الشبيكة المؤلفة من زوايا معدنية . هذا مع العلم بأن احمال التصميم المؤثرة على العمود تساوى ١٤٥ طن ، وارتفاع العمود ٦,٨ م . بالاضافة الى ان العمود مفصلي الارتكاز من الاسفل ، و تاج العمود مثبت مفصليا بأربطة ، لمنع الازاحات الافقية . ان المادة التي يجب ان يصنع منها العمود هي الفولاذ BCr.3 ، و اللحام يتم باستخدام الكترودات من النوع 342 .

الحل : ١) اختيار مقطع العمود . نبدأ اختيار المقطع بتحديد مساحة المقطع اللازمة لفرع واحد من العمود ، من الصيغة (10—8) ، ولأجل ذلك نتخذ عامل التحدب الذي يساوى $\varphi = 0.9$:

$$A_{br.req} = \frac{F}{2 \varphi R} = \frac{145000}{2 \times 0.9 \times 2100} = 38.4 \ cm^2$$

ان اقرب مقطع مناظر لهذه المساحة ، من كتالوج المقاطع القياسية المتنوعة ، هو المجرى (ـــ) رقم ٣٠ ، الذي مساحته تساوى $A_{br} = 40.5 \ cm^2$ ، وانصاف اقطار حركته التدويمية $r_x = 12 \ cm$ و $r_y = 2.84 \ cm$.

نقوم بمراجعة استقرار العمود ، بالنسبة لمحور المادة .

ان الطول الفعال لاسطوانة العمود في كلا الاتجاهين ، يكون متساويا وقدره :

$$L_e = kL = 1 \times 6.8 = 6.8 \ m$$

اما نسبة القضاة ، بالنسبة للمحور $x-x$ ، فتساوى ما يلى :

$$\lambda = \frac{L_x}{r_x} = \frac{680}{12} = 57$$

$$\varphi = 0.869$$

والاجهاد فى العمود يساوى :

$$\sigma = \frac{F}{\varphi A} = \frac{145000}{0.869 \times 2 \times 40.5} = 2060 \ kg/cm^2 < 2100 \ kg/cm^2$$

والآن نأتى الى تجميع مخطط المقطع ، الامر الذى يتطلب تحديد المسافة بين الشرائح (الالواح) المعدنية . ونعتبر بأن نسبة القضاة لفرع العمود تساوى $\lambda_{by} = 30$ ؛ وهنا سنجد بأن المسافة بين الشرائح المعدنية او طول الفرع ، سيساوى :

$$L_{by} = \lambda_{by} r_y = 30 \times 2.84 = 85cm$$

ولمراعاة شرط تساوى المسافات على مدى ارتفاع العمود (شكل ٨ — ٥) ، نستخدم المسافة التى تساوى $L_{by} = ٧٥$ سم . ولتحديد المسافة الصغرى الضرورية بين الفروع ، التى تؤمن الاستقرار المتساوى او المتعادل للعمود ($\lambda_{eq} \approx \lambda_x$) ، تقوم بايجاد نسبة القضاة المطلوبة ، بالنسبة للمحور الطليق للمقطع ، من الصيغة (11—8) :

$$\lambda_{y.eq} = \sqrt{\lambda_x^2 - \lambda_{by}^2} = \sqrt{57^2 - 30^2} = 48$$

ونصف قطر الحركة التدويمية المطلوب للمقطع حول المحور الطليق ، يساوى :

$$r_y = \frac{L_y}{\lambda_{y.eq}} = \frac{680}{48} = 14.2 \ cm$$

ومن الجدول (٨ — ٣) نجد بأنه للمقطع المؤلف من مجربين ، يكون $r_y = 0.44b$ ، ومن هنا تكون المسافة اللازمة ، مساوية لما يلى :

$$b = \frac{r_y}{0.44} = \frac{14.2}{0.44} = 32.3 \ cm$$

نأخذ $b = ٣٢$ سم (شكل ٨ — ١٢) .

ونقوم الآن بمراجعة استقرار العمود بالنسبة للمحور الطليق ، ولهذا الغرض لابد سلفا من تحديد نسبة القضاة المكافئة للعمود ذى المقطع المأخوذ ، باستخدام الصيغة (٨ — ٦) . نوجد اولا λ_y ، وبعدها نوجد r_y ، I_y كما يلى :

$$I_y = 2\,(I_{by} + a^2 A_{by}) = 2(327 + 14.48^2 \times 40.5) = 17500 \ cm^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{17500}{2 \times 40.5}} = 14.7 \ cm$$

$$\lambda_y = \frac{680}{14.7} = 46.2$$

ونسبة قضاة فرع العمود ، تساوى :

$$\lambda_{by} = \frac{75}{2.84} = 26.4$$

ونسبة القضاة المكافئة ، تساوى :

$$\lambda_{eq} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_{by}^2} = \sqrt{46.2^2 + 26.4^2} = 53 < 57 = \lambda_x$$

وسيكون الاجهاد فى العمود عند مراجعة استقراره ، بالنسبة للمحور الطليق ، اقل مما هو عليه ، عند مراجعة الاستقرار بالنسبة لمحور المادة ، وذلك لأن قيمة λ_{eq} اقل ، وبالتالى سيكون عامل التحدب φ_y (بالنسبة للمحور $y-y$) اقل من عامل التحدب φ_x .

٢) حساب الشرائح (الالواح) المعدنية — نحسب قوة القص الاصطلاحية ، المؤثرة على كل مجموعة من الشرائح المعدنية ، موضوعة فى نفس المستوى ، باستخدام المعادلة الاولى من الصيغة (8—9) :

$$Q_p = \frac{20 A_{gr}}{2} = \frac{20 \times 2 \times 40.5}{2} = 810 \ kg$$

وهنا يدل العدد 2 الموجود فى البسط ، على عدد المستويات التى وضعت فيها الشرائح المعدنية ، فى العمود المذكور .

ونحدد الآن قوة القص والعزم ، المؤثرين على كل شريحة معدنية (شكل ٨ — ١٢ ، أ) ، من الصيغتين (12—8) و (13—8) ، كما يلى :

$$F_{sh.pl} = \frac{Q_p L}{c} = \frac{810 \times 95}{28.95} = 2660 \ kg$$

$$M_{pl} = \frac{Q_p L}{2} = \frac{810 \times 95}{2} = 38400 \ kg/cm$$

وبعد اختيار لخن الشريحة المعدنية $t = ٨$ مم ، وعرضها $d_{pl} = ٢٠٠$ مم ، تقوم بايجاد معامل المقطع ، العرضى للشريحة المعدنية :

$$W_{pl} = \frac{t d_{pl}^2}{6} = \frac{0.8 \times 20^2}{6} = 53.4 \ cm^3$$

والاجهاد التصميمى فى الشريحة المعدنية ، الناجم عن الانحناء ، يساوى :

$$\sigma = \frac{M_{pl}}{W_{pl}} = \frac{38400}{53.4} = 723 \ kg/cm^2 < 2100 \ kg/cm^2$$

ولأجل ربط او وصل الشريحة المعدنية ، نختار اللحام ، الذى حجمه او مقاسه يساوى $h_w = ٨$ مم (ان الاقسام العمودية او الرأسية من اللحام ، هى التى تؤخذ فى الاعتبار او تحسب ، فقط) .

ان معامل المقطع للحام المذكور ، يساوى :

$$W_w = \frac{0.7 h_w d_{pl}^2}{6} = \frac{0.7 \times 0.8 \times 20^2}{6} = 37.3 \ cm^3$$

ومساحة المقطع العرضى للحام ، تساوى :

$$A_w = 0.7 h_w d_{pl} = 0.7 \times 0.8 \times 20 = 11.2 \ cm^2$$

والاجهادات فى اللحام ، هى كالآتى :

$$\sigma_w = \frac{M_{pl}}{W_w} = \frac{38400}{37.3} = 1030 \ kg/cm^2$$

$$\tau_w = \frac{F_{sh.pl}}{A_w} = \frac{2600}{11.2} = 238 \ kg/cm^2$$

ومحصلة الاجهاد ، تساوى :

$$\sigma_{res} = \sqrt{\sigma_w^2 + \tau_w^2} = \sqrt{1030^2 + 238^2} = 1055 \ kg/cm^2 < 1500 \ kg/cm^2$$

٣) حساب الشبيكة المؤلفة من زوايا معدنية (النوع الثانى المطلوب من قطع التوصيل) — نأخذ شبيكة بسيطة مثلثة الشكل، زاوية ميل اضلاعها القطرية مع الافق تساوى ٤٥° (شكل ٨ — ١٢، ب) .

ونستخدم للاضلاع القطرية ، زوايا معدنية ابعادها ٥٠×٥ ، ولها الخصائص الهندسية التالية :

$$A_d = 4.8 \ cm^2, \quad r_{min} = 0.98 \ cm$$

وطول الضلع القطرى بين وصلات او مفاصل الشبيكة المذكورة يساوى $L_d = 42$ سم ، ونسبة القضافة هى $\lambda_d = \frac{42}{0.98} = 43$ ، وعامل التحدب هو $\varphi = 0.911$. والآن نوجد قوة الانضغاط فى الضلع القطرى ، الناتجة عن قوة القص فى حالة الانحناء (التحدب) ، وتساوى ما يلى :

$$F_d = \frac{20\,A_{ch}}{2\cos\alpha} = \frac{20 \times 2 \times 40.5}{2 \times 0.71} = 1150\ kg$$

والاجهاد فى الضلع القطرى ، يساوى :

$$\sigma = \frac{F_d}{\varphi A_d} = \frac{1150}{0.911 \times 4.8} = 263\ kg/cm^2 < 0.75 \times 2100 = 1575\ kg/cm^2$$

وطول اللحامات المصمم ، اللازم فى هذه الحالة ، يساوى ما يلى :

$$L_w = \frac{F_d}{0.75 \times 0.7\, h_w R_{wf}} = \frac{1150}{0.75 \times 0.7 \times 0.5 \times 1500} \approx 3\ cm$$

والطول المصمم الكلى للحامين اثنين ، فى ظهر الزاوية وعند حافتها ، يؤخذ مساويا لما يلى :

$$L_w = 3 + 2 \approx 5cm > 3\ cm$$

وتقوم الآن بمراجعة نسبة القضافة المكافئة ، فى حالة ربط او وصل فروع العمود مع بعضها البعض ، بواسطة الشبيكات ، وذلك باستخدام الصيغة التالية :

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + 27\frac{A}{A_d}} = \sqrt{46.2^2 + 27 \times \frac{2 \times 40.5}{2 \times 4.8}} = 48.7 < \lambda_x = 57$$

البند الحادى و الاربعون – الاعمدة اللامركزية التحميل

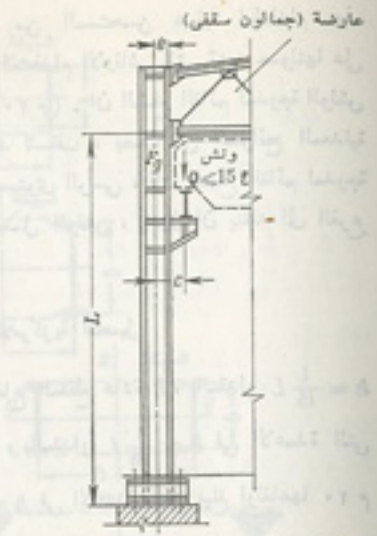
ان الاعمدة اللامركزية التحميل ، تستخدم على اوسع نطاق فى هياكل المبانى الصناعية ، حيث انها تشكل عادة ، جزءا من مجموعة (نظام) القطع الانشائية المستعرضة الجاسئة ، التى يتكون منها المصنع او الورشة (الهياكل او الاطر الجانبية) .

١ – انواع الاعمدة اللامركزية التحميل فى المبانى الصناعية

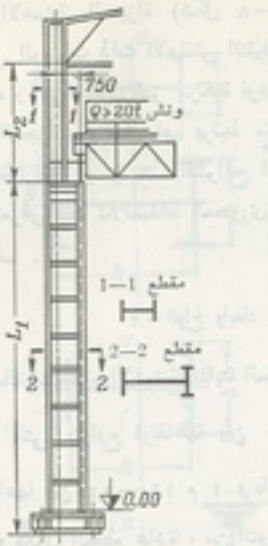
توجد ثلاثة انواع من اعمدة المبانى الصناعية ، وذلك تبعا للمخطط التصميمى لاسطوانة العمود :

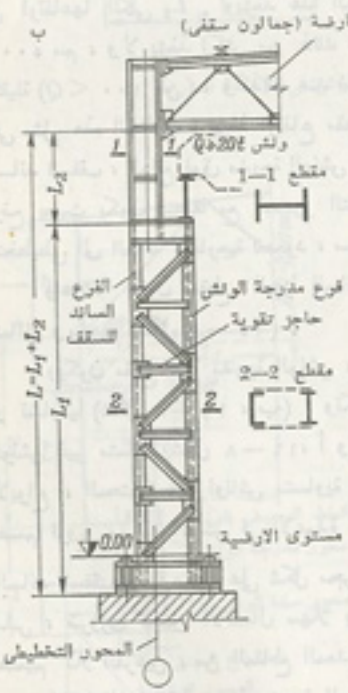
أ) الاعمدة الثابتة المقطع – لقد استخدمت هذه الاعمدة عادة ، فى الورشات التى تحتوى على اوناش رحالة ، تتراوح حمولتها بين ١٠ – ١٥ طن (شكل ٨ – ١٣) . ولاجل الاقتصاد فى المعدن ، فقد استبدلت مثل هذه الاعمدة ، فى الوقت الحاضر ، بأعمدة خرسانية مسلحة سابقة الصنع .

ب) الاعمدة المتغيرة المقطع (الاعمدة المدرجة) ، المصمتة والتشابكية – ان هذه الاعمدة تعتبر من اوسع انواع الاعمدة انتشارا فى المبانى الصناعية ، واكثرها ملائمة بالنسبة لتحمل اثقل الاحمال قاطبة (شكل ٨ – ١٤) . ان القسم او الجزء السفلى من العمود ، الذى يبلغ طوله L_1 ، يسمى « مدرجة الونش ، اما القسم العلوى الذى يبلغ طوله L_2 ، فيسمى « "مسند السقف" ». وفى الاعمدة الخارجية ، اى عند ترتيب الاوناش فى جهة واحدة فقط ، يتألف المقطع من الفرع الداخلى لمدرجة الونش ، الذى يتحمل او يناوم احمال الونش مباشرة ، والفرع الخارجى لمسند السقف (شكل ٨ – ١٤) . وفى الاعمدة المصمتة ، يربط هذان الفرعان مع بضعهما ، بواسطة لوح معدنى مصمت ، اما فى الاعمدة التشابكية (النافذة) ، فيربطان بشبيكات مؤلفة من زوايا معدنية ، موضوعة او واقعة فى مستويين مختلفين .

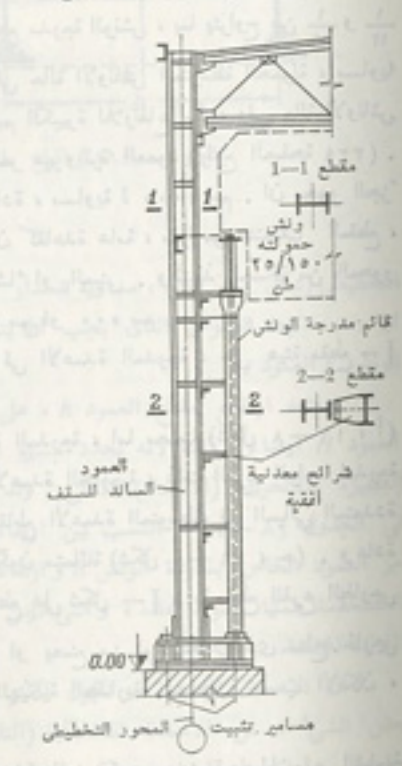


شكل (٨ – ١٣) عمود ثابت المقطع





شكل (٨ – ١٤) أعمدة متغيرة المقطع :
أ) عمود مصمت ب) عمود تشابكى



شكل (٨ – ١٥) عمود من النوع المجزأ

د) الاعمدة المجزأة (شكل ٨ — ١٥) . ان من المستحسن عمليا استخدام هذه الاعمدة ، فى الورشات ذات الاوناش الثقيلة الاحمال (عند استخدام الاوناش التى تزيد حمولتها على ١٥٠ طن) ، والتى تكون غير مرتفعة نوعاما (من ١٥ — ٢٠ م) . ان الضلع القائم لمدرجة الونش فى العمود المجزأ ، يتصل او يرتبط مع العمود الساند للسقف ، بصف من الشرائح المعدنية الافقية . ونظرا لقلة جسوة هذه الشرائح المعدنية ، فى المستوى الرأسى ، فان الضلع القائم لمدرجة الونش ، يتعرض فقط للانضغاط المحورى ، الناجم عن حمل الونش ، بدون ان ينقله الى الفرع الساند للسقف .

٢ — انواع وابعاد مقاطع الاعمدة اللامركزية التحميل

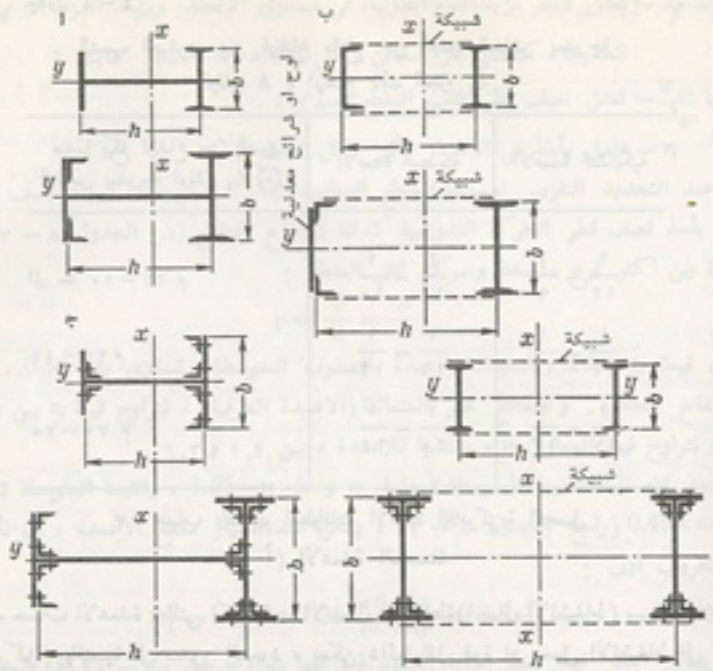
فى حالة استخدام الاعمدة الثابتة المقطع ، يحدد ارتفاع المقطع عادة h ، بالمقدار $h \approx \frac{1}{15} L$ فى الاعمدة التى يتراوح ارتفاعها بين ١٠ — ١٢ م ؛ وبالمقدار $h \approx \frac{1}{18} L$ فى الاعمدة التى يتراوح ارتفاعها بين ١٤ — ١٦ م ؛ وبالمقدار $h \approx \frac{1}{20} L$ فى الاعمدة التى يبلغ ارتفاعها ٢٠ م فما فوق . ويكون المقطع عادة ، من النوع — I الملحوم .

وفى الاعمدة المتغيرة المقطع ، يحدد ارتفاع مقطع مدرجة الونش ، بما يتراوح بين $\frac{1}{8}$ و $\frac{1}{12}$ من ارتفاعها الكلى L_0 . ويؤخذ هذا البعد عادة ، فى حالة الاوناش المتوسطة الحمولة ، مساويا لـ ٥٠٠ مم ، ولا يؤخذ اكثر من ذلك ، الا عند القيم الكبيرة للارتفاع L_0 ، وفى حالة الاوناش الثقيلة ($Q > 100$ طن) ، وكذلك عند ضرورة انشاء ممر عبور ثرة العمود (راجع الصفحة ٣٣٩) . وفى مثل هذه الحالات ، يؤخذ ارتفاع مقطع العمود عادة ، مساوية لـ ١٠٠٠ مم . ان محور الجزء الساند للسقف ، الواقع فوق مدرجة الونش ، الذى يكون كقاعدة عامة ، ماراً من منتصف المقطع ، يوضع بحيث يكون منطبقا مع المحور التخطيطى للانشاء او المبنى . وتؤخذ المسافة من المحور التخطيطى الى الحافة الخارجية للعمود ، مساويا لـ ٢٥٠ مم او ٥٠٠ مم .

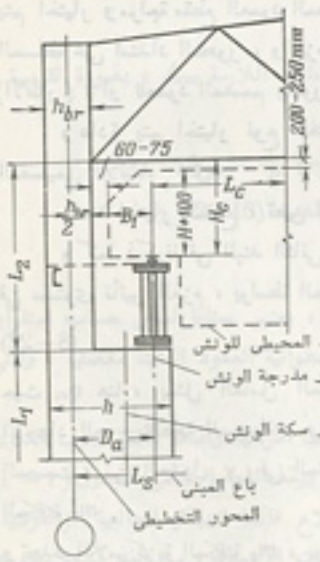
وعادة يكون مقطع الجزء الساند للسقف ، فى الاعمدة المدرجة ، على هيئة مقطع — I متماثل وملحوم (شكل ٨ — ١٤) .

ويكون مقطع جزء مدرجة الونش ، فى الاعمدة المدرجة ، اما مصمتا (شكل ٨ — ١٦ ، أ) او تشابكيا (شكل ٨ — ١٦ ، ب) . وتكون مقاطع الاعمدة الخارجية ، ذات الفرع الواحد لمدرجة الونش غير متماثلة (شكل ٨ — ١٦، أ وب) ؛ اما مقاطع الاعمدة المتوسطة، فى المبانى المتعددة الابواع ، المحتوية على اوناش متساوية الحمولة ، فتكون متماثلة (شكل ٨— ١٦ ، ح) . وعادة تصمم فروع مدرجة الونش فى الاعمدة المدرجة ، بمقطع على شكل — I ، اما مقطع الفرع الخارجى (الساند للسقف) ، فيصمم على شكل مجرى (⊔) ، او يصنع من لوح معدنى ذى سطح خارجى املس ، ضرورى لجعل الاتصال سهلا بين الاجزاء الهيكلية الجدارية . ويجب حسب الامكان ، تصميم كلا الفرعين ، من المقاطع المعدنية المدلفنة .

ان ارتفاع مقطع جزء مدرجة الونش فى الاعمدة المدرجة ، يحدد تبعا للابواع القياسية للاوناش الرحالة ، التى تكون من اضعاف العدد ٥٠٠ م ، وتبعا لابواع الورشة ، التى تكون من اضعاف العدد ٣ م . وفى اكثر الحالات ، تؤخذ المسافة D_0 بين محور سكة الونش والمحور



شكل (٨ — ١٦) انواع مقاطع مدرجة الونش فى الاعمدة المدرجة



شكل (٨ — ١٧) وضع المحاور ومقاييس الونش ، فى الاعمدة المدرجة

التخطيطى (شكل ٨ — ١٧) ، مساوية للمقدار ٠,٧٥ م او ١ م ، تبعا للخلوص الذى يجب ان يترك بين الونش والعمود .

ويعتمد ارتفاع مقطع العمود h ، على ارتفاع العمود H ايضا ، وذلك لأنه يحدد جسوة الانشاء ، المتميزة بالانحراف (الانحناء) الافقى . وقد ادرجت فى الجدول (٨ — ٤) ، النسب بين ارتفاع مقطع جزء العمود الخاص بمدرجة الونش h وارتفاعه L_1 ، المستخدمة عمليا بصورة عامة ، والتى تؤمن الجسوة اللازمة للانشاء .

ان الاعمدة المصمتة ، تكون اكثر جسوة بعض الشىء ، من الاعمدة التشابكية (النافذة) ، واسهل من حيث الصنع ، ولكن عندما يتراوح عرضها بين ١,٢ — ١,٥ م واكثر ، تصبح اقل فائدة من الناحية الاقتصادية .

جدول ٨ — ٤

النسب الصغرى بين ارتفاع مقطع جزء العمود الخاص بمدرجة الوتش h ، وارتفاع ذلك الجزء L_1

عندما يبلغ ارتفاع جزء العمود الخاص بمدرجة الوتش L_1 (ρ):	الاعمدة المصمتة	الاعمدة الشابكية
الى حد ١٠ — ١٢ م	$\frac{1}{14} - \frac{1}{10}$	$\frac{1}{12} - \frac{1}{9}$
١٥ — ٢٠ م	$\frac{1}{16} - \frac{1}{12}$	$\frac{1}{14} - \frac{1}{11}$
٢٥ — ٣٠ م	$\frac{1}{20} - \frac{1}{15}$	$\frac{1}{17} - \frac{1}{13}$

٣ — حساب وتصميم اسطوانات الاعمدة اللامركزية التحميل

أ) الاعمدة المصمتة

عند حساب الاعمدة ، التى تكون فيها الاحمال الضاغطة (احمال الانضغاط) مسلطة بلا تمركزية (خارج المركز) بالنسبة الى محور العمود ، يمكن دائما نقل قوة او حمل الانضغاط الى المحور ، مع اضافة عزم انحناء فى هذه الاثناء . ان محور العمود ، هو ذلك الخط الواصل بين مراكز ثقل المقاطع . وفى الاعمدة المدرجة ، يكون المحور مدرجا كذلك (شكل ٨ — ٧ وشكل ٨ — ٢٢ ، ب) ، الامر الذى يؤخذ فى الاعتبار عند تحديد العزوم المؤثرة فى العمود . وبهذا الشكل ، يتم اختيار ومراجعة مقطع العمود المصمت اللامركزى التحميل ، على اساس تأثير القوة الطولية F ، المسلطة على امتداد المحور ، والعزم M ، الذى استخرجت قيمته بواسطة التحليل الاستاتيكى للهيكل (الاطار) ، او للعمود المصمم بصورة مستقلة .

وعادة يتم اختيار نوع العمود وكذلك نوع وارتفاع مقطعه ، اثناء عملية رسم المخطط التصميمى للانشاء ككل .

وعند اختيار المقطع ، تعين او تحدد مساحته ، وفقا لارتفاعه المختار .

وكما ذكرنا فى البند الثانى عشر ، تتم مراجعة استقرار القضيب اللامركزى الانضغاط ، فى مستوى تأثير العزم ، بواسطة الصيغة التالية [راجع الصيغة (36—2)] :

$$\sigma = \frac{F}{\varphi_{ec} A_{gr}} \leqslant R \qquad (8—22)$$

حيث φ_{ec} هنا ، يمثل العامل المستخدم لتقليل او تحويل قيمة المقاومة التصميمية ، الى حد الاجهاد الحرج للقطعة المبحوثة . ويحدد هذا العامل ، بالنسبة للقضبان (الاعمدة) ذات المقطع المصمت ، من الجدول ٧ ، فى الملحق الثانى ، تبعا لنسبة قضافة القضيب (العمود) λ ، اللامركزية المكافئة m_1 .

وتحدد اللامركزية المكافئة m_1 ، بواسطة الصيغة التالية :

$$m_1 = \eta m = \eta \frac{e}{\rho} = \eta \frac{M}{F} \frac{A}{W} \qquad (8—23)$$

حيث $\eta = \frac{M}{F}$ — تمثل لاتمركزية القوة الطولية، فى مستوى الانحناء، ويؤخذ العزم M فى الاعمدة المدرجة ، كأقصى عزم ممكن ، على امتداد رقعة المقطع الثابت ؛

$\rho = \frac{W_{gr}}{A_{gr}}$ — تمثل نصف قطر قلب المقطع (سم) ؛

η — عامل يأخذ فى الاعتبار تأثير شكل المقطع .

وعند التحديد التقريبى لمساحة المقطع المطلوبة A_{req} ، يمكن سلفا ايجاد نصف قطر قلب المقطع ، بأخذ نصف قطر الحركة الدورانية كدالة لارتفاع المقطع (من الجدول ٨ — ٣) ، واخذ المسافة z_l بين اكثر فرع منضغط ومركز ثقل المقطع :

$$\rho = \frac{W}{A} = \frac{r^2}{z_l} \qquad (8—24)$$

ان قيمة z_l للمقاطع المتماثلة (اعمدة الصفوف المتوسطة) تساوى $z_l = 0.5h$ ، حيث h تمثل ارتفاع المقطع . وللمقاطع غير المتماثلة (الاعمدة الطرفية) ، تتراوح قيمة z_l بين $0.45h$ و h) . وتتراوح قيمة المعامل η ، بالنسبة للاعمدة ، بين ١,٢ و ١,٣ .

وبعد ان نأخذ القيمة المتوسطة للمعامل η وهى $\eta = 1.25$ ، والقيمة المتوسطة للمقدار r_x وهى $r_x = 0.45h$ (راجع الجدول ٨ — ٣) ، يمكن عند اختيار مقطع الاعمدة ، ان نأخذ القيمة التالية كتقريب اولى :

$$m_1 = \eta \frac{e}{\rho} = 1.25 \frac{e\, 0.45h}{(0.45h)^2} \approx 2.8 \frac{e}{h} \qquad (8—25)$$

ويمكن اعطاء قيمة نسبة قضافة العمود λ ، فيما يتراوح بين ٥٠ — ٩٠ (فى المتوسط λ = = ٧٠) .

وعند وجود لاتمركزية كبيرة ($m_1 > 4$) ، يقل تأثير القوة المتعامدة ، وتقل قيمة نسبة قضافة العمود ، ولذلك يمكن فى هذه الحالة ، استخدام الصيغة ذات الحدين ، التالية :

$$\sigma = \frac{E}{A_\varphi} + \frac{M}{W} \leqslant R \qquad (8—26)$$

وبواسطة هذه الصيغة ، يمكن كذلك تحديد مساحة المقطع اللازمة A_{req} ، بصورة تقريبية . واذا اعتبرنا بأن $\varphi = 0.8$ و $\rho = 0.45h$ ، نجد ما يلى :

$$A_{req} = \frac{F}{R}\left(\frac{1}{\varphi} + \frac{e}{\varphi}\right) = \frac{F}{R}\left(1.25 + 2.2\frac{e}{h}\right) \qquad (8—27)$$

وتحدد نسبة قضافة العمود λ ، كما اشرنا سابقا ، من الصيغة (16—2) :

$$\lambda = \frac{L_0}{r} = \frac{kL}{r}$$

ان الطول الفعال ، الذى حدد بواسطة معامل الطول ، يعتبر بمثابة اساس حساب استقرار اسطوانات الاعمدة ، ويمكن اعتباره بمثابة الطول المكافئ لاسطوانية العمود المثبتة مفصليا ، والتى لها نفس الجسؤة .

وبالنسبة للاعمدة الثابتة المقطع ، التى تكون شروط تثبيت اطرافها واضحة بدقة (الطرف العلوى طليق ، مفاصل ثابتة فى الاطراف ، او تثبيت محكم للاطراف) ، يؤخذ المعامل k من الجدول (٢ — ٤).

ان الاطوال الفعالة للاعمدة ، التى تعتبر بمثابة اضلاع قائمة للهياكل الجانبية (العرضية) للمبانى ، تحدد بحل معادلات الاستقرار ، الموضوعة لاسطوانات الاعمدة ، مع اخذ تشوه محورها المرن فى الاعتبار ، على انه دالة الازاحة الزاوية اللابعدية : $u = L\sqrt{\frac{F}{EI}}$.

ان اصغر جذر موجب لمعادلة الاستقرار ، يبين خصائص القيمة الحرجة للقوة ، ويحدد القيمة الحرجة للازاحة الزاوية u_{cr} ، وبالتالى معامل الطول k .

و يعود المعاملان u_{cr} و k الى صيغة اويلر ، الخاصة بالقضبان (اسطوانات الاعمدة) ، ذات الاطراف المثبتة بمختلف الطرق :

$$F_E = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} = \frac{\pi^2 EI}{(kL)^2} = \frac{u_{cr}^2 EI}{L^2} \qquad (8-28)$$

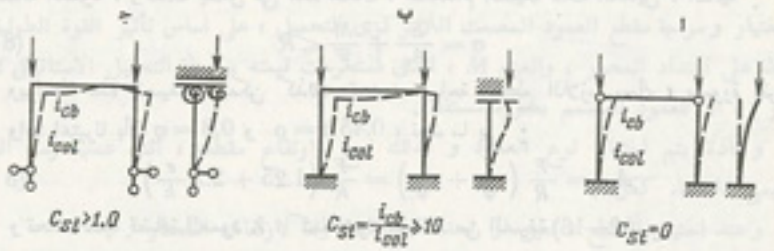
و فيها $k = \frac{\pi}{u_{cr}}$

و كقاعدة عامة ، تكون معاملات معادلات الاستقرار ، بمثابة دوال متساوية للازاحة الزاوية u ، وليس لهذه المعادلات اى حل بصورة عامة . ويمكن التعبير عن الحلول العددية لهذه المعادلات ، عن طريق بارامترات الهيكل ، و تنظم فى جداول خاصة .

و عند تحديد قيم القوى الحرجة للاضلاع القائمة فى الهياكل ، توضع بعض الفرضيات التى تسهل اجراء الحساب ، ومنها :

١) يفترض بأن الهيكل يحمل فقط ، بالقوى المركزة فى وصلاته (مفاصله) .

٢) يعتبر بأن الهيكل الوحيد الباع ، معرض للتأثير الآنى (الموحد) للحمل الحرج على كلا الضلعين القائمين (العمودين) الامر الذى يسمح باهمال تأثير الجسؤة و درجة تحميل العمود المجاور ، واعتبار العمود بمثابة قضيب (اسطوانة) مستقل ، اما مثبت من الاسفل وطليق او حر من الاعلى (شكل ٨ — ١٨ ، أ و ب) ، او مفصلى التثبيت من الاسفل ، ومرن التثبيت من الاعلى (شكل ٨ — ١٨ ، ج) .



شكل (٨ — ١٨) رسم توضيحى لمسألة استقرار الاطر الوحيدة الباع

٣) وفى الهياكل المتعددة الابواع (التى يبلغ عدد ابواعها ٢ واكثر) ، عند وجود سقف جاسئ ، او مجموعة من الاربطة الطولية ، المستخدمة لربط رؤوس او قمم الاعمدة ، يفترض بأنه من غير الممكن ان تصل الاحمال المؤثرة على جميع الاعمدة ، الى قيمها الحرجة فى وقت واحد ، ووفقا لذلك ، يعتبر المسند العلوى لعمود الاطار ، غير قابل للازاحة (مع ربط العمود و العارضة بوصلة مفصلية او وصلة جاسئة) . و هكذا ، فان العمود فى هذه الحالة ايضا ، يمكن ان يعتبر بمثابة قضيب (اسطوانة) ، مثبت الطرفين بطرق مختلفة .

و بالنسبة للاعمدة الثابتة المقطع ، المثبتة مع عارضة الهيكل بوصلة جاسئة (او مرنة) ، و عند

جدول ٨ — ٥

قيم المعامل k للاعمدة الثابتة المقطع

طريقة تثبيت العمود	قيم المعامل k ، عندما تكون c_{st} مساوية :							
	٠	٠,٢	٠,٣	٠,٥	١,٠٠	٢,٠٠	٣,٠٠	≥ ١٠
تثبيت تام	٢,٠٠	١,٥	١,٤	١,٢٨	١,١٦	١,٠٨	١,٠٦	١,٠٠
تثبيت مفصل	—	٣,٤٢	٣,٠٠	٢,٦٣	٢,٣٣	٢,١٧	٢,١١	٢,٠٠

استخدام مختلف طرق التثبيت فى الاساس ، يؤخذ المعامل k من الجدول (٨ — ٥) ، اعتمادا على النسبة بين الجسؤة الخطية لعارضة الهيكل (العتبة الشدادة) و الجسؤة الخطية للعمود :

$$c_{st} = \frac{i_{cb}}{i_{col}} \qquad (8-29)$$

حيث

$$i_{cb} = \frac{I_{cb}}{L_{cb}}$$

و

$$i_{col} = \frac{I_{col}}{L}$$

I_{cb} — تمثل عزم القصور الذاتى للعارضة او العتبة الشدادة ، فى منتصف الباع ؛

L_{cb} — طول باع العارضة المذكورة ؛

I_{col} — عزم القصور الذاتى للعمود ؛

L — ارتفاع العمود حتى العارضة او العتبة الشدادة .

و اذا كان الجمالون السقفى ، يقوم بمهمة العتبة الشدادة ، عندئذ يكون لدينا :

$$I_{cb} = 0.75\,(A_{t.ch} z_t^2 + A_{b.ch} z_b^2) \qquad (8-30)$$

و فيها $A_{t.ch}$ و $A_{b.ch}$ — تمثلان مساحتى المقطع العرضى للوترين العلوى و السفلى على التوالى .

z_t و z_b — المسافتان من مركز ثقل كل وتر من الوترين ، الى مركز الثقل المشترك لكلا الوترين ، فى منتصف الباع .

و عند تثبيت العتبة الشدادة مع العمود ، بوصلة مفصلية ، يؤخذ المعامل (النسبة) c_{st} مساويا للصفر .

و بالنسبة للاعمدة المدرجة للهياكل الوحيدة الطابق فى المبانى الصناعية ، المثبتة تثبيتا جاسئا فى الاسس ، بواسطة مسامير تثبيت ، تحدد قيم معامل الطول بصورة منفصلة لكل من القسم السفلى من العمود (k_1) ، و للقسم العلوى منه (k_2) . و هنا يمكن وجود الحالتين التاليتين :

١) فى الحالة الاولى ، عند وجود الهياكل الوحيدة الباع ، يعتبر عمود الهيكل بمثابة ضلع قائم (قطعة قائمة) مستقل بذاته ، له ازاحة افقية مطلقة من الاعلى (مثلما مبين فى الشكل ٨ — ١٨ ، أ و ب) ، اى يفترض بأنه ليس للعمود رد فعل ارتكاز ، وبأن قوة القص Q تساوى صفر . و فى هذه

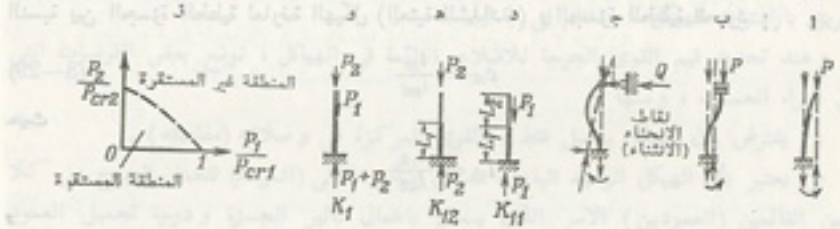
الحالة ، يصبح خط قوى الانضغاط (القوى الضاغطة) ، محددا بشكل معين ، وموازيا للمحور غير المتشوه للعمود (شكل ٨ — ١٩ ، أ و ب) .

و يحدد شرط الاستقرار بمعادلة واحدة، اعتمادا على الباراسترين التاليين (القيمتين المتغيرتين) :

$$\left.\begin{aligned} c_1 &= \frac{I_2}{I_1} = \frac{I_2 L_2}{I_1 L_2} \\ c_2 &= \frac{u_2}{u_1} = \frac{L_2}{L_1}\sqrt{\frac{F_2 L_1}{F_1 L_2}} \end{aligned}\right\} \qquad (8-31)$$

حيث L_1 ، I_1 ، F_1 — تمثل ارتفاع القسم السفلى للعمود وعزم قصوره الذاتى وقوته الطولية ، على التوالى ؛

L_2 ، I_2 ، F_2 — تمثل ارتفاع القسم العلوى للعمود وعزم قصوره الذاتى وقوته الطولية ، على التوالى .



شكل (٨ — ١٩) رسم توضيحى لتحديد قيمة العامل μ ، للاعمدة ذات الدرجة الواحدة

وبالاعتماد على هذه الباراسترات ، عند تثبيت العتبة الشدادة مع العمود بوصلة مفصلية ، تؤخذ قيم المعامل k_1 من الجدول ١٠ ، من الملحق الثانى فى آخر الكتاب ، اما عند تثبيت العتبة الشدادة مع العمود ، بوصلة جاسئة ، فتؤخذ قيم المعامل k_1 من الجدول ١١ ، من الملحق الثانى .

وعند بحث قسمى العمود ، اللذين تختلف فيهما القيم L و I و F ، يفترض بأن النسبة بين القوى الحرجة فى الاقسام المستقلة من العمود ، تساوى النسبة بين القوى الطولية القصوى ، المؤثرة فى العمود ، اى يفترض بأن العمود يصل الى الحالة الحرجة ، عند الزيادة الآنية والتناسبية للاحمال ، فى كلا قسمى العمود (التحميل البسيط) :

$$\frac{F_{cr2}}{F_{cr1}} = \frac{F_2}{F_1} = \text{const}$$

وهكذا يمكننا ان نعتبر بأن :

$$c_2 = \frac{u_2}{u_1} = \frac{u_{cr2}}{u_{cr1}} = \frac{k_1}{k_2}$$

ومنها تستخرج قيمة المعامل k ، الذى يكون محددا بظروف الخدمة الفعلية للعمود :

$$k_2 = \frac{k_1}{c_2} \leqslant 3 \qquad (8-32)$$

وبما انه عند حساب الهياكل ، يحتمل وجود عدة مجموعات مؤتلفة من الاحمال ، وبالتالى قيم مختلفة للقوى F ، لذا عند تحديد الاطوال الفعالة ، تؤخذ القيمة القصوى للقوة F ، المؤثرة فى اقسام منفصلة من العمود ، وتستخدم قيمة المعامل k الناتجة عن ذلك ، فى حساب مجموعات مؤتلفة اخرى من الاحمال .

جدول ٨ — ٦

قيم المعامل k للاعمدة ذات الدرجة الواحدة ، فى هياكل المبانى الصناعية ذات الطابق الواحد

قوة القص عند الطرف العلوى	طريقة تثبيت الطرف العلوى	القسم السفلى k_1 ، عند : $0.3 \geqslant \frac{I_2}{I_1} \geqslant 0.1$	القسم السفلى k_1 ، عند : $0.1 \geqslant \frac{I_2}{I_1} \geqslant 0.05$	القسم العلوى k_2
$Q = 0$	الطرف طليق	٢,٥	٣	٣
	الطرف مثبت لمنع الدوران فقط	٢	٢	٣
$Q \neq 0$	الطرف مثبت تثبيتا مفصليا غير متحرك	١,٦	٢	٢,٥
	الطرف غير متحرك ، مثبت لمنع الدوران	١,٢	١,٥	٢

وفى الهياكل التى فيها النسب التالية : $\frac{I_2}{L_1} \leqslant 0.6$ و $\frac{F_1}{F_2} \geqslant 3$ ، تختلف قيم العامل k ، اختلافا طفيفا عن القيم المتوسطة ، ولهذا السبب ، لتسهيل او تبسيط الحساب فى مثل هذه الحالات ، تسمح المواصفات القياسية بأخذ قيم المعامل k من الجدول (٨ — ٦) .

٢) وفى الحالة الثانية ، عند وجود هياكل ذات باعين واكثر ، يمكن عند تحديد الطول الفعال للعمود ، اعتبار طرفه العلوى ثابتا ؛ اى ان قوة القص Q فى الطرف العلوى للعمود ، لا تساوى صفرا ، $Q \neq 0$ ، وخط القوى الضاغطة ، يمكن ان ينحرف عن الخط الرأسى (شكل ٨ — ١٩ ، حـ) . وعندئذ فى حالة وجود درجة (تدريج) ، مع تأثير القوتين P_1، P_2 (شكل ٨ — ١٩ ، و)، يحدد شرط الاستقرار من معادلتين التين مع معاملات متسامية (transcendental coefficents) وباراسترين (كميتين متغيرتى القيمة). ولأجل عدم الاكثار من الجداول الخاصة بالنسب المختلفة بين القوتين P_1، P_2 ، تعرض المواصفات القياسية ، طريقة تقريبية للحساب ، تتلخص فيما يلى :

يحسب العمود مرتين : الاولى تحت تأثير القوة P_1 فقط ، وهنا تعين او تحدد القوة الحرجة للقسم السفلى من العمود P_{cr1} ، والمعامل k_{11} (شكل ٨ — ١٩ ، د) ، ثم يحسب العمود فى المرة الثانية ، تبعا لتأثير القوة P_2 فقط ، وهنا ايضا تحدد القوة الحرجة P_{cr2} للقسم السفلى من العمود ، كما يحدد كذلك المعامل k_{12} (٨ — ١٩ ، هـ) . وعند التأثير الموحد لكلتا القوتين فى نفس الوقت (شكل ٨ — ١٩ ، و) ، فان مجموع النسبتين بين القوتين المؤثرتين والقوتين الحرجتين، سيكون عبارة عن منطقة او مساحة (فى مجموعة من الاحداثيات، تمثل النسبتين المذكورتين)، يمكن تقسيمها الى قسمين ، احدهما مستقر والآخر غير مستقر .

وفى الواقع ، تكون كل قيمة من قيم النسبة $\frac{P_1}{P_{cr1}}$ او النسبة $\frac{P_2}{P_{cr2}}$ ، اما اقل من واحد او تساوى واحد . ولذلك اذا وضعنا الوحدات على محاور الاحداثيات ، ووصلناها بخط مستقيم (لتأمين

احتياطي الاستقرار) ، فسوف نحصل على خط مستقيم حدى أو فاصل (يكون في الواقع منحنى مجدبا) ، يقع في اسفله منطقة الاستقرار ، و تقع فوقه منطقة عدم الاستقرار (شكل ٨ — ١٩ ، ز) . ويمكن كتابة معادلة هذا المستقيم الحدى او الفاصل ، بالشكل التالى :

$$\frac{P_1}{P_{cr1}} + \frac{P_2}{P_{cr2}} = 1 \qquad (8—33)$$

واذا فرضنا ما يلى :

$$P_{cr1} = \frac{\pi^2 EI_1}{(k_{11}L_1)^2}\,; \quad P_{cr2} = \frac{\pi^2 EI_2}{(k_{12}L_1)^2}\,; \quad \frac{P_1+P_2}{P_2} = m_p$$

او

$$P_2 = \frac{P_1}{m_p - 1}$$

و عوضنا هذه القيم فى الصيغة (33—8) ، وبتعويض نحصل على ما يلى :

$$P_1\left[\frac{k_{11}^2}{\frac{\pi^2 EI_1}{L_1^2}} + \frac{k_{12}^2}{\frac{\pi^2 EI_1}{L_1^2}(m_p-1)}\right] = 1 \qquad (8—34)$$

و اذا اخذنا فى الاعتبار ما يلى :

$$P_1 + P_2 = \frac{P_1 m_p}{m_p - 1}$$

$$P_1 = \frac{(P_1+P_2)(m_p-1)}{m_p}$$

عندئذ بتعويض قيمة P_1 فى الصيغة (34—8) ، و على فرض انه عند التأثير الموحد لكلتا القوتين :

$$P_1 + P_2 = \frac{\pi^2 EI_1}{k_1^2 L_1^2}$$

عندئذ سوف نحصل على ما يلى :

$$k_1 = \sqrt{\frac{k_{11}^2(m_p-1)+k_{12}^2}{m_p}} \qquad (8—35)$$

و للقسم العلوى من الاعمدة ، نحصل على :

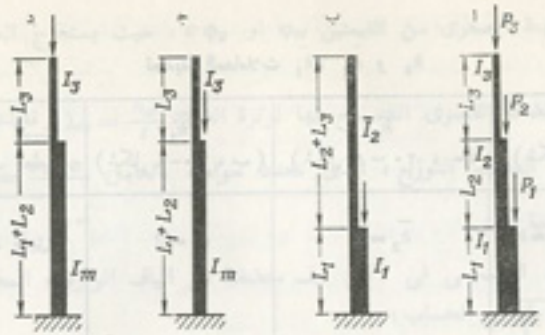
$$k_2 = \frac{k_1}{c_2} \leqslant 3$$

و هكذا فان المعامل k_1 يحدد بدلالة المعامل k_{12} ، وهو معامل للقسم السفلى من العمود ، عندما تكون القوة P_1 مساوية للصفر ، $P_1 = 0$ ؛ وبدلالة المعامل k_{11} ، وهو معامل الطول للقسم السفلى من العمود ، عندما تكون القوة P_2 مساوية للصفر ، $P_2 = 0$.

ان قيم كل من المعاملين k_{12} و k_{11} ، باعتبارها دالة للنسبتين $n = \frac{L_2}{L_1}$ و $\beta = \frac{I_2}{I_1}$ ، مدرجة فى الجداول ١٢ ، ١٣ ، ١٤ و ١٥ ، التابعة للملحق الثانى فى آخر الكتاب .

ان مقارنة الحلول المذكورة اعلاه ، مع الحلول الدقيقة ، تبين وجود انحراف ضئيل نحو زيادة احتياطي الاستقرار (فيما يتراوح بين ٢ — ٨ ٪) .

و تعرض المواصفات القياسية السوفييتية ، حلا تقريبيا مماثلا ، للاعمدة ذات الدرجتين (شكل ٨ — ٢٠ ، أ) . و هنا تستخدم جداول حل الاعمدة ذات الدرجة الواحدة ، على ان تؤخذ فى الاعتبار ، عزوم القصور الذاتى المتوسطة (المعدلة) ، فى اقسام العمود المستقلة .



شكل (٨ — ٢٠) رسم توضيحى لتحديد المعامل للعمود ذى الدرجتين

و اذا استخدمنا الرموز التالية (شكل ٨ — ٢٠ ، أ) :

$$\frac{P_1}{P_2} = s_1; \quad \frac{P_2}{P_3} = s_2; \quad \frac{I_2}{I_1} = \beta_2; \quad \frac{I_3}{I_1} = \beta_3;$$

$$\frac{L_2}{L_1} = n_2; \quad \frac{L_3}{L_1} = n_3$$

عندئذ ستكون قيمة المعامل k_1 ، للقسم السفلى من العمود ، مساوية لمايلى :

$$k_1 = \sqrt{\frac{s_1 k_1^{-2} + (s_2 k_2^{-2} + k_3^{-2})(1+n_2)^2 \frac{I_1}{I_2}}{1+s_1+s_2}} \qquad (8—36)$$

حيث $I_m = \frac{I_1L_1 + I_2L_2}{L_1+L_2}$ تمثل القيمة المتوسطة لعزم القصور الذاتى ، لقسم العمود الذى يبلغ طوله L_1+L_2 . وتحدد المعاملات $\bar{k}_1$ ، $\bar{k}_2$ و $\bar{k}_3$ ، بنفس الطريقة التى حددت بها فى الاعمدة ذات الدرجة الواحدة ، وفقا للرسوم البيانية ، الموضحة فى الشكل (٨ — ٢٠ ، ب ، ح ، د) ، وطبقا لمعطيات الجدول (٨ — ٧) .

و فى هذه الحالة ، تحدد قيمة $\bar{I}_2$ (شكل ٨ — ٢٠ ، ب) ، من المعادلة التالية :

$$\bar{I}_2 = \frac{I_2L_2 + I_3L_3}{L_2+L_3}$$

و يحدد معامل الطول الفعال ، للقسم المتوسط من طول العمود ، من الصيغة التالية :

$$k_2 = \frac{k_1}{c_2} \qquad (8—37)$$

حيث

$$c_2 = n_2\sqrt{\frac{P_2+P_3}{(P_1+P_2+P_3)\beta_2}}$$

اما معامل الطول الفعال ، للقسم العلوى من العمود ، فيحدد من الصيغة التالية :

$$k_3 = \frac{k_1}{c_4} \leqslant 3 \qquad (8—38)$$

حيث :

$$c_4 = n_3\sqrt{\frac{P_3}{(P_1+P_2+P_3)\beta_3}}$$

جدول ٨ — ٧

تحديد المعاملات k_1، k_2 و k_3

قوة القص عند الطرف العلوي	طريقة تثبيت الطرف العلوي	$\bar{k}_1$ (شكل ٨—٢٠، ب)	$\bar{k}_2$ (شكل ٨—٢٠، حـ)	$\bar{k}_3$ (شكل ٨—٢٠، د)
$Q=0$	الطرف طليق	$\bar{k}_1=2$	$\bar{k}_2=2$	$\bar{k}_3=\bar{k}_1$ طبقا لجدول ١٠، من الملحق الثانى $c_1=\frac{L_3}{L_1+L_2}\sqrt{\frac{I_{ef}}{I_3}}$
	الطرف مثبت لمنع الدوران فقط	$\bar{k}_1=k_1$، طبقا لجدول ١١ من الملحق الثانى مع $c_2=0$	$\bar{k}_2=k_1$، طبقا لجدول ١١ من الملحق الثانى، مع $c_2=0$	$\bar{k}_3=k_1$ طبقا لجدول ١١ من الملحق الثانى، مع $c_2=\frac{L_3}{L_1+L_3}\sqrt{\frac{I_{ef}}{I_3}}$
$Q\neq 0$	الطرف مفصل التثبيت غير متحرك	$\bar{k}_1=k_{11}$ طبقا لجدول ١٣ من الملحق الثانى	$\bar{k}_2=k_{11}$ طبق لجدول ١٣ من الملحق الثانى	$\bar{k}_3=k_{12}$، طبقا لجدول ١٢ من الملحق الثانى
	الطرف غير متحرك ومثبت لمنع الدوران	$\bar{k}_1=k_{11}$، طبقا لجدول ١٥ من الملحق الثانى	$\bar{k}_2=k_{11}$، طبقا لجدول ١٥ من الملحق الثانى	$\bar{k}_3=k_{12}$، طبقا لجدول ١٤ من الملحق الثانى

وعند تصميم مقطع العمود المصمت ، يجب توزيع المساحة اللازمة المحسوبة A_{req} ، توزيعا اكثر ملائمة ، على ان يؤمن اثناء ذلك الاستقرار الموضعى لقطع المقطع المستقلة .

ويجب ان يكون عرض الفرع (او عرض مقطع العمود) ، كافيا لتأمين الاستقرار العام للعمود فى المستوى العمودى على مستوى الهيكل .

وعادة يحدد هذا العرض b ، فى الحدود التى تتراوح بين $\frac{1}{20}L_1$ و $\frac{1}{30}L_1$ (ارتفاع قسم العمود الخاص بمدرجة الونش) . وعادة يكون عرض الفرع الآخر للعمود ، الاقل حمولة ، بنفس العرض السابق (او يساويه تقريبا) ، تبعا لسهولة تثبيت قاعدة العمود مع اسطوانته .

ولتأمين او ضمان الاستقرار الموضعى لمقطع فروع العمود ، يجب كما هى الحالة فى الاعمدة المركزية التحميل ، ان تؤخذ فى الاعتبار النسب القصوى بين الاجزاء البارزة من الالواح (تزوّات الالواح) وثخنها $\left(\frac{b}{t_{ch}}\right)$ ، وهى النسب المقررة فى المواصفات القياسية ، اعتمادا على نسبة قضاة العمود (راجع الجدول ٨ — ١) .

وعندما تكون القطعة منخفضة الاجهاد ، يمكن مضاعفة قيمة النسبة $\frac{b}{t_{ch}}$ ، المستخرجة من الجدول (٨ — ١) ، بمقدار يساوى $\sqrt{\frac{R\varphi}{\sigma}}$ من المرات ، على ان لا يزيد ذلك على ٢٥ ٪ [ان

φ هنا ، تمثل القيمة الصغرى من القيمتين φ_w او $c\varphi_y$ ، حيث يستخرج العامل ، من الصيغة (8—41)] .

ان نسبة القضاة القصوى المسموح بها لوترة العمود $\lambda_w=\frac{h_w}{t}$ ، تحدد تبعا للرسم البيانى للاجهادات ، غير المنتظم التوزيع ، الذى تحدد خواصه بالعامل $k_0=\frac{\sigma-\sigma'}{\sigma}$ (راجع الصفحة ١٧٣)، وتبعا للنسبة $\frac{\tau}{\sigma}$.

حيث σ — الاجهاد التصميمى فى اكثر لف منضغط من الياف الوترة ، المحدد بدون استخدام العامل φ_w فى الحساب ؛

σ' — الاجهاد عند الحافة المقابلة للوترة ؛ $\tau=\frac{Q}{h_{wf}t}$ — اجهاد القص المتوسط ، فى المقطع المبحوث .

وعند $k_0\geqslant 0.4$ ، تؤخذ القيمة القصوى للنسبة $\frac{h_w}{t}$ ، كما تؤخذ بالنسبة للاعمدة المركزية (المحورية) التحميل ، طبقا للصيغة (3—8) ، اى كما يلى :

$$\frac{h_w}{t}=40\sqrt{\frac{2{,}100}{R}+0.2\lambda}$$

بحيث لا تزيد على ٧٥ .

وعند $k_0\leqslant$ ٠,٨ ، تؤخذ القيمة القصوى لنسبة قضاة الوترة ، مساوية لما يلى :

$$\frac{h_w}{t}=100\sqrt{\frac{k_{str}}{\sigma}} \qquad (8—39)$$

حيث يؤخذ المعامل k_{str} من الجدول (٨ — ٨) .

جدول ٨ — ٨

قيم المعامل k_{str}

قيم المعامل k_{str} عند قيم k_0 التى تساوى :

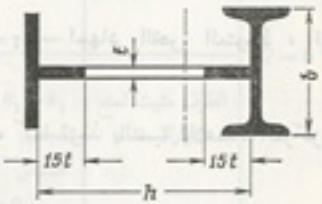
$\frac{\tau}{\sigma}$	٠,٨	١,٠	١,٢	١,٤	١,٦	١,٨	٢,٠
٠	١,٨٨	٢,٢٢	٢,٦٧	٣,٢٦	٤,٢٠	٥,٢٥	٦,٣٠
٠,٢	١,٨٨	٢,١٨	٢,٥١	٢,٩٠	٣,٤٠	٣,٨٢	٤,١١
٠,٤	١,٥٩	١,٧٦	١,٩٣	٢,٠٧	٢,٢٥	٢,٤٣	٢,٥٦
٠,٦	١,٣١	١,٣٨	١,٤٨	١,٦٠	١,٧١	١,٨٠	١,٨٦

وفى الفاصلة التى تبلغ $0.4<k_0<0.8$ ، تحدد نسبة القضاة القصوى لوترة العمود ، بطريقة التكامل الرياضى من الداخل .

ولا ينصح بجعل ثخن الوترة اقل من ٨ سم . واذا لم يكن استقرار الوترة مضمونا ، يمكن تقويتها بضلع مزدوج طول ، على مدى ارتفاع العمود باكمله ، كما ذكرنا سابقا فى الاعمدة

المركزية التحميل . وبما ان مثل هذا الحل مرتبط ببذل جهود زائدة كبيرة في عملية انتاج العمود ، يمكن في الحالات التي يتضح منها بأن استقرار الوترة غير مضمون ، اعتبار الوترة غير معرضة لأية احمال ، باستثنا" اقسامها الطرفية المجاورة للفروع ، بابعاد قدرها 1.5ℓ ، من كل جانب (شكل ٨ — ٢١) .

وفي هذه الحالة يصبح العمود وكأنه احد الاعمدة التشابكية (النافذة) ، وتقوم الوترة بدور الشبيكة . وفي جميع الحالات التي تكون فيها نسبة قضافة الوترة $\frac{h_w}{t} \geqslant 70$ ، يجب ان توضع اضلاع مستعرضة، على مسافات تتراوح بين $2.5\,h_w$ و $3\,h_w$ من بعضها البعض ، وتربط هذه الاضلاع المقطع ، في قطعة واحدة متكاملة ، وتضمن جسؤته العالية ، ضد التوا" العمود .



شكل (٨ — ٢١) مقطع توضيحي للعمود ذي الوترة غير المستقرة

وفي الاعمدة الثقيلة ، توضع حواجز على عرض المقطع باكمله ، على مسافات كل منها تساوي ٤ م تقريبا، وهذه الحواجز يجب ان تؤمن او تضمن الجسؤة الكافية للعمود ايضا .

وبالاضافة الى مراجعة مقاومة العمود اللامركزي التحميل ، في مستوى الانحنا" ، يجب كذلك في جميع الحالات ، مراجعة استقرار العمود في المستوى العمودي على مستوى تأثير العزم . وتتم هذه المراجعة باستخدام الصيغة التالية :

$$\sigma = \frac{F}{c\,\varphi_y\,A} \leqslant R \qquad (8-40)$$

حيث φ_y — عامل التحدب ، المأخوذ طبقا لمعطيات الجدول ١ من الملحق الثاني ، اعتمادا على قيمة نسبة القضافة λ_y ، في المستوى العمودي على مستوى تأثير العزم ؛

c — عامل حساب تأثير العزم على استقرار القطعة اللامركزية التحميل ، تبعا لشكل الانحنا" والالتوا" عند فقدان الاستقرار ؛ ويساوي ما يلي :

$$c = \frac{\beta}{1 + am_x} \qquad (8-41)$$

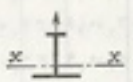
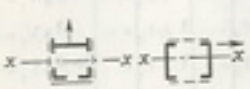
حيث $m_x = \frac{e_x}{\rho_x}$ ، $e_x = \frac{M_x}{F}$. وفي هذه الحالة ، يؤخذ العزم ، مساويا للعزم الاقصى في حدود الثلث المتوسط للطول (ولكن ليس اقل من نصف العزم الاقصى ، على طول العمود) ، في الاعمدة ذات الاطراف المثبتة لمنع الازاحة في الاتجاه العمودي على مستوى تأثير العزم ؛ ومساويا للعزم الموجود عند المسند (عزم المسند) ، في الاعمدة ذات الاطراف الطليقة .

وتؤخذ قيم المعاملين α و β ، طبقا لمعطيات الجدول (٨ — ٩) . وفي الجدول (٨ — ٩) ، يمثل المقداران I_1 و I_2 ، عزمي القصور الذاتي للشقتين الكبرى والصغرى على التوالي ، بالنسبة لمحور تماثل المقطع $y - y$. وعند $\lambda_y < \lambda_x$ ، وكذلك عند $\frac{I_2}{I_1} < 0.5$ ، وعندما تكون اللامركزية في اتجاه الشقة الصغرى ، فان قيمة β تساوي ١ ، اي $\beta = 1$.

وتؤخذ قيمة λ_x مساوية لـ ١٠٠ ، للمنشآت المصنوعة من الفولاذ — ٣ والفولاذ — ٤ ، ومساوية لـ ٨٥ ، لمجموعة الفولاذ السبائكي المنخفض الاشابة ، مع $R = ٢٩٠٠$ كجم/سم^2.

جدول ٨ — ٩

قيم المعاملين α ، β

نوع واتجاه اللامركزية	المقاطع المفتوحة ، عندما تكون اللامركزية متجهة نحو : الشقة الكبرى ، او بدون لامركزية	المقاطع المفتوحة ، عندما تكون اللامركزية متجهة نحو : الشقة الصغرى	المقاطع المقفلة ذات الشبيكات (شرائح معدنية) او المقاطع المصمتة
			
α	0.7	$1 - 0.3\frac{I_2}{I_1}$	0.6
β عند $\lambda_y > \lambda_x$	$\frac{0.6}{\varphi_y}$	$1 - \left(1 - \frac{0.6}{\varphi_y}\right) \times \left(2\frac{I_2}{I_1} - 1\right)$	$\frac{0.6}{\varphi_y}$

وعند ما تكون $\lambda_y > \lambda_x$ ، يجب ان لا تزيد قيمة العامل c ، على القيم المدرجة في الجدول (٨ — ١٠) ، اما بالنسبة للاعمدة ذات المقطع المقفل ، فيجب ان لا تزيد على الواحد .

ان الاطوال الفعالة للاعمدة (عند مراجعة الاستقرار) ، في الاتجاه المحاذي للمبنى او الانشا" ، تؤخذ كقاعدة عامة ، مساوية للمسافات الموجودة بين النقاط المثبتة (المساند او المرتكزات) للاعمدة وعوارض الونش ووصلات الرباط والعتبة الشدادة ، وغير ذلك .

ب) الاعمدة التشابكية (النافذة)

ان القسم السفلي من العمود (مدرجة الونش) ، يكون في اكثر الحالات تشابكيا (عندما يزيد العرض على ما يتراوح بين ١,٢ — ١,٥ م) ، مؤلفا من فرعين مربوطين مع بعضهما بواسطة شبيكات (شكل ٨ — ١٤ ، ب) .

ويقوم حساب الاعمدة التشابكية (النافذة) ، على اساس الافتراض بأن العمود يسلك نفس سلوك الجمالون ذي الاوتار المتوازية . ولهذا الغرض ، يتم توزيع القوة الطولية والعزم ، المؤثرين على العمود ، بين الفروع ، التي تحدد القوى فيها من المعادلة او الصيغة التالية :

$$F_b = \frac{F_z}{h} \pm \frac{M}{h} \qquad (8-42)$$

حيث z — المسافة من مركز ثقل مقطع العمود ، الى محور الفرع المقابل للفرع المبحوث .

وفي المقطع المتماثل $z = 0.5$ ، وفي المقطع غير المتماثل ، نجد بأن المسافة من مركز الثقل ، الى اكثر فرع محمل ، تتراوح بين $0.4\,h$ و $0.5\,h$. وكما هي عليه الحال في العمود المصمت ، يصمم مقطع مدرجة الونش من مقطع — I مدلفن ، او ملحوم (بالنسبة للاعمدة

جدول ٨ — ١٠

القيم القصوى للمعامل

$\frac{Ll_1}{bh}$	قيم العامل c عندما تبلغ						
	٠	٠,٢	٠,٤	٠,٦	٠,٨	١,١	١,٢
١,١	١	٠,٨٨	٠,٦٩	٠,٥٦	٠,٤٥	٠,٣٩	٠,٣٤
٠,٨	١	٠,٩١	٠,٧٧	٠,٦٤	٠,٥٤	٠,٤٧	٠,٤١
١,٠	١	٠,٩٥	٠,٨٥	٠,٧٤	٠,٦٦	٠,٥٨	٠,٥٢
$\geq$ ٢,٥	١	٠,٩٩	٠,٩٢	٠,٨٥	٠,٧٨	٠,٧٢	٠,٦٦

الرموز المستخدمة في الجدول ٨ — ١٠ :

h — ارتفاع المقطع ؛

b ، l_1 — عرض وثخن اكثر شفة منضغطة .

النقيلة جدا) . ولأجل تأمين الاستقرار العام للعمود ، في المستوى او الاتجاه العمودي على مستوى الهيكل ، يتم اختيار ارتفاع المقطع — I ، بحيث يتراوح بين $\frac{1}{20} L_1$ و $\frac{1}{30} L_1$ ، وهو المقدار الذي يناظر نسبة القضافة λ التي تتراوح بين ٦٠ — ١٠٠ .

وعادة يصنع فرع العمود الساند للسقف ، او الفرع الوركي ، من مقطع على شكل مجرى (⊐) ، بعرض يساوي عرض مدرجة الونش . وعند عدم توفر المجاري المدلفنة ذات الرقم المناظر ، يصنع المجرى المذكور من زوايا معدنية مع شرائح معدنية ، او في معظم الاحيان مع لوح صلب مصمت (شكل ٨ — ١٦ ، ب) .

ويربط كلا الفرعين مع بعضهما ، بواسطة شبيكات ، تكون عادة من المجموعة المثلثة الشكل، مرتبة او موضوعة في مستويين .

وتتم مراجعة مقطع الفروع ، باستخدام الصيغة (1—8) الخاصة بالاعمدة المركزية (المحورية) التحميل :

$$\sigma = \frac{F_{br}}{\varphi A_{br}} \leqslant R$$

وهنا تؤخذ قيمة عامل التحدب φ ، مساوية لاصغر قيمة من القيمتين ، التي تحدد احداهما من نسبة قضافة الفرع ، بالنسبة لمحور المقطع — I (او المجرى) ، ذي عزم القصور الذاتي الاكبر . ويؤخذ الطول الفعال هنا ، مساويا للمسافة من الاساس الى عارضة الونش . اما عند تحديد القيمة الثانية لعامل التحدب φ ، فيؤخذ الطول الفعال للفرع ، مساويا للمسافة الموجودة بين وصلات او مفاصل الشبيكة ، بينما يستخدم في الحساب نصف قطر الحركة التدويمية الاصغر . ويجب ان تحاول تصميم وصلة تثبيت عارضة الونش مع فرع العمود ، بطريقة تمكننا من تجنب التسليط اللامركزي لضغط تحميل العوارض ، بالنسبة لمحور العمود ، اي في الاتجاه العمودي على مستوى الهيكل . ويمكن التوصل الى ذلك بسهولة ، في العتبات او العوارض المتواصلة ، وذلك بوضع ضلع ارتكاز (تحميل) على امتداد محور العمود بالضبط ، وكذلك في حالة استخدام قطعة

عند $\lambda_y > \lambda_x$

النسبة M/Fh مايل :

١,٤	١,٦	١,٨	٢,٠	٢,٥	٣,٠	٤,٠	٥,٠	١٠
٠,٣٠	٠,٢٧	٠,٢٤	٠,٢٢	٠,١٨	٠,١٥	٠,١٢	٠,١٠	٠,٠٤٩
٠,٣٦	٠,٣٣	٠,٣٠	٠,٢٧	٠,٢٣	٠,١٩	٠,١٥	٠,١٢	٠,٠٩٢
٠,٤٧	٠,٤٣	٠,٣٩	٠,٣٧	٠,٣٠	٠,٢٦	٠,٢٠	٠,١٨	٠,٠٨٦
٠,٦١	٠,٥٦	٠,٥٢	٠,٤٩	٠,٤١	٠,٣٦	٠,٢٨	٠,٢٤	٠,١٢٦

تحميل ، في العتبات او العوارض البسيطة الخفيفة ، ومصنوعة على هيئة الواح تحميل (راجع الشكل ٦ — ٥١ ، أ) . وفي العوارض الثقيلة ، الخاصة بالاوناش التي تبلغ قوة رفعها Q ، ما يساوي ١٠٠ طن واكثر ، عند استخدام قطعة التحميل المبينة في الشكل (٦ — ٥١ ، ب) ، يفضل تقريب اضلاع ارتكاز العوارض ، من اطراف العوارض ، بحيث تمر ردود فعل الارتكاز في حدود قلب مقطع العمود . وبخلاف ذلك ، يجب مراجعة مقاومة فرع العمود ايضا ، للانضغاط اللامركزي (التحدب) ، في الاتجاه العمودي على مستوى الهيكل ، عند تحميل الونش من جهة واحدة .

وبالاضافة الى ذلك ، يجب مراجعة استقرار الاعمدة الشبابكية ، وخاصة الضيقة والمرتفعة (التي يكون ارتفاع مقطعها اقل من $\frac{1}{15}$ من طولها L_1) ، على فرض ان فروع العمود تسلك مثل سلوك العمود المستقل ، ذي المقطع المجمع . ان مراجعة مثل هذا العمود ، المحتوى على شبيكات او شرائح معدنية موضوعة في مستوى الانحناء ، تتم باستخدام نفس الصيغة السابقة (22—8) ولكن مع ايجاد عامل التحدب φ_{ef} ، من الجدول ٨ ، من الملحق الثاني ، اعتمادا على نسبة القضافة المكافئة λ_{ef} ، المستخرجة من الصيغتين (6—8) و (8—8) ، وعلى اللامركزية النسبية :

$$m_x = \frac{e_x}{\rho} = \frac{M_x}{F} \frac{A y_1}{I_x} \qquad (8—43)$$

حيث A — مساحة مقطع القطعة باكملها ؛

y_1 — المسافة من مركز ثقل المقطع، الى محور اكثر فرع منضغط بحيث لا تقل عن المسافة الى محور وثرة الفرع) ؛

I_x — عزم القصور الذاتي للمقطع .

ان كل شبيكة من شبيكات العمود ، تصمم من زوايا مستقلة ، وتوضع الاضلاع القطرية ، بحيث تصنع مع الخط الافقي ، زاوية تتراوح بين ٤٥ — ٥٠°. وتحدد القوة الموجودة في الضلع القطري للشبيكة ، من الصيغة (19—8) ، اعتمادا على قوة القص الحقيقية القصوى في العمود ،

المستخرجة عند حساب الهيكل ، او تبعا لقوة القص الاصطلاحية (اذا كانت اكبر) ، المحسوبة من الصيغة (9—8) .

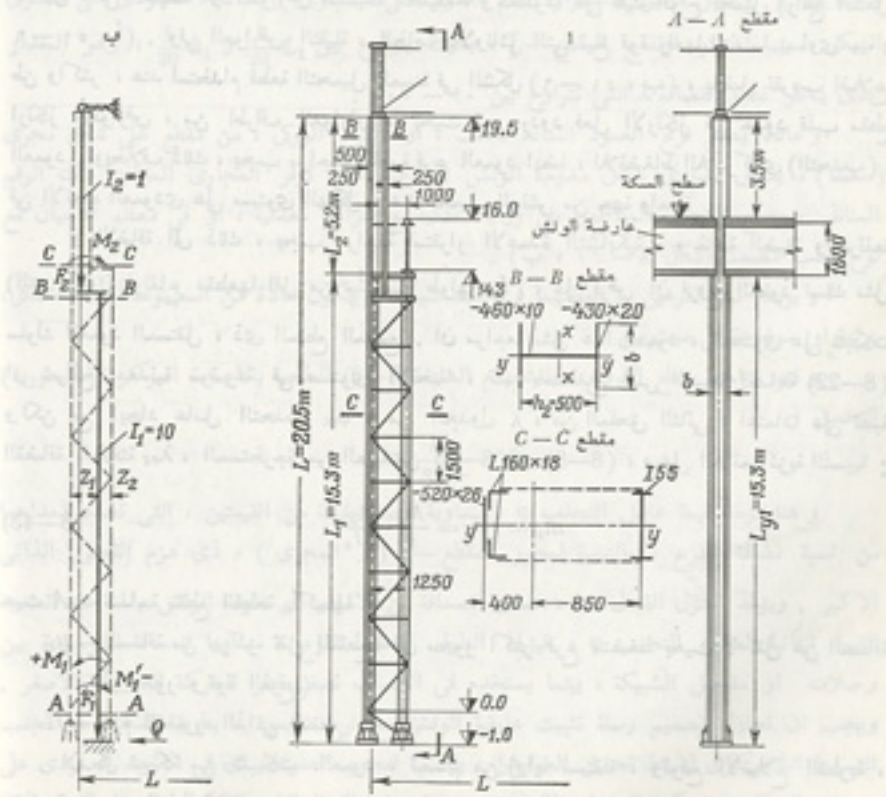
ان حساب وصلات تثبيت الاضلاع القطرية ، ومتطلبات التصميم ، مشابهة لما ذكر اعلاه ، بالنسبة للاعمدة الثابتة المقطع . ويؤدي وضع الشكلات ، الى تقليل الطول الفعال لفرع العمود . وتحدد القوة الموجودة في الشكل ، تبعا لقوة القص Q الاصطلاحية ، في الفرع المناظر .

مثال ٨ — ٣ : يطلب حساب واختيار مقطع عمود مدرج ، لورشة وحيدة الباع (شكل ٨ — ٢٢) ، مع استخدام المعطيات التالية :

١) الابعاد : الارتفاع الكلي للعمود $L = ٢٠,٥$ م ، ارتفاع جزء العمود الخاص بمدرجة الونش $L_1 = ١٥,٣$ م ، ارتفاع الجزء الواقع فوق مدرجة الونش (الجزء الساند للسقف) $L_2 = ٥,٢$ م (شكل ٨ — ٢٢ ، أ) .

٢) مجموعات القوى التصميمية : في الجزء الساند للسقف (العلوي) $M_2 = +٨٥,٦$ طن م ، $F_2 = ٧٠,٩$ طن ؛ في مدرجة الونش (الجزء السفلي) $M_1 = +٣٤٦$ طن م ، $F_1 = ١٨٩,١$ طن ، $M'_1 = -١٨٥,٤$ طن م ، $F'_1 = ١٠٩,٦$ طن ، $Q = ١٨,٩٢$ طن (شكل ٨ — ٢٢ ، ب) .

والقيم القصوى للقوى المتعامدة : $F_2 = ٩٦,١$ طن ، $F_1 = ٣٠٢,١$ طن .



شكل (٨ — ٢٢) رسم توضيحي للمثال ٨ — ٣

ان العمود ، في مستوى تأثير العزم ، مثبت تثبيتا جاسئا في الاساس ، وتثبيتا مفصليا مع العارضة (العتبة الشدادة) . والمادة التي سيصنع منها العمود ، هي الفولاذ ماركة BCr3кп .

الحل : ١) تحديد ابعاد مقاطع العمود . ان اختيار نوع العمود وارتفاع مقاطعه ، يتم عند وضع او تصميم الرسم التخطيطي للمبنى ومقطعه العرضي . نأخذ الابعاد التالية للمقاطع : $h_2 = ٥٠٠$ سم للقسم او الجزء العلوي (ويعطى النسبة $\frac{h_2}{L_2} = \frac{٥٠}{٥٢٠} = \frac{١}{١٠,٤}$) ؛ و $h_1 = ١٢٥٠$ سم (ويعطى النسبة $\frac{h_1}{L_1} = \frac{١٢٥٠}{١٥٣٠} = \frac{١}{١٢,٢}$) .

٢) تحديد الاطوال الفعالة . تحدد امكانية استخدام الجدول (٨ — ٦) ، لايجاد معاملات الطول . لدينا ما يلي : $\frac{J_2}{J_1} = \frac{٥٠٣}{١٥٠٣} = ٠,٣٤ < ٠,٦$ وكذلك $\frac{F_1}{F_2} = \frac{٣٠٢٫١}{٩٦٫١} = ٣,١٧ > ٣$. وهكذا يمكن استخدام الجدول (٨ — ٦)، واخذ ما يلي : $k_1 = ٢,٥$ و $k_2 = ٣$. وبذلك نجد بأن الاطوال الفعالة ، الضرورية لحساب نسبة قضاة العمود في مستوى الانحناء ، تساوي :

$$L_{x1} = k_1 L_1 = 2.5 \times 15.3 = 38.2 \text{ m}$$

أي ٣٨,٢ م

$$L_{x2} = k_2 L_2 = 3 \times 5.2 = 15.6 \text{ m}$$

أي ١٥,٦ م .

وفي المستوى العمودي على اتجاه تأثير العزم (شكل ٨ — ٢٢ ، أ) نجد بأن الطول الفعال للقسم العلوي ، يساوي المسافة من عتبة الفرملة الى السطح السفلي للجمالون : $L_{y2} = ٥,٢ - ١,٦ = ٣,٦$ م ، والطول الفعال للقسم السفلي ، يساوي المسافة من الاساس الى عارضة الونش : $L_{y1} = ١٥,٣$ م .

٣) اختيار مقطع القسم العلوي للعمود . تعين مقطع القسم العلوي للعمود ، على هيئة مقطع—I ملحوم (شكل ٨ — ٢٢ ، أ) . ولحساب اللامتمركزية النسبية التصميمية m_1 من الصيغة (23—8) ، تحدد قبل ذلك المقادير التالية : ρ ، λ_x ، r_x و e ، وتساوي ما يلي :

$$e = \frac{M_2}{F_2} = \frac{85.6}{70.9} = 1.205 \text{ m}$$

او ١٢٠,٥ سم .

ونوجد من الجدول (٨ — ٣) القيمة التقريبية للمقدار r_x ، وهي :

$$r_x = 0.42\,h = 0.42 \times 50 = 21 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{L_{x2}}{r_x} = \frac{1.560}{21} = 74.5$$

وباستخدام الصيغة التقريبية (25—8) نجد بأن :

$$m_1 = 2.8\,\frac{e}{h} = 2.8 \times \frac{1.205}{0.5} = 6.64$$

وعند $\lambda_x = ٧٤,٥$ ، نجد قيمة φ_{ec} من الجدول ٧ ، من الملحق الثاني ، وتساوي : $\varphi_{ec} = ٠,١٦٥$. وهكذا نجد بأن مساحة المقطع التقريبية اللازمة ، ستساوي ما يلي :

$$A_{req} = \frac{F}{\varphi_{ec} R} = \frac{70900}{0.165 \times 2100} = 204 \text{ cm}^2$$

ويمكن استخدام طريقة اخرى لتحديد مساحة المقطع التقريبية اللازمة — راجع الصيغة (24-8) :

$$\rho = \frac{W}{F} = \frac{r_x^2}{z} = \frac{21^2}{25} = 17.6 \ cm$$

حيث :

$$z = \frac{h}{2} = \frac{50}{2} = 25 \ cm$$

ومن الجدول ٩ ، في الملحق الثاني ، نجد ما يلي :

$$\eta = 1.45 - 0.003 \quad \lambda = 1.45 - 0.003 \times 74.5 = 1.23$$

$$k_1 = \eta k = \eta \frac{e}{\rho} = \frac{1.23 \times 1.205}{17.6} = 8.39$$

ومن الجدول ٧ ، في الملحق الثاني ، نجد ما يلي :
$\lambda_x = ٧٤,٥$ ، و $k_1 = ٨,٣٩$ ، وبعد التكامل الرياضي من الداخل $\varphi_{ec} = ٠,١٤$.
وهكذا نجد بأن مساحة المقطع اللازمة ، تساوي :

$$A_{req} = \frac{F}{\varphi_{ec} R} = \frac{70900}{0.14 \times 2100} = 240 \ cm^2$$

ونظرا لضرورة تأمين جسؤة العمود ايضا ، بالنسبة للمحور y (عند $\lambda_y = ٥٠$ الى ٦٠ ، اقل من λ_x ، وذلك لان الطول الفعال $L_{y2} = ٣,٦$ م ، اقل من L_{x2}) ، نختار العرض الاصغر لمقطع العمود b ، ولهذا الغرض نحدد القيم التالية :

$$r_y = \frac{L_{y2}}{\lambda_y} = \frac{360}{50} = 7.2 \ cm$$

ومن الجدول (٨ — ٣) ، نجد بأن $r_y = 0.24b$ ؛ اذن يكون لدينا :

$$b \geq \frac{r_y}{0.24} = \frac{7.2}{0.24} = 30 \ cm$$

وعلى اساس المساحة المطلوبة ، نختار مقطع وترة ، من لوح ابعاده ٤٦٠×١٠ مم ، وشفتين مؤلفتين من لوحين ابعاد كل منهما ٤٣٠×٢٠٠ مم (شكل ٨ — ٢٢ ، أ) .
والآن نقوم بمراجعة المقطع الذي اخترناه للقسم العلوي من العمود، الامر الذي يتطلب قبل كل شيء، ان نحدد خواص المقطع سلفا ، وهي المقادير : A ، I_x ، I_y ، W_x ، r_x ، r_y ، ρ ، λ_x ، m و m_1.
ونبدأ بمساحة المقطع ، التي تساوي :

$$A = 46 \times 1 + 2 \times 43 \times 2 = 218 \ cm^2$$

وعزم القصور الذاتي ، يساوي :

$$I_x = \frac{t_w h_w^3}{12} + 2 c^2 A_{fl} = \frac{1 \times 46^3}{12} + 2 \times 24^2 \times 86 = 107,300 \ cm^4$$

$$I_y = \frac{2 t_{fl} b^3}{12} = \frac{2 \times 2 \times 43^3}{12} = 26.400 \ cm^4$$

ومعامل المقطع ، يساوي :

$$W_x = \frac{I_x}{h/2} = \frac{107.300}{25} = 4.300 \ cm^3$$

وأنصاف اقطار الحركة التدويمية للمقطع ، تساوي :

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{107.300}{218}} = 22.2 \ cm$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{26.400}{218}} = 11.1 \ cm$$

ولأجل مراجعة المقطع في مستوى تأثير العزم ، نحدد ما يلي :

$$\rho = \frac{W}{A} = \frac{4.300}{218} = 19.7 \ cm$$

$$m_x = \frac{e}{\rho} = \frac{120.5}{19.7} = 6.13$$

$$\lambda_x = \frac{L_{x2}}{r_x} = \frac{1560}{22.2} = 70.5$$

$$\eta = 1.45 - 0.003 \lambda_x = 1.45 - 0.003 \times 70.5 = 1.21$$

$$m_1 = \eta \quad m = 1.21 \times 6.13 = 7.4$$

ومن الجدول ٧، في الملحق الثاني ، عند $\lambda = ٧٠,٥$ و $m_1 = ٧,٤$، نجد بأن $\varphi_{ec} = ٠,١٥٥$
والآن نراجع الاجهاد التصميمي :

$$\sigma = \frac{F_2}{\varphi_{ec} A_{gr}} = \frac{70900}{0.155 \times 218} = 2090 \ kg/cm^2 < 2100 \ kg/cm^2$$

وليست هناك حاجة لمراجعة الاستقرار الموضعي للوترة والشفهات ، وذلك لأنه بالنسبة للوترة ، لدينا ما يلي : $\frac{h}{t} = \frac{٤٨}{١} = ٤٨ < ٤٠ \times ٠,٢ + ٧٠,٥ = ٥٤$ [راجع الصيغة (3—8)، عند $R = ٢١٠٠$ كجم/سم^2]بينما للشفهات نجد بأن : $\frac{b}{2 t_{fl}} = \frac{٤٣}{٢ \times ٢} = ١٠,٧٥ < ١٦$[راجع الجدول (٨ — ١)]، ولذلك فانها مستقرة تحت تأثير الاجهادات المتعامدة .
ونقوم الآن بمراجعة مقطع القسم العلوي من العمود ، في الاتجاه العمودي على مستوى تأثير العزم ، باستخدام الصيغة (40—8) . وللقيام بذلك ، يجب اولا ايجاد قيمتي λ_y و φ_y وقيمة العامل c من الصيغة (41—8) ، كما يلي :

$$\lambda_y = \frac{L_{y2}}{r_y} = \frac{360}{11.1} = 32.6$$

ومن الجدول ١ ، في الملحق الثاني : $\varphi_y = 0.941$ ؛

$$c = \frac{\beta}{1 + a m_x} = \frac{1}{1 + 0.7 \times 6.13} = 0.189$$

(وذلك لأنه عند $\lambda_y < 100$ ، تصبح قيمة β مساوية للواحد) ، وبعد ذلك نحسب الاجهاد كما يلي :

$$\sigma = \frac{F_2}{c \varphi_y A} = \frac{70900}{0.189 \times 0.941 \times 218} = 1.820 \ kg/cm^2 < 2100 \ kg/cm^2$$

٤) اختيار مقطع القسم السفلي للعمود . ان مجموعات القوى او احمال التصميم في المقطع $A — A$ (شكل ٨ — ٢٢ ، ب) هي كالآتي :
للفرع مدرجة الونش $F_1' = ١٠٩,٦$ طن ؛ $M_1' = -١٨٥,٤$ طن م .
للفرع الخارجي $F_1 = ١٨٩,١$ طن ؛ $M_1 = +٣٤٦$ طن م .

والاطوال الفعالة للقسم السفلى من العمود ، هى :

$L_{x1} = 38{,}2$ م و $L_{y1} = 15{,}3$ م .

نجعل تصميم القسم السفلى من العمود ، من النوع التشابكى ، وتصمم فرع مدرجة العمود من مقطع — I مدلفن ، بينما تصمم الفرع الخارجى ، الساند للسقف ، من زوايا مع لوح (شكل ٨ — ٢٢ ، أ) . وتصمم الشبيكة مع اجزاء هيكلية طولها ١,٥ م .

ويقرر ارتفاع المقطع $h_1 = 1{,}25$ م ، عند اختيار المخطط التصميمى للمبنى او الانشاء (راجع المثال ٩ — ١) . وتؤخذ المسافة من مركز ثقل المقطع الى فرع مدرجة العمود ، مساوية $z_2 = 0.6\ m\ (0.48\ h_1)$ ، والى الفرع الخارجى ، مساوية $z_1 = 0.65\ m$ (شكل ٨ — ٢٢ ، ب).

ولما كان العزم الموجب ، المؤثر فى اتجاه الفرع الخارجى ، اكبر من العزم السالب ، نفرض بأن ازاحة المحور عن منتصف العمود، تكون اقرب الى الفرع الخارجى، وهى $z_1 = 0.5\ m\ (0.4\ h_1)$، و $z_2 = 0.75\ m\ (0.6\ h_1)$. ان الاحمال التقريبية القصوى ، المؤثرة على الفروع/من الصيغة (42 — 8)/ ، ستساوى ما يلى :

فى مدرجة الونش :

$$F_{c.br} = \frac{F_1' z_1}{h_1} + \frac{M'}{h_1} = \frac{109.6 \times 0.5}{1.25} + \frac{185.4}{1.25} = 192.5 tons$$

وفى الفرع الخارجى :

$$f_{o.br} = \frac{F_2 z_2}{h_1} + \frac{M_1}{h_1} = \frac{189.1 \times 0.75}{1.25} + \frac{346}{1.25} = 391\ tons$$

وعادة يؤخذ عرض العمود (ارتفاع مقطع مدرجة الونش) ، فى حدود تتراوح بين $\frac{1}{30} L_1$ و $\frac{1}{25} L_1$ ، اى بين $\frac{1}{30} \times 1530$ و $\frac{1}{25} \times 1530$ ؛ اى بين ٥٠ و ٦٠ سم .

واذا اعتبرنا بأن نسبة قضاة مدرجة الونش ، فى الاتجاه العمودى على مستوى تأثير العزم ، تساوى $\lambda = 70$ ؛ نجد بأن $\varphi = 0{,}81$ ، والمساحة التقريبية اللازمة لمقطع الفرع (مدرجة الونش) ، تساوى ما يلى :

$$A_{req} = \frac{F_{c.br}}{\varphi R} = \frac{192500}{0.81 \times 2100} = 113\ cm^2$$

ان المقطع — I رقم ٥٥ ($A = 114\ cm^2$) ، هو المقطع الذى يفى بالغرض ، والمناظر للمساحة المطلوبة ، والبعد اللازم ، المذكورين اعلاه .

وبنفس الطريقة ، توجد مساحة المقطع التقريبية ، للفرع الخارجى ، باعتبار ان $\varphi = 0{,}75$:

$$A_{req} = \frac{F_{o.br}}{\varphi R} = \frac{391000}{0.75 \times 2100} = 249\ cm^2$$

نختار مقطعا مؤلفا من زوايا ابعادها ١٦٠ × ١٨، ولوح ابعاده ٥٢٠ × ٢٦ (شكل ٨ — ٢٢ ، أ) ، توضع بحيث يكون ارتفاع المقطع الناتج ، مساويا ٥٥ سم .

والآن نحدد الخواص الهندسية للمقطع .

فرع مدرجة الونش : مقطع — I رقم ٥٥ ، والمعطيات مأخوذة من مواصفات المقاطع القياسية :

$A_{c.br} = 114$ سم^2 ؛ $I_y = 55150$ سم^4 ؛ $I_{xo} = 13500$ سم^4 ؛ $r_y = 22$ سم ؛ $r_{xo} = 3{,}44$.

الفرع الخارجى : لوح ابعاده ٥٢٠ × ٢٦ مع زاويتين ابعادهما ١٦٠×١٨ ($A_{ang} = 54.8 cm^2$) .

$$A_{o.br} = 52 \times 2.6 + 2 \times 54.8 = 244\ cm^2$$

وتوجد المسافة من مركز ثقل الفرع الخارجى الى حافة اظهر الزوايا :

$$z_{bo.br} = \frac{2 \times 54.8 (4.63 + 1.3)}{244.8} - 1.3 = 1.36\ cm$$

وتؤخذ المسافة بين مراكز ثقل المقطع ، مساوية للمقدار $h_1 = 1250$ سم (يؤخذ هذا البعد عادة ، الى اظهر الزوايا) ، اما المسافات من مركز ثقل مقطع العمود بأكمله ، الى محاور فروع العمود ، فتساوى ما يلى :

$$z_1 = \frac{A_{o.br} \times 1.25}{\sum A} = \frac{114 \times 1.25}{114 + 244.8} = 40\ cm$$

$$z_2 = 125 - 40 = 85\ cm$$

ثم نقوم بايجاد القيم النهائية للقوى الموجودة فى الفروع ، الناجمة عن الاحمال المناظرة ، وتراجع الاجهادات فيها .

فرع مدرجة الونش : وتساوى القوة فيه :

$$F_{c.br} = \frac{F_1' z_1}{h_1} = \frac{M_1}{h_1} = \frac{109.6 \times 0.4}{1.25} + \frac{185.4}{1.25} = 183.5\ tons$$

ونسبة قضاة الفرع بأكمله ، تساوى :

$$\lambda_y = \frac{L_{y1}}{r_y} = \frac{1530}{22} = 70$$

وعامل التحدب ، يساوى $\varphi = 0.81$

ونسبة قضاة جزء الفرع ، الواقع بين وصلات او مفاصل الشبيكة ، تساوى :

$$\lambda_{br} = \frac{L_{br}}{r_{xo}} = \frac{150}{3.44} = 43.7 < \lambda_y$$

والاجهاد يساوى ما يلى :

$$\sigma = \frac{F_{c.br}}{\varphi_y A} = \frac{183500}{0.81 \times 114} = 1.985\ kg/cm^2 < 2100\ ka/cm^2$$

الفرع الخارجى : القوة فيه تساوى :

$$F_{o.br} = \frac{F_2 z_2}{h_1} + \frac{M_1}{h_1} = \frac{189.1 \times 0.85}{1.25} + \frac{346}{1.25} = 402\ t$$

$$I_{o.bry} = I_p + 2 (I_{ang_0} + c^2 A_{ang}) = \frac{2.6 \times 52^3}{12} +$$

$$+ 2 [1299 + (27.5 - 4.63)^2 \times 54.8] = 98800\ cm^4$$

$$I_{xo} = 2 (I_{ang_0} + c^2 A_{ang}) + c_p^2 A_p = 2 [1299 + (4.63 - 1.53)^2 \times 54.8] +$$

$$+ 2.83^2 \times 135 = 4730\ cm^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{98800}{244.6}} = 20.2\ cm$$

$$r_{xo} = \sqrt{\frac{4730}{244.6}} = 4.4\ cm$$

ان نسبة قضاة الفرع باكمله ، تساوى ما يلى :

$$\lambda_y = \frac{L_{yy}}{r_y} = \frac{1530}{20.2} = 75.6$$

وعامل التحدب يساوى $\varphi_y = 0.78$

ونسبة قضاة الفرع الواقع بين وصلات او مفاصل الشبيكة ، تساوى ما يلى :

$$\lambda_{by} = \frac{L_{by}}{r_{xo}} = \frac{150}{4.4} = 35 < \lambda_y$$

والاجهاد فيه يساوى :

$$\sigma = \frac{F_1}{A\varphi_y} = \frac{402000}{244.6 \times 0.78} = 2100 \ kg/cm^2$$

والآن نراجع السعة الحملية للعمود ككل ، بواسطة الصيغة (22 — 8) ، ولهذا الغرض نحسب ما يلى :

$$A = A_{c.br} + A_{c.br} = 114 + 244.6 = 358.6 \ cm^2$$

$$I_x = (I_{x_0} + A_{c.br} z_1^2) + (I_{x_1} + A_{c.br} z_2^2) = 4730 + 244.6 \times 40^2 +$$
$$+ 1350 + 114 \times 85^2 = 1220080 \ cm^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{1220080}{359.6}} = 58.5 \ cm$$

والمسافة من مركز الثقل الى اكثر فرع منضغط $z_1 = 40$ سم .

ومن الصيغة (43 — 8) نحدد ما يلى :

$$m = \frac{M_1}{F} \frac{Az_1}{I_x} = \frac{346}{189.1} \times \frac{358.6 \times 40}{1220080} = 2.14$$

ونسبة قضاة القسم السفلى من العمود ، تساوى :

$$\lambda_x = \frac{L_{x1}}{r_x} = \frac{3820}{58.5} = 65.5$$

ولأجل تحديد نسبة القضاة المكافئة للعمود ، يجب اختيار مقطع زوايا الشبيكة ، ثم مراجعته بواسطة الحساب .

نصمم الشبيكة من زاوية ابعادها ١٠٠ × ٨ ($r_{min} = 1.96 cm$ ؛ $A = 15.6 cm^2$) . عندئذ سنجد بأن نسبة القضاة المكافئة ، المستخرجة من الصيغة (7 — 8) ، ستساوى ما يلى :

$$\lambda_{red} = \sqrt{\lambda_x^2 + 31 \frac{A}{A_d}} = \sqrt{65.5^2 + \frac{31 \times 358.6}{2 \times 15.6}} = 68$$

ومن الجدول ٨ ، فى الملحق الثانى ، عند $m = 2,14$ و $\lambda_{eg} = 68$ ، نجد بأن $\varphi_{ec} = 0,27$ والاجهاد يساوى ما يلى :

$$\sigma = \frac{F}{\varphi_{ec} A} = \frac{189100}{358.6 \times 0.27} = 1960 \ kg/cm^2 < 2100 \ kg/cm^2$$

ه) مراجعة الاضلاع القطرية لشبيكة العمود : قوة القص القصوى $Q = 18,92$ طن . ومقدار ميل الضلع القطرى يساوى :

$$\tan\alpha = \frac{1.25}{1.5} = 0.833$$

ومنها نجد بأن $\alpha = 39^\circ 40'$ ، و $\sin\alpha = 0,638$

والآن نأتى الى ايجاد القوة فى الضلع القطرى للشبيكة ، الواقعة فى مستوى واحد ، وذلك باستخدام الصيغة (19 — 8) :

$$F_d = \frac{Q}{2\sin\alpha} = \frac{18920}{2 \times 0.638} = 14850 \ kg$$

وطول الضلع القطرى يساوى :

$$L_d = \frac{h_1}{\sin\alpha} = \frac{1.25}{0.638} = 1.96 \ m$$

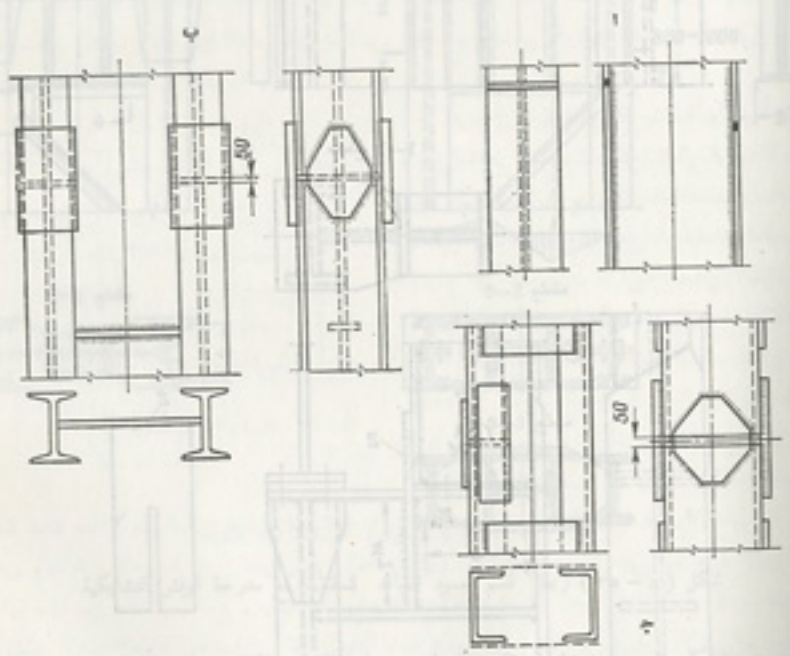
$$\lambda_d = \frac{L_d}{r_{min}} = \frac{196}{1.96} = 100 \ ; \ \varphi = 0.6$$

والاجهاد فيه يساوى :

$$\sigma = \frac{F}{\varphi A_d} = \frac{14850}{0.6 \times 15.6} \cong 0.75 \times 2100 \ kg/cm^2 = 1575 \ kg/cm^2$$

البند الثانى والاربعون — الوصلات والاجزاء التركيبية للاعمدة

ان وصلات الاعمدة تكون اما منتجة فى المصنع (جاهزة) ، او منتجة فى موقع العمل (تركيبية) . وتنتج الوصلات الجاهزة فى المصنع ، نظرا لطول المقاطع المدلفنة المحدود (راجع الفصل الثالث) . اما الوصلات التركيبية ، فتنتج فى موقع العمل ، نظرا لامكانيات النقل المحدودة

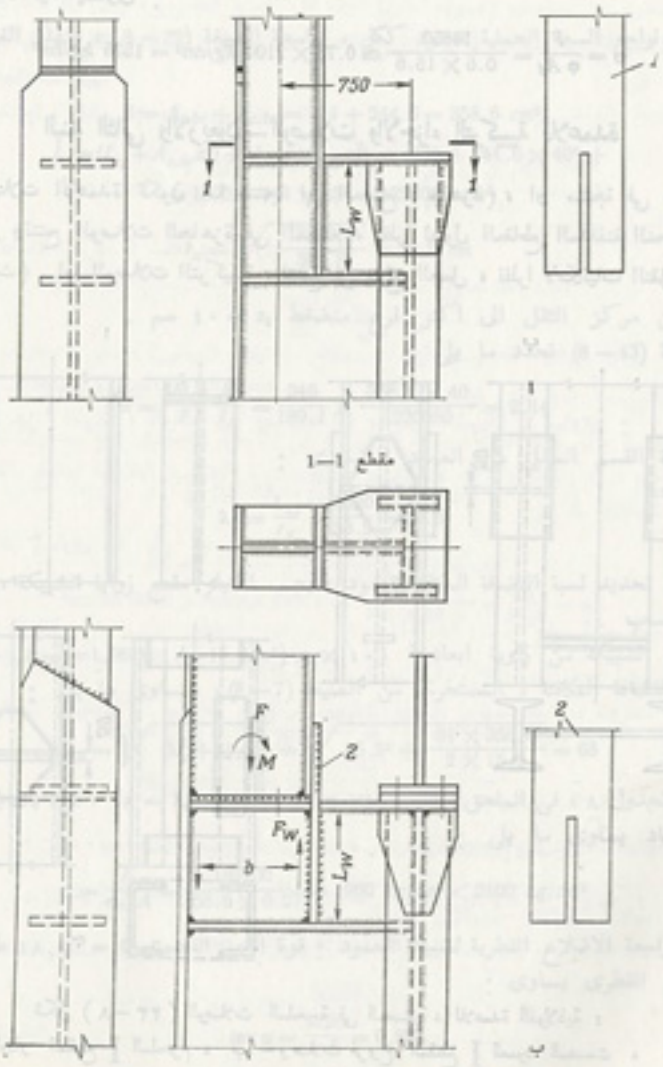


شكل (٨ — ٢٣) الوصلات الملحومة فى المصنع ، للاعمدة الفولاذية :
أ — وصلات اوتار المقطع I الملحوم ؛ ب — وصلات فروع المقطع I للعمود المصمت ، ج — وصلات فروع العمود التشابكى ، المنجزة باستخدام الشرائح المعدنية

(يسمح بأن يتراوح طول القطعة الاقصى بين ٩ — ١٣ م عند النقل على عربة مسطحة ذات ثماني عجلات ، وبين ١٩ — ٢٧ م ، عند النقل على عربتين مسطحتين مربوطتين مع بعضهما البعض) .

وعادة توضع الوصلات الجاهزة للقطع ، بصورة متعرجة الترتيب ، بدون ان تتركز في موضع واحد ، وذلك لأنه يمكن القيام بربط او وصل القطع المستقلة ، قبل التجميع العام للعمود . ويبين الشكل (٨ — ٢٣) ، امثلة للوصلات الجاهزة الملحومة ، لقطع العمود المستقلة .

والشرط الاساسي لتكوين وصلة قوية ، هو تأمين انتقال القوة (الاحمال) من قطعة الى اخرى . وعند اللحام التناكبي ، يحقق هذا الشرط ، باختيار طول اللحامات المناظر لذلك (راجع الفصل الرابع) ، اما عند استخدام الشرائط المعدنية (الكتفية) لانتاج الوصلات ، يجب بالاضافة الى



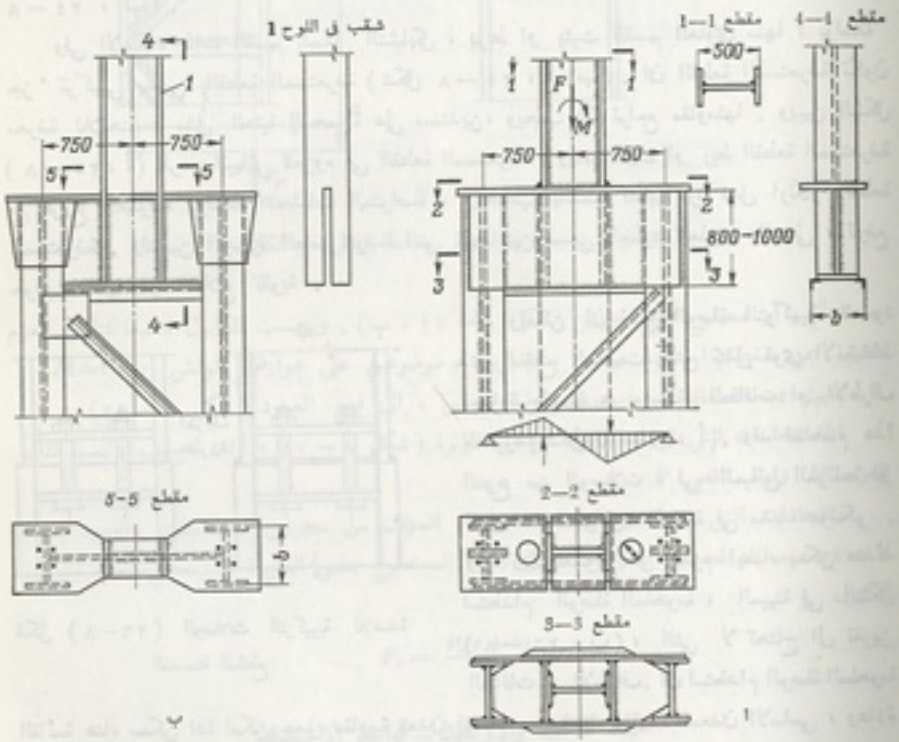
شكل (٨ — ٢٤) وصلة القسمين العلوي والسفلي للعمود المصمت ذي الدرجة الواحدة

تامين الطول الضروري للحامات ، تأمين المساحة الضرورية المناظرة لمقطع الشرائط المعدنية ، التي لا يجوز ان تقل عن مساحة مقطع القطع الموصولة الاساسية .

وتعتبر الوصلات القائمة ذات اللحام التناكبي من ابسط انواع الوصلات ، التي ينصح باستخدامها في اغلب الاحيان . ان انجاز مثل هذه الوصلات ، ممكن في جميع الحالات ، وذلك لأنه في الاعمدة اللامركزية التحميل ، يمكن دائما ايجاد مقطع ذي اجهادات شد منخفضة .

وتوضع او تنجز الوصلات التركيبية للاعمدة ، في المواضع الملائمة لتركيب القطع الانشائية او تجميعها . والموضع الملائم ، بالنسبة للاعمدة المتغيرة المقطع ، هو الدرجة الواقعة في مستوى ارتكاز (استناد) عوارض الونش ، حيث يتغير مقطع العمود في هذا الموضع بالذات .

ويبين الشكل (٨ — ٢٤) ، انواع وصلات القسمين العلوي والسفلي لعمود مصمت ذي درجة واحدة ؛ وهي الوصلات الجاهزة (شكل ٨ — ٢٤ ، أ) والوصلات التركيبية (شكل ٨ — ٢٤ ، ب) .



شكل (٨ — ٢٥) ربط قسم العمود الساند للسقف مع مدرجة الونش التشابكية

ويبين الشكل (٨ — ٢٥) طريقة ربط او وصل القسم العلوي للعمود مع القسم السفلي التشابكي باستخدام قطعة مستعرضة ذات وترتين — (شكل ٨ — ٢٥ ، أ) وقطعة مستعرضة ذات وترة واحدة — (شكل ٨ — ٢٥ ، ب) . ان طول اللحامات (L_w في الشكل ٨ — ٢٤) الضروري لوصل وتثبيت الشفة الداخلية للقسم العلوي من العمود، يحدد من الشرط الذي يقضي بأن تتحمل

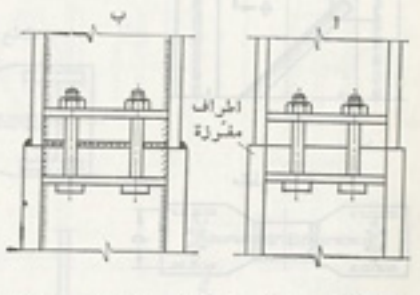
اللحامات التى تربط شفهات القسم العلوى للعمود، كلا من العزم M والقوة الطولية F ، المؤثرين فى القسم العلوى من العمود ، فى موضع تثبيته مع القسم السفلى . وفى هذه الحالة ، لا يتم عادة حساب اللحامات التى تربط او تثبت الوترة .

ان القوة الموجودة فى الشفة ، تساوى ما يلى :

$$F_w = \frac{F}{2} + \frac{M}{b} \qquad (8-44)$$

وتنتقل هذه القوة عن طريق اربعة لحامات ، تربط الجز" التركيبى رقم 1 مع وترة القسم السفلى من العمود (شكل ٨ — ٢٤ ، أ) . ويحتوى الجز" التركيبى رقم 1 على شقب او شف خدى (slot) ، يساعد على وضع ذلك الجز" او تركيبه على وترة القسم السفلى للعمود (يكون الشقب اكبر من ثخن اللوح بما يتراوح بين ٢ — ٣ مم) . وعند وجود الوصلة التركيبية ، يصنع هذا الجز" التركيبى بصورة مستقلة عن لوح الشفة ، ويلحم مع القسم السفلى للعمود (شكل ٨ — ٢٤ ، ب) .

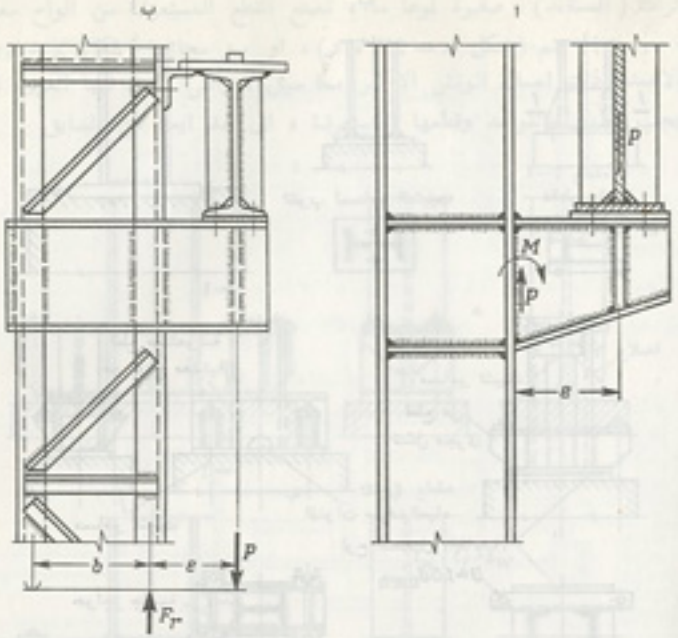
وفى الاعمدة ذات القسم السفلى الشابكى ، يربط او يثبت القسم العلوى منها ، بواسطة جز" تركيبى يسمى بالقطعة المستعرضة (شكل ٨ — ٢٥ ، أ و ب) . ان القطعة المستعرضة تكون معرضة للانحناء ، مثل العتبة المحمولة على مسندين، ويجب ان تراجع مقاومتها . ويبين الشكل (٨ — ٢٥ ، أ) الرسم البيانى للعزوم فى القطعة المستعرضة . ويتم تثبيت او ربط القطعة المستعرضة مع فروع العمود ، بواسطة اللحامات المتواصلة ، وتحسب بالنسبة لتأثير رد فعل ارتكاز القطعة المستعرضة . ولتامين الجسئة العامة للوصلة التى تربط بين قسمى العمود العلوى والسفلى ، توضع حواجز افقية او اضلاع تقوية .



شكل (٨ — ٢٦) الوصلات التركيبية للاعمدة المصمتة المقطع

ويمكن ان تنتج الوصلة التركيبية للعمود ذى المقطع المصمت، التى تنقل قوى الانضغاط بصورة رئيسية ، بواسطة الحافات او الاطراف المقرزة (شكل ٨ — ٢٦، أ). وقد استخدم هذا النوع من الوصلات ، فى المبانى المرتفعة او المتعددة الطوابق، المقامة فى مدينة موسكو . واذا كان العمود ينقل العزم ايضا، يمكن عندئذ استخدام الوصلة الملحومة ، المبينة فى الشكل (٨ — ٢٦ ، ب) ، التى لا تحتاج الى تفريز الحافات او الاطراف. ان استخدام الوصلة الملحومة القائمة هنا، ممكن اذا امكن جعل مقاومة معدن اللحام ، مساوية لمقاومة المعدن الاساسى ، وعادة يفترض بأنه فى الاعمدة التى تتعرض فى الغالب الى الانضغاط، يمكن على اية حال ظهور الشد عند اية حافة من حافات المقطع . ولهذا السبب ، من الضرورى ان تؤمن او تضمن مقاومة الوصلات لقوة الشد الاصطلاحية (المحتملة) ، التى تؤخذ عادة ، مساوية لـ ١٥ ٪ من قوة الانضغاط المتعامدة التصميمية(هذا بطبيعة الحال ، اذا لم تكن هناك اية قوى شد حقيقية ، تزيد قيمتها على هذه القيمة) .

ويتم ارتكاز (استناد) عوارض الونش على الاعمدة الثابتة المقطع (فى الورشات ذات ظروف الاشتغال السهلة) ، باستخدام كابول مصنوع من مقطع — I ملحوم (من الواح ، شكل ٨ —



شكل (٨ — ٢٧) استناد عتبات الونش على الكابول

٢٧ ، أ) ، او مصنوع من مجربين (شكل ٨ — ٢٧ ، ب) . ويحسب الكابول ، تبعا لتأثير العزم الناجم عن ضغط (احمال) ونشين متجاورين ، موضوعين على عوارض الونش : $M = P_r e$

حيث e — المسافة من محور عارضة الونش ، الى فرع العمود (شكل ٨ — ٢٧) .

ان اللحامات التى تربط الكابول الوحيد الوترة (شكل ٨ — ٢٧ ، أ) ، تحسب بالنسبة لتأثير العزم M وقوة القص P .

واللحامات التى تربط او تثبت الكابول ، المؤلف من مجربين ، محيطين بالعمود (شكل ٨ — ٢٧ ، ب) ، تحسب تبعا لرد الفعل F_r ، المستخرج بنفس الطريقة المتبعة فى العتبة الوحيدة الكابول :

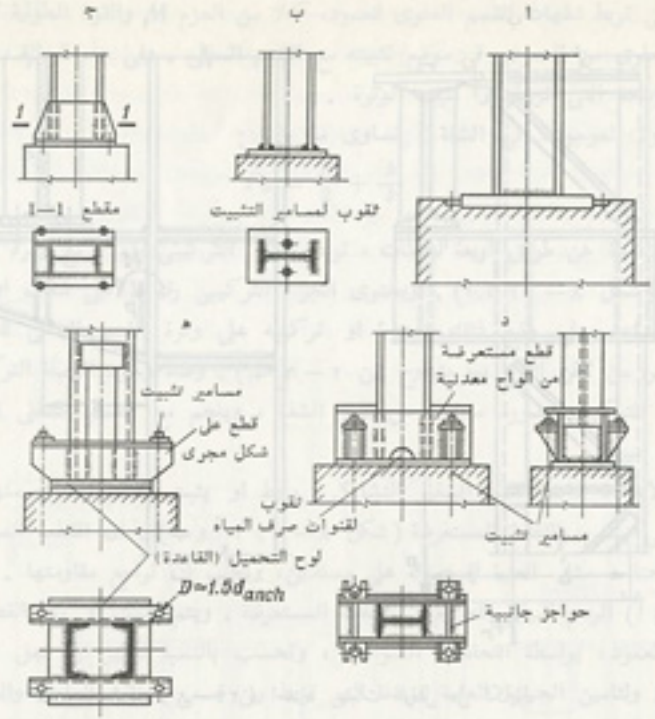
$$F_r = \frac{P_r(e+b)}{b}$$

البند الثالث والاربعون — قواعد الاعمدة

١ — انواع وتصاميم القواعد

ان الغرض من قواعد (اسس) الاعمدة ، يتلخص فيما يلى : أ) توزيع حمل العمود المركز ، على مساحة الاساس المحددة ؛ ب) تثبيت الطرف السفلى لاسطوانة العمود فى الاساس ، طبقا للمخطط التصميمى الموضوع .

وهناك نوعان رئيسيان من قواعد الاعمدة ، وهما النوع المفصلى والنوع الجاسى" .



شكل (٨ — ٢٨) انواع قواعد الاعمدة

وابسط قاعدة مفصلية للاعمدة المركزية التحميل ، هى القاعدة المؤلفة من لوح تحميل فولاذى ثخين ، يرتكز او يستند عليه الطرف المفرز لاسطوانة العمود (شكل ٨ — ٢٨ ، أ) .

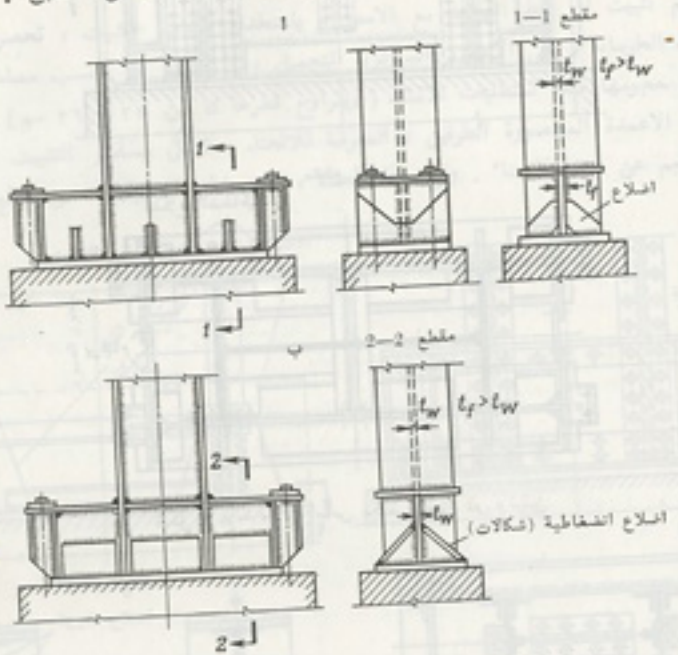
ان استخدام القواعد التى تنتقل اليها الاحمال عن طريق الطرف المفرز لاسطوانة العمود ، ملائم للغرض بالنسبة للاعمدة الكبيرة الاحمال (الثقيلة) . وبالنسبة للاعمدة الخفيفة (وكذلك عند عدم وجود مكنات لتفريز الاطراف) ، تستخدم القواعد ، التى فيها تنتقل الاحمال برمتها ، الى لوح التحميل ، عن طريق اللحامات (شكل ٨ — ٢٨ ، ب) .

ويمكن نقل الاحمال ايضا من اسطوانة العمود ، الى لوح التحميل ، باستخدام قطعة معدنية مستعرضة (شكل ٨ — ٢٨، ح) ، تعمل على نقل مجال القوة ، نقلا منتظما نوعا ما ، من اسطوانة العمود الى لوح التحميل . وهذا العمل ، تبعا لطبيعة تأثير الاحمال ، يحول القطعة الانشائية ، الى ما يشبه « الدسغة stamp » الجاسئة ، المرتكزة او المستند على الاساس . وفى نفس الوقت ، تعتبر القطعة المستعرضة ، بمثابة مسند للوح التحميل ، عندما يتعرض للانحناء الناجم عن ضغط التحميل الرد فعلى للاساس . والقطعة المستعرضة بالذات ، تقاوم الانحناء مثل العتبة ذات الكابولين ، المحمولة او المرتكزة على شفهات او فروع العمود ، والمعرضة لضغط التحميل الرد فعلى للاساس (وهو الضغط المتجه من الاسفل الى الاعلى) .

وعادة تنشأ فى الاعمدة اللامركزية التحميل قواعد جاسئة ، يمكنها نقل عزوم الانحناء . ولهذا الغرض ، يجب تطوير القطع المستعرضة ، فى اتجاه تأثير العزم . وعندما تكون العزوم

عند المرتكزات (المساند) ، صغيرة نوعا ما ، تصنع القطع المستعرضة من الواح معدنية يتراوح ثخنها بين ١٠ — ١٢ مم (شكل ٨ — ٢٨ ، د) ، او من مجارى (شكل ٨ — ٢٨ ، هـ) .

وفى الاعمدة ذات احمال الونش الاكبر مما سبق ، والتى تكون فيها العزوم عند المساند كبيرة ، يجب تطوير القواعد وقطعها المستعرضة ، الى حد ابعد من السابق .



شكل (٨ — ٢٩) اسس الاعمدة المفتوحة ذات الوترة الواحدة

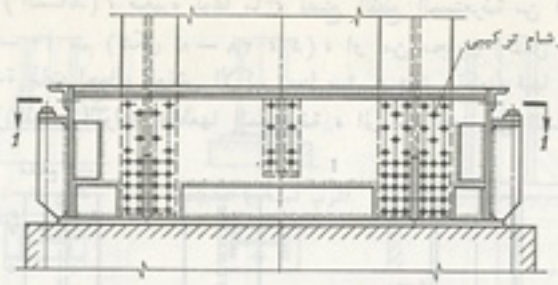
ولتسهيل عملية اللحام ، يكون من الافضل عمليا استخدام القواعد المفتوحة ذات الوترة الواحدة ، المعززة او المدعمة بالاضلاع (شكل ٨ — ٢٩ ، أ) او بقوائم انضغاط لوحية (شكل ٨ — ٢٩ ، ب) . ويجب ان تلحم هذه القوائم اللوحية ، بلحامات ذات اقل ثخن ممكن ، لتجنب اعوجاج لوح التحميل .

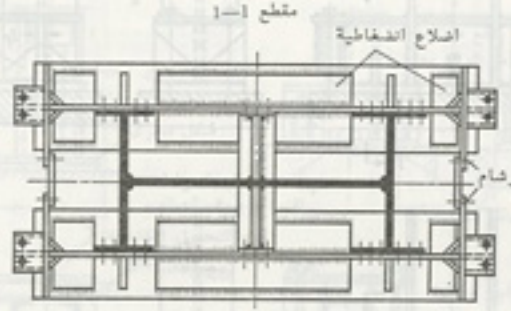
وتستخدم القواعد ذات الوترة الواحدة ، على الاغلب ، فى الاعمدة المصمتة الثابتة المقطع . ومن عيوب هذه القواعد ، جسؤتها القليلة او المنخفضة ، فى المستوى العمودى على مستوى الهيكل .

ويمكن استخدام نوع مترادف من انواع القاعدة ، وهو القاعدة ذات الوترتين (ذات الوترة المزدوجة) ، مع وجود قوائم الانضغاط ، فى الاعمدة الثقيلة للغاية (شكل ٨ — ٣٠) . وفى هذه الحالة ، نظرا لأبعاد القاعدة الكبيرة ، التى تعرقل نقل العمود مع قاعدته ، كقطعة واحدة ، تصنع هذه القواعد احيانا ، بحيث تكون مجزأة (split type) ، او قابلة للتجزأة .

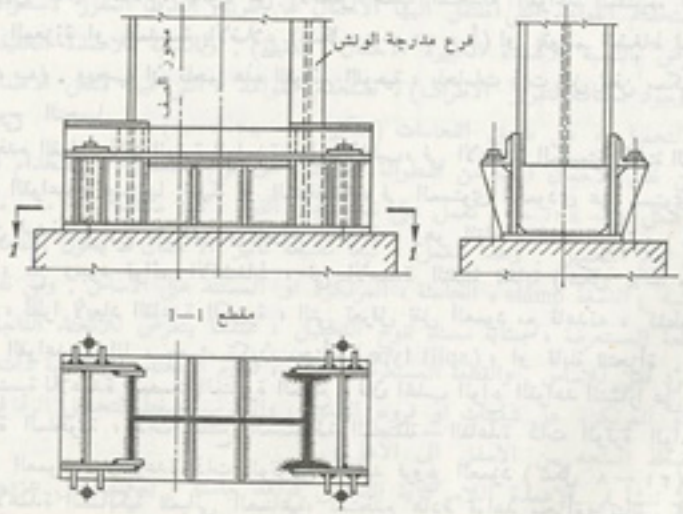
اما بالنسبة للاعمدة المصمتة المتغيرة المقطع ، فان اغلب انواع القواعد انتشارا على الاطلاق ، هو القاعدة الملحومة ، ذات القطع المستعرضة المستقلة — القاعدة ذات الوترة الواحدة ، فى حدود وترة العمود ، والقاعدة ذات الوترتين ، عند فروع العمود (شكل ٨ — ٣١) .

وفى الاعمدة التشابكية للمبانى الصناعية ، تستخدم عادة قواعد مجزأة ، تتألف كل منها من قاعدتين مستقلتين بذاتهما ، مربوطتين مع بعضهما البعض ، بواسطة زوايا معدنية رابطة (شكل ٨ — ٣٢) .





شكل (٨ — ٣٠) اساس مكتف مجزأ ذو وترتين



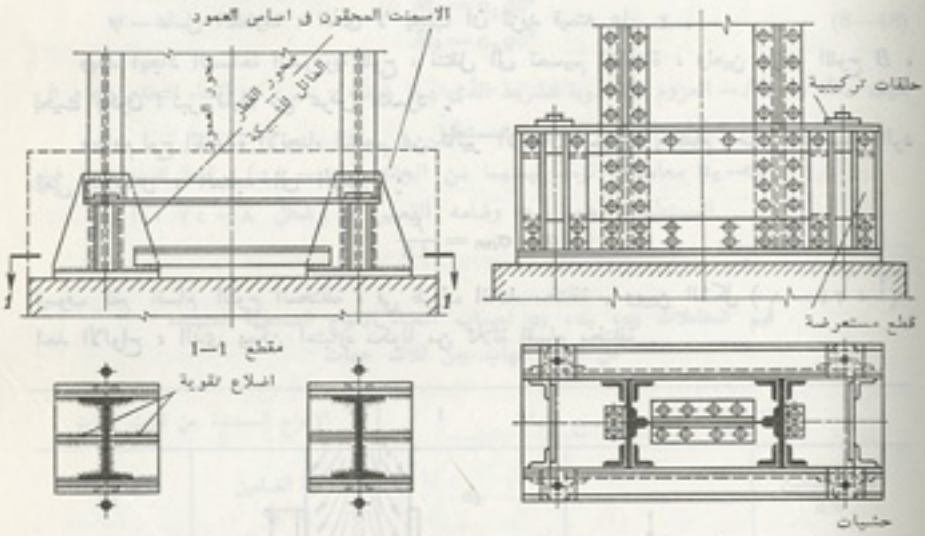
شكل (٨ — ٣١) اساس ذو قطع مستعرضة منفصلة

وعندما تكون المسافة بين الفروع كبيرة ، تصبح هذه القواعد اكثر اقتصادية من القواعد المصمتة ، او المؤلفة من قطعة واحدة صلبة .

وتستخدم القواعد المبرشمة ، فى الاعمدة المبرشمة فقط ؛ وهى من حيث التصميم تشبه القواعد الملحومة (شكل ٨ — ٣٣) .

ويتم تثبيت او ربط القواعد مع الاسس ، باستخدام مسامير تثبيت ، تحصر فى الاساس عند صب الخرسانة . وفى الاعمدة المركزية التحميل ، لا تصمم او تحسب مسامير التثبيت ، بل تعين حجومها تبعا لمتطلبات الانشاء (ويتراوح قطرها d بين ٢٢ — ٢٦ مم) .

وفي الاعمدة المحصورة الطرفين ، المعرضة للانحناء ، تعمل مسامير التثبيت ، على مقاومة الشد الناجم عن عزم الانحناء . وفى هذه الحالة ، يعين قطرها وطولها ، من نتائج الحساب .



شكل (٨ — ٣٢) قاعدة العمود التشابكى

شكل (٨ — ٣٣) الاساس المبرشم للعمود المصمت

ويجب صنع ثقوب مسامير التثبيت ، فى المستوى الافقى ، باستخدام دلائل تشغيل جاسئة ، ويجب ان تراجع بواسطة اجهزة المساحة التطبيقية (الجيوديسيا) . وعادة يكون قطر ثقوب مسامير التثبيت ، فى القاعدة ، اكبر من قطر المسامير ؛ وتسد بواسطة حلقات معدنية تركيبية ، تلحم مع القاعدة بعد تركيب العمود فى موضعه المقرر فى التصميم . وبعد ان يتم وضع او تركيب العمود ، تحقن القاعدة بالاسمنت ، لوقايتها من الصدأ .

٢ — حساب وتصميم القواعد

أ) حساب لوح التحميل والقطع المستعرضة للعمود المركزى التحميل .

تحدد ابعاد لوح تحميل العمود المركزى التحميل ، تبعا للمقاومة التصميمية لمادة الاساس ، للانضغاط المحورى R_{la} . وتحدد المساحة الصغرى للوح التحميل (لوح القاعدة) ، من الصيغة التالية :

$$A_{pl} \geqslant \frac{F}{R_{fd}} \qquad (8-45)$$

حيث F — القوة التصميمية فى العمود .

اما مقاومة الانضغاط التصميمية للاساس الخرسانى ، فتحدد من الصيغة التالية :

$$R_{fd} = R_{con}\,\psi = R_{con}\sqrt[3]{\frac{A_{fd}}{A_{pl}}} \qquad (8-46)$$

حيث R_{con} — مقاومة الانضغاط التصميمية للخرسانة (٤٤ كجم/سم^2 للخرسانة ماركة ١٠٠ ، و ٦٥ كجم/سم^2 للخرسانة ماركة ١٥٠) ؛

A_{fd} — مساحة الاساس ؛

F_{pl} — مساحة لوح التحميل (لوح القاعدة) ؛

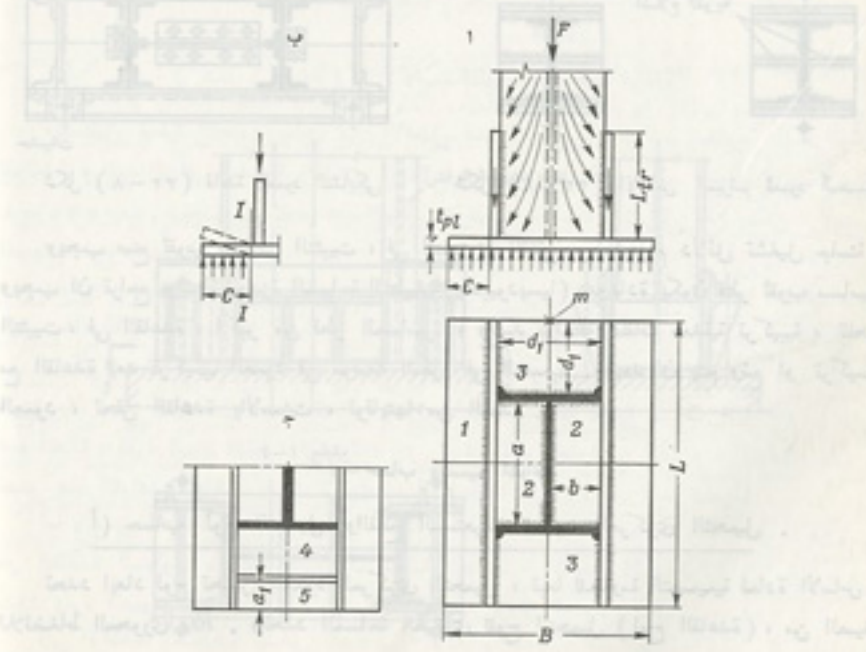
ψ — عامل المقاومة ، الذى لا يجب ان تزيد قيمته على ٢ .

وبعد ايجاد المساحة الضرورية للوح ، ننتقل الى تصميم القاعدة ، ونعين عرض اللوح B ، بحيث يكون اكبر قليلا من عرض العمود .

ويقاوم لوح القاعدة الانحناء الناجم عن تأثير الاحمال الموزعة بانتظام (ضغط التحميل الرد فعلى للاساس ، المتجه الى الاعلى) :

$$q = \sigma_{con} = \frac{F}{LB}$$

وسوف تقع اقسام اللوح المختلفة ، فى ظروف انحناء مختلفة . ويبين الشكل (٨ — ٣٤ ، أ) ، احد الالواح ، الذى يمكن اعتباره مكونا من ثلاثة اقسام مختلفة .



شكل (٨ — ٣٤) رسم توضيحى لحساب لوح تحميل (ارتكاز) العمود المركزى الانضغاط (التحميل)

ان القسم الاول من لوح التحميل I ، يسلك سلوك الكابول ويحسب مثله (شكل ٨ — ٣٤ ، ب) . وللقيام بذلك ، نستقطع نظريا ، شريطا من اللوح ، عرضه ١ سم ، وتحدد العزم المؤثر فى المقطع I — I :

$$M = \frac{\sigma_{con}\, c^2}{2} \qquad (8-47)$$

ويسلك القسم الثانى من اللوح المذكور ، سلوك البلاطة المرتكزة او المستندة من جهاتها الاربع ، والمحملة من الاسفل ، بنفس الاحمال الموزعة بانتظام $q = \sigma_{con}$. ان مثل هذه البلاطة المستطيلة ، التى يؤثر العزم الاقصى فى مركزها ، تحسب بالاستعانة بالجداول الخاصة ، التى وضعها الاكاديمى جالبركين ، باستخدام الصيغتين التاليتين :

$$M_a = \alpha_1 q b^2$$
$$M_b = \alpha_2 q b^2 \qquad (8-48)$$

حيث M_a و M_b — العزوم المحسوبة للشريط الذى يبلغ عرضه ١ سم ، فى اتجاه البعدين a و b ؛

a — طول الضلع القصير للمستطيل ؛

α_1 — α_2 معاملان تؤخذ قيمتهما من الجدول (٨ — ١١) ، تبعا للنسبة بين ضلع المستطيل الطويل a وضلعه القصير b (شكل ٨ — ٣٤ ، أ) .

جدول ٨ — ١١

قيم المعاملات α_1 ، α_2 ، α_3 لحساب انحناء الالواح المستطيلة المستندة من اربع جهات ومن ثلاث جهات

الالواح المستندة من اربع جهات			الالواح المستندة من ثلاث جهات	
نسبة الضلعين a/b	α_1	α_2	نسبة الضلعين d_1/a_1	α_3
١	٠,٠٤٨	٠,٠٤٨	٠,٥	٠,٠٦٠
١,١	٠,٠٥٥	٠,٠٤٩	٠,٦	٠,٠٧٤
١,٢	٠,٠٦٣	٠,٠٥٠	٠,٧	٠,٠٨٨
١,٣	٠,٠٦٩	٠,٠٥٠	٠,٨	٠,٠٩٧
١,٤	٠,٠٧٥	٠,٠٥٠	٠,٩	٠,١٠٧
١,٥	٠,٠٨١	٠,٠٥٠	١	٠,١١٢
١,٦	٠,٠٨٦	٠,٠٤٩	١,٢	٠,١٢٠
١,٧	٠,٠٩١	٠,٠٤٨	١,٤	٠,١٢٦
١,٨	٠,٠٩٤	٠,٠٤٨	٢	٠,١٣٢
١,٩	٠,٠٩٨	٠,٠٤٧	اكثر من ٢	٠,١٣٣
٢	٠,١٠٠	٠,٠٤٦	—	—
اكثر من ٢	٠,١٢٥	٠,٠٣٧	—	—

d_3 — تمثل طول الجهة او الحافة الطليقة .

وفي الحالة التي تزيد فيها النسبة $\frac{a}{b}$ على ٢، يمكن تحديد العزم المؤثر في شريط مقطوع بمحاذاة الضلع القصير، بنفس الطريقة التي يحدد فيها بالنسبة للعتبة البسيطة او الوحيدة الباع (راجع الجدول ٨ — ٢ ، العمود الآخير) .

واذا اعتبرنا بأن حافات اللوح ، مثبتة تثبيتا مرنا ، يمكن اختصار العزوم المستخرجة من الصيغة (48—8) ، او بالطريقة المتبعة بالنسبة للعتبة البسيطة ، بمقدار يساوى ٢٠ ٪ .

اما القسم الثالث من لوح التحميل ، اى القسم رقم 3 ، فيسلك سلوك البلاطة المرتكزة او المستندة من ثلاث جهات . ان اخطر موضع في مثل هذه البلاطة ، هو منتصف حافتها الطليقة (النقطة m في الشكل ٨ — ٣٤) . ويحدد العزم في هذا المقطع ، من الصيغة التالية :

$$M_3 = \alpha_3 q d_1^2 \qquad (8—49)$$

حيث α_3 — معامل تؤخذ قيمته من الجدول (٨ — ١١) ؛

d_1 — طول الحافة الطليقة للبلاطة (اللوح) .

واذا كانت النسبة $\frac{a_1}{d_1}$ اقل من ٠,٥ ، عندئذ تراجع او تحسب البلاطة كأنها كابول .

ويتم تحديد ثخن اللوح ، وفقا لاكبر عزم من العزوم المستخرجة من الصيغ التالية : (47—8) و (48—8) و (49—8) .

ويجب ان يكون ثخن اللوح كافيا ، لكي يجعل الاحمال تنتقل بانتظام الى الخرسانة ، بدون ان يتعرض الى الانحناء اثناء ذلك (كما مبين في الحالة السابقة ، شكل ٨ — ٣٤ ، ب) ، اى ان القاعدة يجب ان تسلك نفس سلوك الدمغة الجاسئة .

ان معامل مقطع اللوح الذى ثخنه t وعرضه ١ سم ، سيساوى : $W = \frac{1 t^2}{6}$.

وباستخدام الاجهاد الكلى في اللوح ، المساوى للمقاومة التصميمية ، نحصل على ما يلى :

$$\sigma = \frac{M}{W_{pl}} = \frac{6M}{t_{pl}^2} = R$$

ومنها ينتج :

$$t_{pl} = \sqrt{\frac{6M}{R}} \qquad (8—50)$$

وعند تصميم قاعدة العمود ، يجب محاولة جعل اثخان اقسام القاعدة المختلفة ، المحددة من الصيغ (47—8) و (48—8) و (49—8) ، قريبة من بعضها البعض حسب الامكان . ويمكن التوصل الى ذلك ، بتغير الابعاد a و b و c . وعلى سبيل المثال ، في الشكل (٨ — ٣٤ ، حـ) ، عند وضع حاجز ، ينقسم او يتجزأ القسم 3 (في الاسفل) ، الى قسمين ، هما القسم 4 ، المستند او المرتكز من اربع جهات ، والقسم 5 ، المستند من ثلاث جهات ، ولكن مع قيمة اصغر للبعد a_1 .

ويؤخذ ثخن لوح التحميل عادة في حدود تتراوح بين ١٦ — ٤٠ مم (ما عدا الواح الاعمدة، المفرزة الحافات او الاطراف ، حيث يمكن ان يزيد ثخنها على ذلك) .

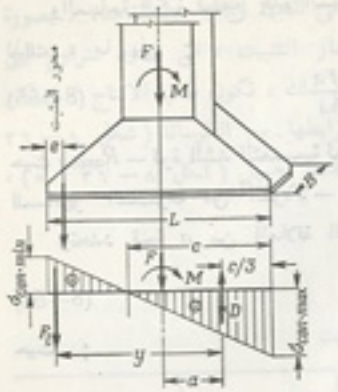
ويحدد ارتفاع القطعة المستعرضة بحيث يسهل ترتيب وضع اللحامات ، التي تنتقل عن طريقها القوى (الاحمال) ، من اسطوانة العمود الى القطعة المستعرضة .

ب) حساب لوح التحميل (لوح القاعدة) ومسامير التثبيت ، للعمود اللامركزى التحميل

ان قاعدة العمود اللامركزى التحميل ، تنقل الضغط غير المنتظم للاحمال ، الى سطح الاساس . وتؤثر الاحمال الضاغطة على الاساس في اتجاه العزم عن طريق لوح القاعدة ، اما من الجهة المعاكسة ، فان اللوح المذكور يحاول الابتعاد او الانفصال عن سطح الاساس (شكل ٨ — ٣٥) .

وتحول مسامير التثبيت ، دون وقوع الانفصال المذكور ، وتقوم بتثبيت او حصر العمود .

وعند التصميم ، يوضع قبل كل شيء ، عرض لوح القاعدة B . اما طول اللوح L ، فيحدد بحيث يكون الاجهاد الاقصى في الاساس، عند حافة اللوح $\sigma_{con.max}$، اقل من مقاومة الخرسانة التصميمية للانضغاط :



شكل (٨ — ٣٥) رسم تخطيطى لتوضيح حساب مسامير التثبيت

$$\sigma_{con.max} = \frac{F}{A} + \frac{M}{W} = \frac{F}{BL} + \frac{6M}{BL^2} \leqslant R_{con} \qquad (8—51)$$

وهنا يكون اجهاد الشد الاقصى، عند الحافة المقابلة ، للوح المذكور ، مساويا لما يلى :

$$\sigma_{con.min} = \frac{F}{A} - \frac{M}{W} = \frac{F}{BL} - \frac{6M}{BL^2} \qquad (8—52)$$

وعند اجراء هذه الحسابات، تختار احسن مجموعة ملائمة من الاحمال ، لتحديد قيمتى F و M.

ويحل المعادلة (51—8) لاستخراج L ، يمكن تحديد طول اللوح المطلوب ، باعتباره دالة للعرض المأخوذ للوح B ، وللمقاومة التصميمية المعطاة للخرسانة R_{con} :

$$L = \frac{F}{2BR_{con}} + \sqrt{\left(\frac{F}{2BR_{con}}\right)^2 + \frac{6M}{BR_{con}}} \qquad (8—53)$$

وبعد تحديد بعدى اللوح L و B ، نأتى الى تصميم القاعدة وتحديد ثخن اللوح (لوح القاعدة) .

وعند تحديد ثخن لوح القاعدة ، يفترض (مع زيادة معينة في احتياطى الامان) بأن اللوح محمل بأحمال موزعة بانتظام $q = \sigma_{con.max}$. ويمكن ان تستثنى من ذلك الاقسام المتوسطة من اللوح فقط ، التي يمكن ان تحسب تبعا لتأثير الاحمال الموزعة بانتظام ، المساوية للاجهاد الاقصى ، المناظر لحافة القسم الذى يجرى بحثه .

وتحسب مسامير التثبيت ، على فرض ان قوة الشد F_t ، المحددة من منطقة الشد في الرسم البيانى للاجهادات (شكل ٨ — ٣٥) ، تقاوم كليا من قبل مسامير التثبيت .

ولهذا السبب ، فعند وضع معادلة التوازن بالنسبة لمركز ثقل منطقة الانضغاط المثلثة ، في الرسم البيانى للاجهادات ، اى نقطة تأثير محصلة قوى الانضغاط ، نحصل على ما يلى :

$$M - Fa - F_t y = 0$$

وهكذا فان القوة الكلية F_t في كافة مسامير التثبيت، الواقعة على جهة واحدة من القاعدة، ستساوى ما يلى :

$$F_t = \frac{M - Fa}{y} \qquad (8—54)$$

والمساحة الكلية لمقطع هذه المسامير (المساحة عند جذور الاسنان اللولبية) ، ستساوى طبقا لذلك ، ما يلى :

$$A_{anch.n} \geq \frac{F_t}{R_{anch.t}} = \frac{M - Fa}{gR_{anch.t}} \qquad (8-55)$$

حيث $R_{anch.t}$ — قوة الشد التصميمية لمسامير التثبيت، المأخوذة مساوية للمقدار ١٤٠٠ كجم/سم٢ للمسامير المصنوعة من الفولاذ — ٣ .

وتحدد قيمة a من العلاقة الهندسية التالية :

$$a = \frac{L}{2} - \frac{c}{3} \qquad (8-56)$$

حيث :

$$c = \frac{\sigma_{con.max}}{\sigma_{con.max} + \sigma_{con.min}}$$

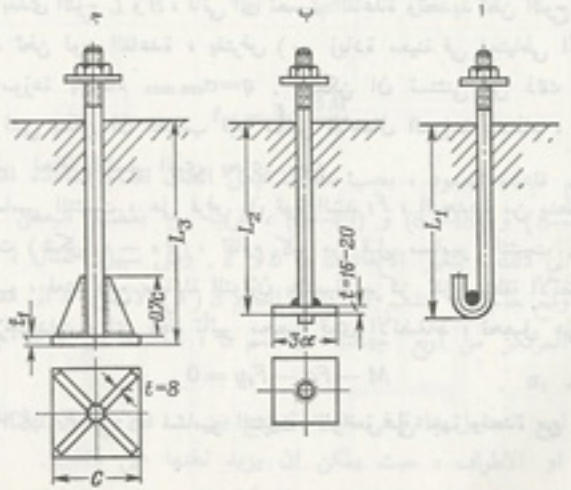
وعند تحديد قيمة c ، تؤخذ القيم المطلقة للمقدار σ_{con} ، بدون اخذ علاماتها فى الاعتبار .

ويحدد ذراع مسامير التثبيت ، اى البعد y ، بالطريقة التالية : قبل كل شئ يتم تصميم الجزء المستخدم لربط (تثبيت) المثبتة مع قاعدة العمود ، وبذلك يتم تحديد البعد e (شكل ٨ — ٣٥) ، الذى يساوى عادة ما يتراوح بين ٧٥ — ١٠٠ مم . ويستخرج البعد المطلوب y ، من المعادلة التالية :

$$y = L - \frac{c}{3} - e \qquad (8-57)$$

وعند حساب مسامير التثبيت ، لابد من استخدام مجموعة الاحمال ، التى تعطى اقصى قيمة للعزم M ، عند اصغر قيمة للقوة F (مثلا عند تأثير الرياح ، ولكن بدون اوناش وثلج) .

ومن الواضح بأننا نستطيع الحصول على مساحة مقطع مسمار التثبيت الواحد ، اذا قسمنا المساحة الكلية لمقطع المسامير ، المستخرجة من الصيغة (55—8) ، على عدد المسامير الواقعة



شكل (٨ — ٣٦) انواع المثبتات

فى جهة واحدة من القاعدة . وعادة توضع مسامير التثبيت فى الجهة الثانية من القاعدة ، بصورة مماثلة لوضع المسامير فى الجهة الاولى ، ويؤخذ قطر مسمار التثبيت ، فى حدود تتراوح بين ٢٠ و ٧٦ مم ، وذلك لأن المسامير ذات القطر الاكبر من ذلك ، تكون صعبة الانتاج . ويمكن تثبيت او حصر مسامير التثبيت فى الاساس ، بواسطة ترابطها مع الخرسانة (شكل ٨ — ٣٦ أ وب) ، وبذلك يتم تحديد عمق تثبيتها ، او باستخدام حلقات تحميل (شكل ٨ — ٣٦ ، جـ) ، تقاوم ضغط الخرسانة ، الموزع على مساحاتها .

جدول ٨ — ١٢

الابعاد العادية لمسامير التثبيت

القطر الخارجى للمسمار d مم :	مساحة المقطع الصافية (عند اللولب) سم٢ :	طول القسم المطمور من المسمار (مم): بدون حلقة تحميل (شكل ٨—٣٦ ، أ ، ب) L_1	طول القسم المطمور من المسمار (مم): بدون حلقة تحميل (شكل ٨—٣٦ ، أ ، ب) L_2	طول القسم المطمور من المسمار (مم): مع حلقة تحميل (شكل ٨—٣٦، جـ) L_3	ابعاد الحلقة c	القوة التصميمية القصوى المسموح بها للمسمار الواحد، كجم: (عند $R_t = ١٤٠٠$ كجم/سم٢)
٢٠	٢,٢٥	٧٠٠	—	—	—	٣١٥٠
٢٢	٢,٨١	٧٥٠	—	—	—	٣٩٤٠
٢٤	٣,٢٤	٨٥٠	—	—	—	٤٥٤٠
٢٧	٤,٢٧	٩٥٠	—	—	—	٥٩٨٠
٣٠	٥,١٨	١٠٥٠	—	—	—	٧٢٥٠
٣٦	٧,٥٨	١٢٥٠	—	٧٠٠	١٦٠×١٦	١٠٦٠٠
٤٢	١٠	١٤٥٠	—	٨٠٠	٢٠٠×٢٠	١٤٠٠٠
٤٨	١٣,٤	—	١٤٥٠	٨٥٠	٢٤٠×٢٥	١٨٧٠٠
٥٦	١٨,٧٥	—	١٦٥٠	١٠٠٠	٢٤٠×٢٥	٢٦٢٠٠
٦٤	٢٤,٦٥	—	١٨٥٠	١١٠٠	٢٨٠×٣٠	٣٤٥٠٠
٧٢	٣١,٦	—	٢٠٠٠	١٢٥٠	٢٨٠×٣٠	٤٤٢٠٠
٧٦	٣٥,٨	—	٢١٠٠	١٣٥٠	٣٢٠×٣٠	٥٠١٠٠

وعند تحديد العمق الذى يطمر (يثبت) فيه المسمار فى الخرسانة L_1 (الجزء المطمور فى الخرسانة) ، يمكن الاستعانة بمعطيات الجدول (٨ — ١٢) . ويتراوح طول لولب المسمار (الجزء الملولب منه) عادة ، بين ١٢٠ — ١٥٠ مم . وعند تصميم القاعدة ، يجب ان تتأكد من امكانية ربط الصمولات بحرية عند شد المسامير . ولهذا السبب ، يستحسن ان تكون المسافة الصغرى من محور المسمار الى القطعة المستعرضة ، مساوية للمقدار $1.5d$ (حيث d — قطر المسمار) . ان مسامير التثبيت تقع وراء حافات لوح القاعدة ، وذلك لكى يمكن اثناء عملية التركيب ، تحريك العمود الى جميع الجهات (بمقدار ٢٠ مم تقريبا) ، لوضعه فى المركز .

ويعين ارتفاع القطعة المستعرضة ، تبعا لظروف انتاج وترتيب اللحامات او البرشام ، التى تستخدم لربط اسطوانة العمود مع القطعة المستعرضة :

مثال ٨ — ٤ : يطلب حساب تصميم قاعدة العمود التشابكى ، المبينة فى الشكل (٨ — ٣٧) . ان القوى التصميمية القصوى فى العمود ، هى نفس القوى الموجودة فى المثال السابق (٨ — ٣) ، اى :

$$M = -185.4\ tm; \qquad F = 109.6\ t$$
$$M = +346\ tm \qquad F = 189.1\ t$$

وقد حددت فى هذا المثال ، القوى القصوى فى فروع العمود ، وهى :

فى مدرجة العمود $F_{c.br} = 183.5\ t$

وفى الفرع الخارجى $F_{o.br} = 402\ t$

ان مجموعة الاحمال التصميمية ، المؤثرة على العمود ، المستخدمة لحساب مسامير التثبيت (الناجمة عن الاحمال الساكنة وحمل الريح) ، تؤخذ مساوية لما يلى :

$$M = -170.9\ tm$$
$$F = 86.9\ t$$

ان مقاومة الخرسانة التصميمية للانضغاط المحورى ، بالنسبة للخرسانة ماركة ١٠٠ ، تساوى R_{con} = ٤٤ كجم/سم^2 . والمادة التى صنعت منها القاعدة ، هى الفولاذ ماركة ВСт.3кп ، والالكترودات من النوع 342 .

الحل : ١) تعين الابعاد التقريبية للوح الموضوع تحت فروع العمود ، بناء على عرض الفروع والاجزاء الكابولية البارزة او الناتئة ، وهو ١٠ سم لكل منها ، والمجموع يبلغ ٥٥ + ٢ × ١٠ = = ٧٥ سم ، بعد ان نفرض بأن R_{fd} = ٦٠ كجم/سم^2 . ونعين عرض الاساس ، بحيث يكون اعرض من اللوح بمقدار ٤٠ سم ، واطول منه بمقدار ٦٠ سم (راجع الشكل ٨ — ٣٧) .

$$A_{req.} = \frac{F_{c.br}}{R_{fd}} = \frac{183500}{60} = 3100\ cm^2$$

$$A_{req.} = \frac{F_{o.br}}{R_{fd}} = \frac{402000}{60} = 6700\ cm^2$$

ونعين الآن ابعاد الالواح والاساس :

$$A_{pl.c.br} = 45 \times 75 = 3350\ cm^2$$
$$A_{pl.o.br.} = 90 \times 75 = 6750\ cm^2$$

ان قسم مساحة الاساس ، الواقع تحت كل لوح (على فرض ان الاساس مقسم الى قسمين متساويين ، فى المقطع الواقع بين الالواح) ، سيساوى ما يلى ، عندما يبلغ العرض ١,١٥ م :

$$A_{1fd} = 1.15 \times 1.025 \approx 1.15\ m^2$$
$$A_{2fd} = 1.15 \times 1.5 = 1.7\ m^2$$

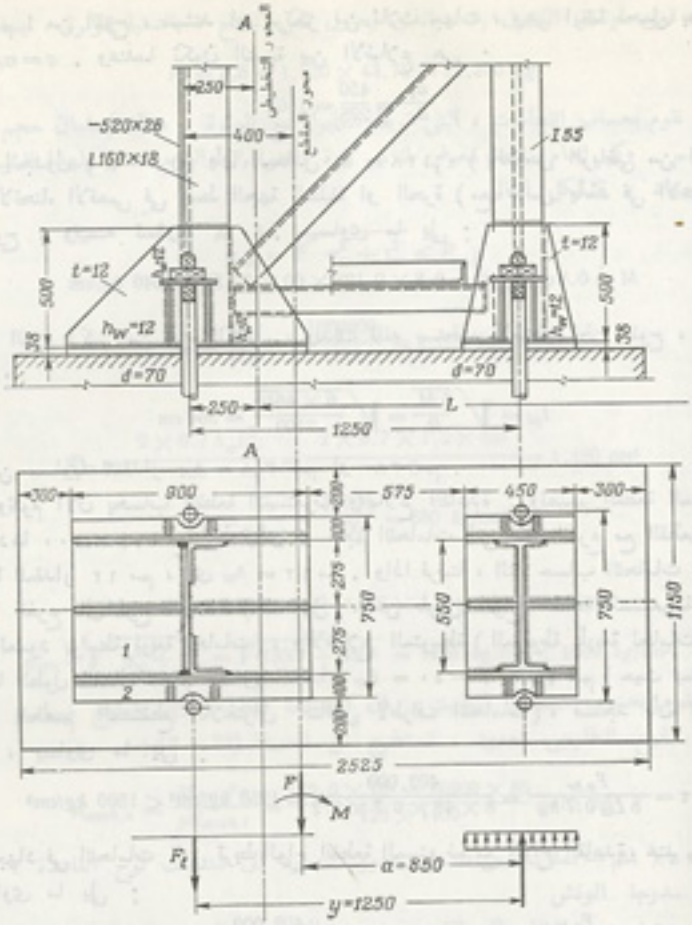
وقيمتا عامل المقاومة ، هما كالآتى :

$$\psi_1 = \sqrt[3]{\frac{A_{1fd}}{A_{c.br}}} = \sqrt[3]{\frac{1.15}{0.335}} = 1.51$$

$$\psi_2 = \sqrt[3]{\frac{1.7}{0.675}} = 1.37$$

ان مقاومة الخرسانة التصميمية ، تحت اللوح ، ستساوى ما يلى :

$$R_{1fd} = \psi R_{con} = 1.51 \times 44 = 66.5\ kg/cm^2$$
$$R_{2fd} = 1.37 \times 44 = 60.4\ kg/cm^2$$



شكل (٨ — ٣٧) رسم توضيحى للمثال ٨ — ٤

والضغط المؤثر على الخرسانة ، يساوى :

$$\sigma_{c.br} = \frac{F_{c.br}}{A_{c.br}} = \frac{183500}{3350} = 55\ kg/cm^2 < 66.5\ kg/cm^2$$

$$\sigma_{o.br} = \frac{F_{o.br}}{A_{o.br}} = \frac{402000}{6750} = 60\ kg/cm^2 < 60.4\ kg/cm^2$$

٢) نحدد السمك الضرورى للوح الموجود تحت الفرع الخارجى للعمود ، باعتبار انه يقاوم الانحناء . ان القسم 2 من اللوح ، يسلك مثل سلوك الكابول ، تحت تأثير الحمل الموزع بانتظام ، الذى هو على هيئة ضغط التحميل الرد فعلى للخرسانة $q = \sigma_{con}$ (شكل ٨ — ٣٧) .

ان العزم فى الكابول ، يساوى :

$$M = \frac{\sigma_{con}\, c^2}{2} = \frac{60 \times 10^2}{2} = 3000\ kg/cm$$

والقسم 1 من اللوح ، مستند او مرتكز من ثلاث جهات ، وهو ايضا محمل بحمل موزع بانتظام $q = \sigma_{con}$. وعندما تكون النسبة بين الاضلاع هي :

$$\frac{a_1}{d_1} = \frac{450}{275} = 1.63$$

نجد من الجدول (٨ — ١١) بأن المعامل $\alpha_1 = 0{,}128$ (بالتكامل الرياضي من الداخل) . ان عزم الانحناء الاقصى في وسط الجهة الطليقة او الحرة (مع عامل يأخذ في الاعتبار ظروف تثبيت اللوح ، وقيمته تساوي ٠,٨) . سيساوي ما يلي :

$$M = 0.8\,\alpha_1 \sigma_{con}\, d_1^2 = 0.8 \times 0.128 \times 60 \times 27.5^2 = 4640\ kg/cm$$

وهذا العزم اكبر من عزم الكابول ، ولذلك فانه يستخدم لاختيار ثخن اللوح ، من الصيغة (8 — 50) :

$$t_{pl} = \sqrt{\frac{6M}{R}} = \sqrt{\frac{6 \times 4640}{2100}} = 364\ cm$$

نأخذ الثخن مساويا للمقدار $t_{pl} = 3{,}8$ سم او ٣٨ مم .

٣) ونقوم الآن بحساب القطعة المستعرضة واضلاع القاعدة . ونصمم القطعة المستعرضة من الواح ابعادها ٥٠٠ × ١٢ ، مع اخذ قياس او حجم اللحامات التي تربط الفرع مع القطعة المستعرضة h_w مساويا للمقدار ١٢ مم ، اي $h_w = 12$ مم . واذا فرضنا ، اثناء حساب اللحامات ، بأن القوة تنتقل من الفرع الى لوح القاعدة (التحميل) ، عن طريق الواح القطعة المستعرضة (المربوطه مع فرع العمود بواسطة اربعة لحامات) ، والاضلاع المتوسطة (المربوطة بأربعة لحامات كذلك) ، واذا جعلنا الطول الفعال للحام مساويا للمقدار $L_w = 50 - 2 = 48$ سم (حيث يمثل المقدار ٢ سم ، الخصم المستقطع للاختراق الناقص لأطراف اللحامات) ، فسنجد بأن الاجهاد في اللحامات ، يساوي ما يلي :

$$\tau = \frac{F_{e.br}}{8\, L_w\, 0.7\, h_w} = \frac{402{,}000}{8 \times 48 \times 0.7 \times 1.2} = 1250\ kg/cm^2 < 1500\ kg/cm^2$$

والاجهاد في اللحامات التي تربط الواح القطعة المستعرضة مع الواح القاعدة، عند $h_w = 10$مم، سوف يساوي ما يلي :

$$\tau = \frac{F_{e.br}}{0.7\, h_w \sum L_w} = \frac{402{,}000}{0.7 \times 1\,[2(90-2) + 2(90-2-19) + 2(90-5)]} =$$

$$= 1190\ kg/cm^2 < 1500\ kg/cm^2$$

والآن تراجع الضلع المتوسط ، الذي يعزز او يقوى لوح القاعدة . ان هذا الضلع الذي ابعاده هي ٥٠٠ × ٤٥٠ × ١٢ مم ، يقاوم ضغط التحميل الرد فعلي للخرسانة σ_{con} ، المسلط على مساحة تحميل عرضها يساوي $\frac{55}{2} = 27.5$ مم . ان الحمل المسلط او المؤثر على الضلع المذكور ، يساوي ما يلي (شكل ٨ — ٣٧) :

$$q_r = \sigma_{con} \times 27.5 = 60 \times 27.5 = 1650\ kg/cm$$

وبالنسبة للضلع الذي يملك نفس سلوك الكابول المحصور في الجدار ، لدينا ما يلي :

$$M_r = \frac{q_r a^2}{2} = \frac{1650 \times 43.75^2}{2} = 1570000\ kg/cm$$

$$W_r = \frac{th^2}{6} = \frac{1.2 \times 65^2}{6} = 844\ cm^3$$

$$\sigma = \frac{M_r}{W_r} = \frac{1570000}{844} = 1870\ kg/cm^2 < 2{,}100\ kg/cm^2$$

ان رد فعل ارتكاز الكابول F_r ، الذي يحاول قص الضلع ، بالنسبة للوترة ، يساوي :

$$F_r = q_r b = 1.650 \times 43.75 = 72{,}200\ kg$$

والآن نقوم بحساب اللحامات ، التي تربط الكابول مع الوترة . هناك لحامان حجم كل منهما $h_w = 12$ مم . وكل لحام منهما معرض لتأثير قوة القص F_r والعزم M . ولهذا السبب تراجع محصلة الاجهاد ، بالشكل التالي :

$$\sigma_{res} = \sqrt{\sigma_w^2 + \tau_w^2} < R_{w.t}$$

وهنا :

$$\sigma_w = \frac{M_r}{W_w} = \frac{1570000}{1180} = 1{,}330\ kg/cm^2$$

حيث

$$W_w = \frac{2 \times 0.7\, h_w L_w^2}{6} = \frac{2 \times 0.7 \times 1.2 \times 65^2}{6} = 1{,}180\ cm^3$$

$$\tau_w = \frac{F_r}{A_w} = \frac{72200}{106} = 680\ kg/cm^2$$

وفيها :

$$A_w = 2 \times 0.7\, h_w L_w = 2 \times 0.7 \times 1.2 \times 63 = 106\ cm^2$$

$$\sigma_{res} = \sqrt{\sigma_w^2 + \tau_w^2} = \sqrt{1330^2 + 680^2} = 1495\ kg/cm^2 < 1500\ kg/cm^2$$

٤) نقوم بحساب مسامير التثبيت . ان المساحة الكلية اللازمة لمقطع مسامير التثبيت ، التي تربط الفرع الخارجي للعمود ، تستخرج من الصيغة (55 — 8) :

$$A_{anch.s} = \frac{M - Fa}{yR_{anch.t}} = \frac{170.9 \times 10^5 - 86900 \times 85}{125 \times 1400} = 55\ cm^2$$

حيث $a = 85$ سم — تمثل المسافة من محور العمود الى منتصف لوح القاعدة ، التابع الى مدرجة الونش .

$y = 125$ سم — تمثل المسافة من محور المسامير التي يجري حسابها ، الى منتصف اللوح المذكور .

$R_{anch.t} = 1400$ كجم/سم^2 — تمثل قوة الشد التصميمية لمسامير التثبيت .

ان قيم a و y ، لا تحدد من المعادلة المشتقة للوح القاعدة الصلب ، بل من الشروط التي تجعل مجموع عزوم كافة القوى ، بالنسبة لمركز الرسم البياني لاجهاد الانضغاط .

وتقوم الآن بتقسيم المساحة الكلية لمقطع المسامير ، التي استخرجناها بهذه الطريقة ، على ٢ (عدد المسامير) :

$$A_{anch.s} = \frac{55}{2} = 27.5\ cm^2$$

نستخدم مسامير قطرها يساوي $a = 70$ مم ، ويكون طول الجزء المطمور منها في الخرسانة ، مساويا للمقدار $L_{anb} = 2000$ مم .

الفصل التاسع

الهياكل الفولاذية للمبانى الصناعية

البند الرابع والاربعون – معلومات عامة عن الهياكل الفولاذية للمبانى الصناعية

ان الهيكل الفولاذى للمبنى الصناعى ، هو الانشاء الحامل الرئيسى ، الذى يسند السقف والجدران ، وكذلك سكك او مدارج الاوناش الرحالة وغيرها ، المستخدمة فى عملية الانتاج . وفى بعض الاحيان ، نجد بأن مختلف انواع المعدات التكنولوجية ومنصات العمل ، تكون مستندة او مرتكزة على الهيكل الفولاذى .

وقبل البدء بتصميم المبنى الصناعى ، يجب التأكد من كون الفولاذ ملائما للغرض ، عندما يستخدم فى صناعة القطع الانشائية للمبنى المذكور ، وذلك لأنه نظرا لاتقان صناعة القطع الخرسانية المسلحة السابقة الاجهاد ، يمكن فى الوقت الحاضر ، ادخال القطع الخرسانية المسلحة السابقة الصنع (الجاهزة) ، على نطاق اوسع فى الانشاءات الصناعية .

ان مجال استخدام الفولاذ والقطع الخرسانية المسلحة ،فى الانشاءآت او المبانى الصناعية فى الاتحاد السوفييتى ، محدد بصورة رئيسية بموجب « قواعد الاستهلاك الاقتصادى للمعادن والأخشاب والاسمنت فى الانشاءآت » الصادرة عن لجنة الانشاء الحكومية، التابعة لمجلس وزراء الاتحاد السوفييتى .

وعند البدء بتصميم المبنى الصناعى ، يكون من الضرورى فى مرحلة وضع المخطط التصميمى ، الحصول على بعض المعلومات المتعلقة بالطبيعة التكنولوجية والانشائية العامة ، الخاصة بتشغيل او استخدام الانشاء او المبنى ، بالشكل الذى من المفروض ان يكون عليه .

ان المعلومات ذات الطبيعة التكنولوجية ، تخص المعطيات المتعلقة بترتيب وضع السكك الحديدية فى الورشة ، وبالابعاد الاجمالية الخاصة للمكنات ، وبمختلف الاحمال المتنقلة وتأثيراتها الدينامية ، و بالانشاءآت الموجودة تحت الارض ، وبمناطق العمل والتصليح الخاصة ، وبالممرات والسلالم ، وبتتابع عملية الانشاء وامكانية التوسع او التطوير ، وبترتيب وضع المرافق او المنشآت العامة وغير ذلك .

اما المعلومات ذات الطبيعة الانشائية العامة ، فانها تخص موضع او موقع الورشة فى المخطط العام ، وتعيين منسوب المستوى الارضى ، والمعطيات المتعلقة بالتربة وتعيين منسوب المياه الجوفية ، وكذلك المقاومة التصميمية المأخوذة للتربة ، والمعطيات الخاصة بمواد البناء المحلية ، والمعطيات الخاصة بالاضاءة والتهوية والتدفئة ، وبعدد من المتطلبات الاخرى الخاصة .

وكما ذكر سابقا ، فان كل انشاء مصمم ، يجب ان يفى بشروط الاستخدام ، وان يكون قويا ومستقرا وله جسؤة فراغية كافية . ويجب ان تتوفر فى كل مبنى صناعى ، ظروف العمل العادية

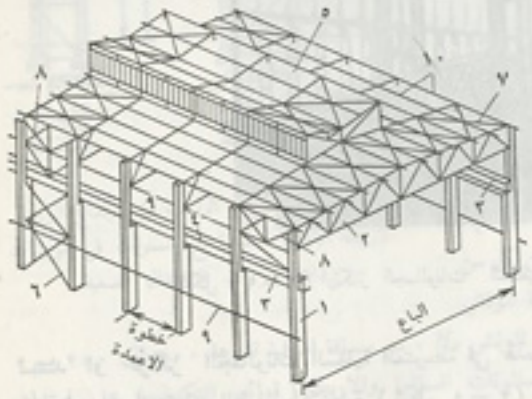
للعاملين (يجب ان تكون الورشة مضاءة ودافئة وجيدة التهوية) ، ويجب ان تتوفر كذلك ، الظروف العادية لتشغيل الورشة (الجسؤة الضرورية لمدارج الاوناش ، منفذ للوصول الى السطوح الزجاجية لتنظيفها ، قنوات جيدة لتصريف المياه ، اشتغال البوابات والنوافذ والابواب بصورة جيدة وسأسولة ، الاختيار الصحيح للارضيات ، وغير ذلك) .

وبالاضافة الى ذلك ، يجب ان تصمم المبانى والانشاءآت جميعا ، بحيث يكون وزنها اقل ما يمكن ، وان تصرف اقل جهود ممكنة لأجل اقامتها او تركيبها . ولهذا الغرض يجب اختيار مخططات المبانى او الانشاءآت ، التى ينتقل فيها مجال القوة ، الناجم عن تأثير الاحمال المسلطة على هيكل المبنى ، الى الارض ، من افضل طريق من الناحية العملية . ومن الضرورى كذلك ، ان تستخدم المادة على افضل وجه ، الامر الذى يؤدى فى حالات خاصة ، الى وجود بعض التركيز فيها .

ولكى نحصل على تصنيع اكبر ، وانخفاض فى الجهد او حجم العمل المصروف فى صناعة وتركيب الانشاءآت ، يجب استخدام اكبر عدد ممكن من القطع الانشائية المتماثلة ، مع جعل شكلها ابسط ما يمكن .

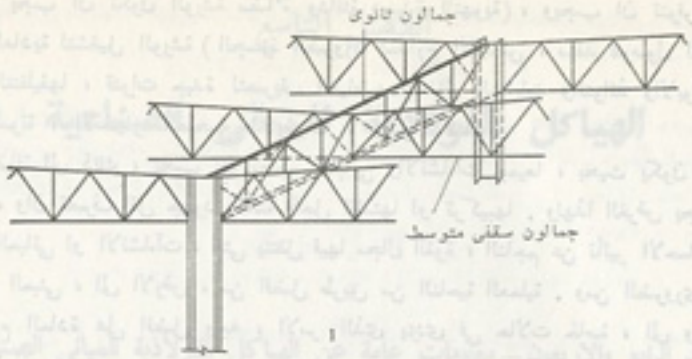
ويمكن تقسيم كافة المبانى الصناعية الى مبانى ذات طابق واحد ، ومبانى متعددة الطوابق . واكثر المبانى انتشارا هى الورشات (المبانى) ذات الطابق الواحد ، التى تكون عادة وحيدة الباع او متعددة الابواع .

ان القطع الاساسية للهيكل الفولاذى الحامل للمبنى الصناعى (شكل ٩ — ١) ، التى تتحمل كافة الاحمال المؤثرة على المبنى تقريبا ، هى الاطر المستوية الجانبية ، المكونة من الاعمدة والجمالونات السقفية (العوارض) . وتوضع هذه الاطر ، الواحد بعد الآخر ، بحيث تفصلها مسافة معينة فيما بينها. وعلى هذه الاطر الجانبية ، تستند او ترتكز قطع الهيكل الطولية : عوارض الونش ، العتبات الشدادة ومدادات السقف والمنور . ويجب ان تكون لهيكل المبنى الصناعى ، جسؤة فراغية كافية ، الامر الذى يتم التوصل اليه ، باستخدام اربطة (قطع تكتيف)، توضع فى الاتجاهين الطولى والعرضى (الجانبى) ، وكذلك تثبيت عارضة الهيكل فى الاعمدة ، بوصلة جاسئة ، فى الحالات الضرورية .

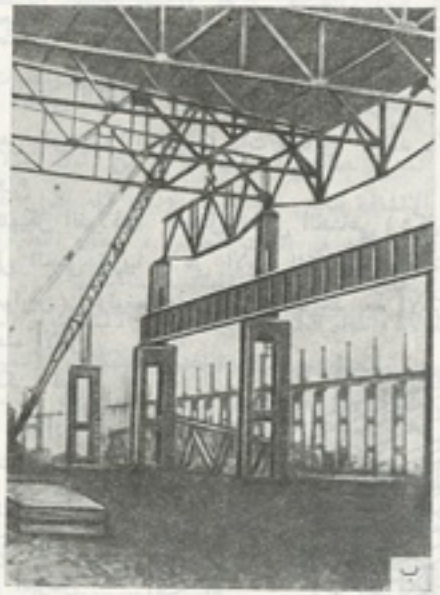


شكل (٩ — ١) القطع الرئيسية (الاساسية) للهيكل الفولاذى للانشاء الصناعى :
١ – عمود الاطار ، ٢ – الجمالون السقفى (العارضة التشابكية للاطار) ، ٣ – عتبات الونش ، ٤ – عتبة الفرملة (التكتيف) ، ٥ – المنور ، ٦ – الاربطة الرأسية بين الاعمدة ، ٧ – الاربطة الافقية للسقف ، ٨ – الاربطة الرأسية للسقف ، ٩ – الهيكل الجدارى ، ١٠ – المدادات

وفى الورشات المتعددة الابواع، عندما تدعو الضرورة الى وضع الاعمدة بصورة متباعدة ، على امتداد الصفوف المتوسطة ،



ا



ب

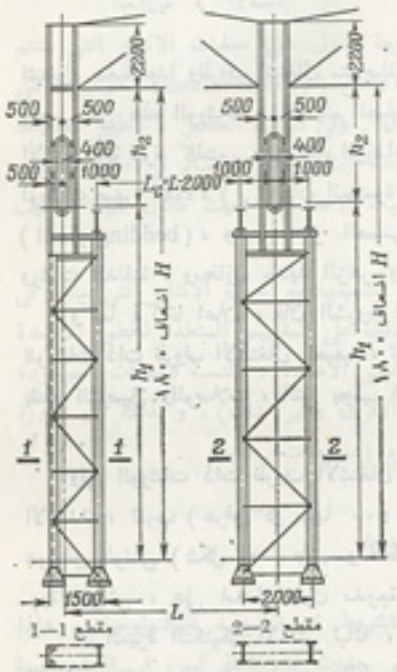
شكل (٩ – ٢) ارتكاز الجمالونات السقفية على الجمالونات الثانوية

تستند او ترتكز الجمالونات السقفية المتوسطة فى هذه الحالة ، على جمالونات ثانوية ، مقامة على امتداد الصفوف الطولية للاعمدة (شكل ٩ – ٢) .

ان قطع التسقيف ، المخصصة لوقاية المبنى من المؤثرات الجوية الخارجية من الاعلى ، مع القطع التى تسندها، وهى : الجمالونات السقفية والثانوية ، المدادات، المتاور وغير ذلك ، تسمى جميعا « السقف» . اما الاحمال الرئيسية بالنسبة لقطع السقف ، فهى حمل الثلج ووزن السقف بالذات . وان القطع الانشائية التى تدعم او تعزز الجدار ، او التى تحمل بعض الاقسام المعينة منه ، تسمى « الهيكل الجدارى او هيكل الجدار» . وتعتبر الاحمال الرئيسية بالنسبة لقطع الهيكل الجدارى ، هى وزن الجدار ، فى الاتجاه العمودى ؛ وحمل الريح ، فى الاتجاه الافقى .

والاحمال الرئيسية بالنسبة للاطار الجانبى ، هى حمل السقف والهيكل الجدارى ، وكذلك المؤثرات الناجمة عن احمال الونش ، المؤلفة من الضغط العمودى للاوناش ، والقوى الفرملية الافقية ، المؤثرة فى الاتجاهين الجانبى والطولى . ولمقاومة القوى الفرملية الجانبية ، المؤثرة على عوارض الونش ، تنشأ عتبات فرملة (تكتيف) افقية ، اما لمقاومة القوى الفرملية الطولية ، فتنشأ او توضع اربطة (قضبان تكتيف) رأسية بين الاعمدة . وتعتبر مؤثرات حمل الثلج ، بمثابة حمل اضافى بالنسبة للاطار (راجع الصفحة ٢١) .

ان الابعاد العامة او الرئيسية للورشة ، وهى الباع (شكل ٩ – ١) ، والارتفاع الى مستوى قمة سكة مدرجة الونش h_1 (شكل ٩ – ٣) ، وكذلك الارتفاع الكلى للورشة الى اسفل العتبة الشدادة للاطار او عارضة الاطار H، تحدد تبعا لحجم المعدات وطبيعة العمليات التكنولوجية (عمليات الانتاج) ، التى سوف تتبع فى الورشة المراد تصميمها . وطبقا لقواعد التوحيد القياسى العامة ، يجب ان يكون ارتفاع الورشة من مستوى الارضية الى اسفل القطع الانشائية الحاملة للسقف، العامة فى المبانى المحتوية على اوناش رحالة تؤخذ من أضعاف العدد ١,٨ م (اى من اضعاف عرض الجزء الهيكلى الجدارى ، السابق الصنع) ، كما مبين فى الشكل (٩ – ٣) . وتؤخذ قيمة خلوص الونش ، فوق قمة سكة مدرجة الونش H_2 ، طبقا للمواصفات القياسية السوفييتية ، الخاصة بالاوناش الرحالة .



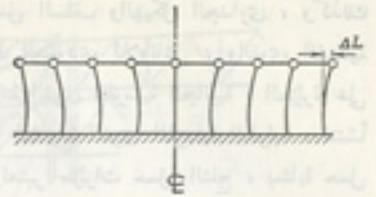
شكل (٩–٣) الابعاد الرئيسية على ارتفاع الورشة. الاربطة الافقية للاعمدة مع الممرات فى الورشات ذات ظروف الاشتغال الصعبة

ويتألف الارتفاع الكلى للورشة ، الى اسفل العارضة او العتبة الشدادة H (شكل ٩ – ٤) ، الذى هو من اضعاف العدد ١,٨ م ، من كل من الارتفاع من مستوى الارضية الى قمة سكة الونش h_1 ، والارتفاع h_2 ، الذى يشمل خلوص الونش H_2 ، مع مسافة اضافية قدرها ٢٠٠ الى ٢٥٠ مم ، تأخذ فى الاعتبار التحدب المتوقع للجمالونات السقفية والاربطة (قوائم التكتيف) على امتداد اوتارها السفلى ، وكذلك التصميم العادى لهذه الاربطة ، عندما تكون شفهات الزوايا بارزة الى الاسفل (راجع الشكل ٩ – ١٢) .

ان اختيار المخطط التصميمى العام لكل من الورشات الوحيدة الباع والورشات المتعددة الابواع ، يعتمد الى درجة بالغة ، على عدد من العوامل المعينة ، وأهمها :

أ) مقدار احمال الونش ، وكذلك نظام او ظروف اشتغال الاوناش والورشة ككل ؛

ب) ارتفاع الورشة ؛



شكل (٩ — ٤) التشوهات (الانفعالات) الحرارية في الاعمدة

ح) مقدار الحمل الناجم عن السقف (نوع قطع التسقيف ومقدار حمل الثلج).

ولظروف اشتغال الورشة، وخاصة في مصانع الميتالورجيا، اهمية كبيرة، لأنه عندما تكون ظروف الاشتغال صعبة، يظهر عدد من المتطلبات الاضافية، التي يجب ان تتوفر في التصميم. وتشمل المباني الصناعية ذات ظروف الاشتغال الصعبة، الورشات المحتوية على اوناش ذات ظروف اشتغال صعبة جدا وظروف اشتغال متواصلة صعبة جدا، تستمر لثلاث ورديات في اليوم الواحد. ويجب في هذه الورشات، ان يتم تصليح الاوناش ومدارجها او سككها، بدون توقف عملية الانتاج لأية فترة كانت. ومن هذه الورشات، على سبيل المثال، هي الاقسام او المباني الرئيسية لورشات صهر الفولاذ (في افران المجمرة المكشوفة وغيرها)، ووحدة تكون الطبقات او الطباقية (bedding plant)، ومبنى حفر الصب (ingot pit building)، وبعض فسحات او باحات ورشات الدلفنة، ومخازن حديد الزهر والصبات المعدنية وغير ذلك.

وكما ذكرنا اعلاه، فان الشروط التصميمية المطلوب توفرها في القطع الانشائية الفولاذية للورشات ذات ظروف الاشتغال الصعبة، تكون اصعب بعض الشيء. وهذا يتعلق بصورة خاصة، بقطع التوصيل والوصلات، التي يجب ان يكون عولها او صمودها عاليا (راجع الجدول ٦ — ١١).

وفي الورشات ذات ظروف الاشتغال الصعبة، يجب ان تستحدث في القسم العلوي من الاعمدة، ثقوب (عرض كل منها ٤٠٠ مم) على امتداد خط الممرات، الموجودة في مستوى عوارض الونش (شكل ٩ — ٣). وتحاط او تسيج هذه الممرات بدربزينات (railings) من جهة الونش، على امتداد طول مدرجة الونش بأكمله (انظر الشكل ٦ — ٤٩).

ان الميزة التكنيكية الاكثر ثباتا، التي يمكن بواسطتها معرفة مدى ملائمة تصميم الهيكل الفولاذي للمبنى الصناعي، من الناحية العملية، هي كمية المعدن المستهلك لكل متر مربع من مساحة المبنى. وقد ادرجت في الجدول (٩ — ٣) الاوزان التقريبية للقطع الانشائية، لمختلف انواع الورشات.

البند الخامس والاربعون — تخطيط شبكة الاعمدة

١ — خطوة الاعمدة والباع

عند تصميم الهيكل الفولاذي للورشة، يجب قبل كل شيء تخطيط ما يسمى بشبكة الاعمدة، اي وضع وترتيب الاعمدة في المسقط الافقي — الابواع وخطوة الاعمدة (وهي المسافة بين عمود وآخر على طول الورشة). ولأجل استخدام اكبر عدد ممكن من القطع الانشائية المتماثلة، يجب ان تكون خطوة الاعمدة ثابتة، ومن اضعاف احدى القيم المعينة، التي تسمى بالمقياس.

والنظام القياسي المستخدم للقياس المتكامل (لحساب النسب الصحيحة) للابعاد الاساسية للانشاءآت وقطعها، هو النظام القياسي الاساسي المتبع لأجل التوحيد القياسي للقطع الانشائية.

وبالنسبة للمباني الصناعية ذات الطابق الواحد، تم اتخاذ المقدار ٣ م، بمثابة مقياس اساسي. وطبقا لذلك، ينصح باتخاذ ابواع يصل طولها الى ١٨ م، اي من اضعاف العدد ٣ م، اما اذا زاد طول الابواع على ١٨ م، فتؤخذ من اضعاف العدد ٦ م. وينصح باتخاذ المسافات بين محاور الاعمدة في الاتجاه الطولي (اي خطوة الاعمدة)، بحيث تكون من اضعاف العدد ٦ م). وفي اغلب الاحيان، تؤخذ خطوة الاعمدة، مساوية لـ ٦ او ١٢ م (اذا لم تتطلب الظروف التكنولوجية، استخدام او اتخاذ خطوة تزيد على ذلك). وبزيادة ارتفاع المبنى، تزداد الخطوة المثلى للاعمدة.

ان اطوال الابواع وخطوة الاعمدة، تعتمد بالدرجة الاولى على عمليات الانتاج التي ستتم في الورشة المراد تصميمها، وعلى سهولة مناورة الاوناش (manouvrability) وغيرها من وسائل النقل في داخل الورشة الضرورية في هذا المجال. وفي الوقت الحاضر، تتطور عمليات الانتاج بسرعة، ويتطلب في كثير من الاحيان، اعادة انشاء بعض الاقسام في داخل المبنى الذي تم انشاءه. ويؤدي ذلك الى محاولة توسيع شبكة الاعمدة، بحيث تكون سهلة التكيف لاجراء مختلف عمليات الانتاج.

وعند تخطيط شبكة الاعمدة، تعطى اهمية خاصة لتنسيقها مع عملية الانتاج التي ستتم في الورشة المراد تصميمها، ويعتمد هذا التنسيق على المحافظة على المقاييس المتخذة لخطوة الاعمدة والباع. ويجب هنا ان ننتبه الى ضرورة تعيين موقع اسس الاعمدة، بالنسبة للمنشآت الموجودة تحت الارض (القنوات، اسس المعدات الميكانيكية، الافران وغير ذلك)، وكذلك الى ضرورة انشاء مداخل للسكك الحديدية، التي تتطلب حجوم (خلوصات) معينة.

٢ — الوصلات التمددية

يحدد الطول والعرض الاجماليين للورشة طبقا للشروط او الظروف التكنولوجية. واذا كان طول المبنى او عرضه كبيرا جدا، يظهر خطر حدوث تشوهات كبيرة في اقسام معينة منه، نتيجة لتغير درجات الحرارة في الصيف والشتاء. ان مقدار الانفعال الحراري (temperature strain) يساوي ما يلي: $\Delta = \alpha L t$، حيث α تمثل معامل التمدد الطولي للفولاذ ($\alpha = ٠,٠٠٠٠١٢$)، و L تمثل الطول و t فرق درجات الحرارة. ويبين الشكل (٩ — ٤) زيادة الانفعالات في اعمدة الورشة، ابتداء من مركز المبنى الى جوانبه، وهذه الزيادة ناجمة عن ارتفاع درجة الحرارة.

ويجب تقسيم او تجزئة الورشات الطويلة، الى اقسام او بلوكات منفصلة، وذلك بانشاء وصلات تمددية بين الاقسام. ان المسافات بين الوصلات التمددية، في الانشاءآت الفولاذية، التي يمكن عندها، طبقا للمواصفات القياسية، عدم حساب المؤثرات الحرارية، لا يجب ان تزيد على المسافات المدرجة في الجدول (٩ — ١).

واذا وجد في حدود البلوك الحراري (القطاع التمددي) للمبنى، رباطان رأسيان بين الاعمدة (راجع الصفحة ...)، فان المسافة بينهما يجب الا تزيد على ٥٠ م بالنسبة للمباني، وعلى ٣٠ م بالنسبة للحوامل او العناصر المفتوحة.

جدول ٩ — ١

الابعاد القصوى للبلوكات الحرارية فى المبانى والمنشئات

نوع المبانى او المنشئات	المسافة القصوى من حافة البلوك الى محور اقرب رباط رأسى	الطول الاقصى للبلوك (بمحاذاة المبنى)	العرض الاقصى للبلوك (المبنى)
المبانى المدفأة	٩٠	٢٣٠	١٥٠
المبانى غير المدفأة والورشات			
الساحة	٧٥	٢٠٠	١٢٠
الحوامل (المناصب) المفتوحة	٥٠	١٣٠	—

وفى حالة الاعمدة الخرسانية المسلحة السابقة الصنع ، توضع الوصلات التمددية على مسافة لا تقل عن ٦٠ م من بعضها البعض ، اما فى الجدران الذاتية الحمل المقامة من الطوب ، فتتراوح المسافة المذكورة بين ٤٠ — ٦٠ م .

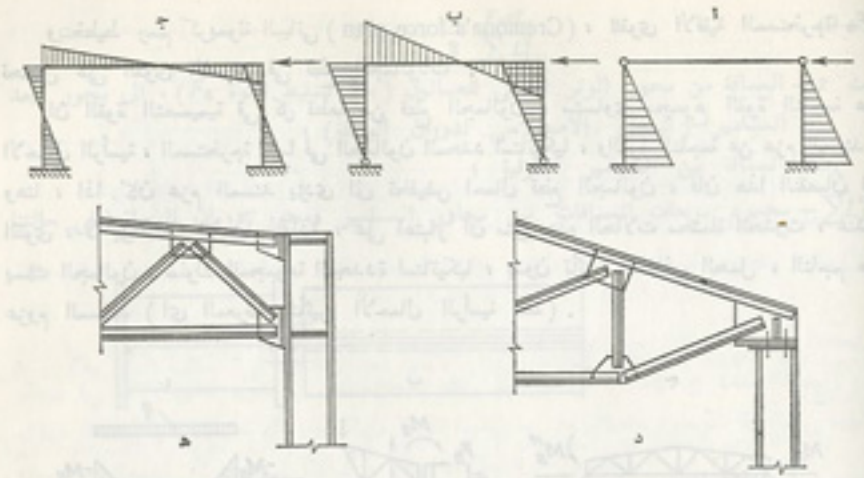
ان احسن طريقة لانجاز الوصلات التمددية فى هياكل المبانى الصناعية ، هى وضع اطر جانبية مزدوجة (على اساس واحد مشترك) ، اى وضع اعمدة مزدوجة فى كل صف من الصفوف ، وجمالونين سقفيين متناظرين ، والى آخره . وبعبارة اخرى ، ان تقوم بتصميم ما يسمى بالقطاعين المنفصلين للمبنى . وفى هذه الحالة ، طبقا للقواعد الاساسية للتوحيد القياسى لتصاميم المبانى الصناعية ، يجب ان ينطبق محور الوصلة التمددية مع المحور التخطيطى ، اما محور الاعمدة فيجب ان يزاح عن محور الوصلة التمددية بمقدار ٥٠٠ مم (شكل ٩ — ١٠) . ان مثل هذا الحل او التصميم ، يساعد على اقامة جدران ، مؤلفة من اجزاء هيكلية قياسية سابقة الصنع . ولكن فى بعض الحالات المعينة ، ونظرا لترتيب وضع المعدات الميكانيكية ، يمكن السماح بانجاز الوصلات التمددية ، بوضع وليجة بين الاطارين المزدوجين . وفى هذه الحالة ، تنطبق محاور الاعمدة مع محاور الصفوف .

ان تصميم الوصلات التمددية ، باستخدام توصيلات القطع الانشائية ، التى تسمح بالحركة فى الاتجاه الطولى (مثلا ، باستخدام الثقوب البيضوية) ، هو امر غير مفضل عليه الى حد كاف ، كما اثبتت التجربة العملية .

البند السادس والاربعون — الاطر الجانبية

١ — الورشات الوحيدة الباع

ان الورشات التى تنتمى الى الورشات الوحيدة الباع هى : ورشات الحدادة ، ورشات التشكيل بالكبس ، ورشات المعاملة الحرارية ، مبانى حفر الصبب ، ساحات قوالب الصب ومبانى الخلاطات وغيرها . وعادة تحتاج مثل هذه الورشات ، الى جسؤة جانبية عالية ، نظرا لضرورة انشاء مدارج اوناش ، ذات جسؤة كافية فى المستوى الافقى . وافضل طريقة لتحقيق هذا الشرط او المطلب ، تتلخص فى جعل التصميم الجانبى للورشة ، على هيئة اطار . ان الاطر تكون على ثلاثة انواع ، وهى : اطر متصلة بمفصلتين واقعتين فى الزوايا (شكل ٩ — ٥ ، أ و د) ؛



شكل (٩ — ٥) الرسوم التخطيطية للاطر المستعرضة

اطر متصلة بمفصلتين واقعتين عند المساند (شكل ٩ — ٥ ، ب) ؛ واطر بدون مفصلات ، اى اطر مثبتة (شكل ٩ — ٥ ، جـ و هـ) .

ويعتبر الاطار المثبت من اكثر انواع الاطر جسؤة واقتصادية ، ولذا فانه النوع الاساسى من القطع الانشائية الجانبية ، المستخدمة فى الهياكل الفولاذية للمبانى الصناعية الوحيدة الباع .

ومن اكثر انواع العتبات الشدادة (العوارض) انتشارا فى الانشاءآت ، هى العتبات التشابكية (الجمالونات) ، لأنها اقل وزنا واكثر جسؤة .

ان الجمالون السقفى ، الذى يعتبر كما ذكرنا سابقا ، قطعة من الاطار فى المبانى الصناعية ذات الاعمدة الفولاذية ، عندما يتطلب ان تكون الجسؤة الجانبية للورشة عالية ، يربط مع الاعمدة بوصلة جاسئة . وعند انجاز مثل هذا التصميم ، تحصل على جمالون مثبت او محصور الاطراف ، الامر الذى يؤدى الى ان يظهر عند المسند ، بالاضافة الى رد فعل الارتكاز ، عزم المسند M_s أيضا (شكل ٩ — ٦ ، أ) . واذا قسمنا عزم المسند M_s على ارتفاع مقطع الجمالون عند المسند h_s ، فسنحصل على القوى الافقية F_h (زوج من القوى) ، التى تؤثر على كل من الجمالون والاعمدة (شكل ٩ — ٦ ، ب) :

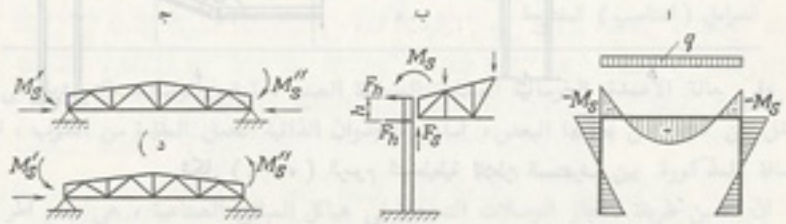
$$F_h = \frac{M_s}{h_s} \qquad (9-1)$$

وتحدد عزوم المساند عند حساب او تصميم الاطار ، بالطرق العامة للميكانيكا الانشائية . وتبعا لاتجاه القوى الافقية F_h ، نرى بأن بعض قطع الجمالون تصبح محملة تحميلا اضافيا ناجما عن هذه القوى (بالاضافة الى الاحمال الرأسية او العمودية) ، بينما تصبح القطع الاخرى غير كاملة التحميل او منخفضة التحميل .

وعادة تحدد القوى فى القطع ، بالنسبة لتأثير مجموعتين من عزوم المساند ، التى تخلق أسوأ ظروف سلوك الاوتار (شكل ٩ — ٦ ، جـ) ولسلوك الاضلاع القطرية (شكل ٩ — ٦ ، د) .

وبتخطيط رسم كريمونة البيانى (Cremona's force plan) ، للقوى الافقية المستخرجة F_h، تحصل على القوى الاضافية فى قطع الجمالونات .

ان القوة التصميمية فى كل قطعة من قطع الجمالون ، ستساوى مجموع القوة الناتجة عن الاحمال الرأسية ، المستخرجة كما فى الجمالون المحدد استاتيكيا ، والقوة الناتجة عن عزم المسند . وهنا ، اذا كان عزم المسند يؤدى الى تخفيض احمال قطع الجمالون ، فان هذا النقصان فى القوى ، لا يؤخذ فى الاعتبار عادة ، على اعتبار ان مثل هذه الحالات محتملة الحدوث ، عندما يسلك الجمالون ، سلوك المجموعة المحددة استاتيكيا ، بدون تأثير انخفاض الحمل ، الناجم عن عزوم المساند (اى المعرضة لتأثير الاحمال الرأسية فقط) .



شكل (٩ — ٦) عزم المسند فى الاطار ذى العارضة التشابكية ، والمجموعات المؤثلة للعزوم التصميمية فى مقاطع مساند الجمالونات

ان ربط الجمالون مع العمود ، يتم باستخدام وصلة جاسئة ، كما مبين فى الشكل (٩ — ٧ ، أ) . ويتم هنا ، فى وصلة المسند السفلى ، انتقال ضغط التحميل F_s والقوة الافقية F_h (الناشئة نتيجة لوجود العزم الزاوى للاطار)، بطريقة مستقلة لكل منهما على حدة . ان لوح التقوية الساند المنجز على هيئة مقطع — I ملحوم ، ينقل ضغط التحميل F_s الى مقعد التحميل (عن طريق السطوح او الجوانب المفرزة) ، ويبرز لوح التحميل ، بمقدار يتراوح بين ١٠ — ٢٠ مم ، لنقل الضغط المذكور بصورة اكثر دقة . ويتراوح ثخن لوح التحميل هنا ، بين ١٦ — ٢٠ مم . ويكون مقعد التحميل المصنوع من عقب زاوية معدنية (angle stub) او لوح ثخين (t = ٣٠ سم) ، الملحوم مع العمود ، اعرض قليلا من لوح التحميل . ان كل لحام من اللحامات الرأسية المستخدمة لربط المقعد مع العمود ، تحسب تبعا لتأثير قوة تساوى $^2/_3 F_s$ ، نظرا لعدم الانتظام المتوقع ، فى عملية نقل الاحمال . والقوى الافقية F_h ، يمكن ان تحدث فى الوصلة انضغاطا وشدا (انفصام الوصلة عن العمود) . ويقاوم الشد فى هذه الحالة ، من قبل المسامير غير المنجزة . ولا تنطبق القوة F_h ، المسلطة فى مستوى محور وتر الجمالون ، عادة ، مع مركز (او محور) الوصلة المربوطة بالمسامير . ويفترض اصطلاحيا ، بان دوران الوصلة الذى يحدث فى هذه الحالة ، يكون حول الخط المار بمحور المسامير ، الاكثر بعدا عن نقطة تاثير او تسليط القوة F_h (بحوالى ٤٠ — ٨٠ مم ، الى اسفل قمة لوح التقوية) .

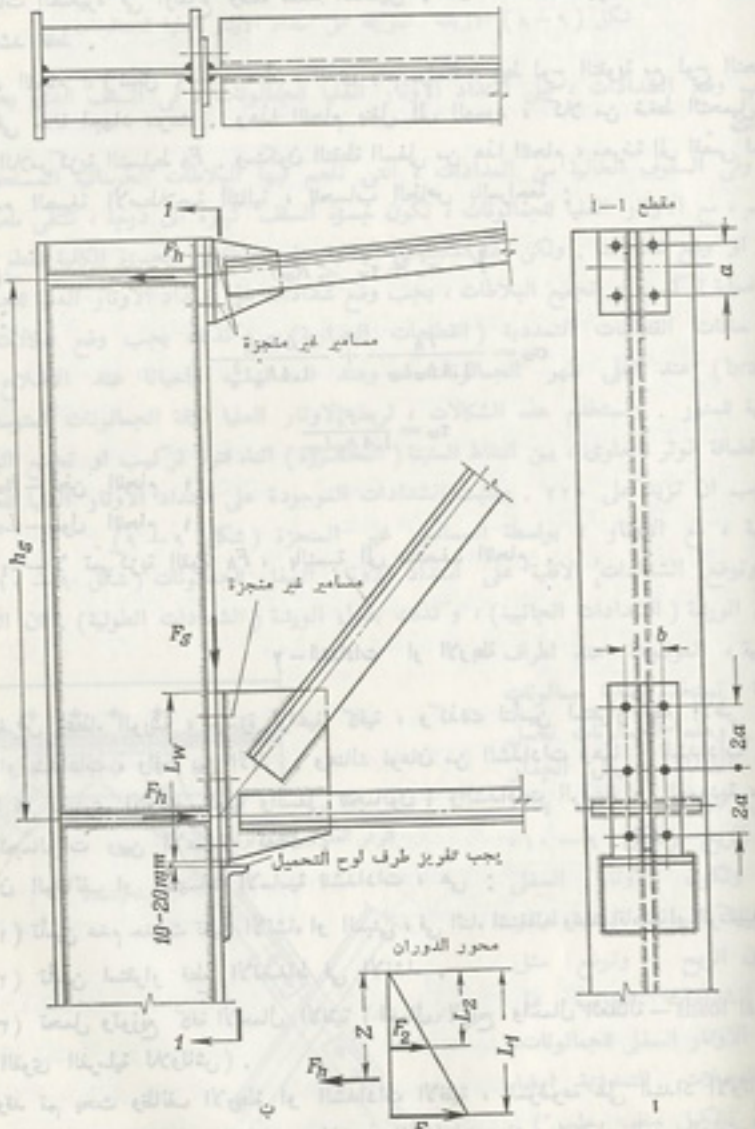
وهنا يتم تحديد القوة التى يتحملها المسمار الاكثر حملا ، الذى يقع فى الاسفل (شكل ٩ — ٧ ، ب) ، بواسطة الصيغة التالية :

$$F_{max} = \frac{1}{2} \frac{F_h z L_1}{\sum L_i^2} \qquad (9-2)$$

حيث z — المسافة من محور الوتر السفلى للجمالون (خط تسليط القوة F_h) ، الى محور ابعد المسامير (المحور الاصطلاحى لدوران الوصلة) ؛

L_1 — المسافة بين المسامير الطرفية ؛

$\sum L_i^2$ — مجموع مربعات المسافات بين محاور المسامير ومحور دوران الوصلة (فى حالتنا



شكل (٩ — ٧) الوصلة (التوصيلة) الجاسئة للجمالون مع العمود

هذه على الرسم التخطيطي :

$$\sum L_i^2 = L_1^2 + L_2^2$$

$\frac{1}{2}$ — معامل يشير الى وجود مسمارين ، في كل صف افقي من صفوف الوصلة .

وتكون ثقوب المسامير في لوح التحميل، اوسع من قطر المسامير بمقدار يتراوح بين ٣ — ٤ مم ، وذلك لكي لا تشترك المسامير في تحمل رد فعل الارتكاز ، في حالة حدوث بعض الانحرافات الصغيرة في ارتفاع وصلة مقعد التحميل . فان هذه المسامير مخصصة للتشغيل في حالة الشد فقط .

ان اللحام c (شكل ٩ — ٧ ، أ) ، الذي يتم بواسطته ربط لوح التقوية مع لوح التحميل ، يكون في حالة اجهاد موحد . وهذا اللحام ينقل الى العمود ، كلا من ضغط التحميل F_s ، والقوة اللامركزية التسليط F_Λ . وستكون النقطة السفلى من هذا اللحام ، معرضة الى اقصى اجهاد . وتستخدم الصيغة الاصطلاحية التالية ، للحساب الخاص بالمراجعة :

$$\sqrt{\sigma_w^2 + \tau_w^2} < R_{w.l} \qquad (9-3)$$

وهنا :

$$\sigma_w = \frac{F_\Lambda}{1.4\, h_w L_w} + \frac{6 F_\Lambda e_1}{1.4\, h_w L_w^2}$$

$$\tau_w = \frac{F_s}{1.4\, h_w L_w}$$

حيث h_w — ثخن اللحام ؛

L_w — طول اللحام ؛

e_1 — لا تمركزية القوة F_Λ ، بالنسبة الى منتصف اللحام .

٢ — الشدادات او الاربطة

لغرض اعطاء الورشة ، جسؤة فراغية كافية ، وكذلك لتأمين استقرار قطع الاطر ، توضع اربطة او شدادات ، واقعة بين الاطر . وهناك نوعان من الشدادات وهما : الشدادات الافقية ، الواقعة في مستوى الاوتار العليا والسفلى للجمالون ؛ والشدادات الراسية او العمودية ، الواقعة بين الجمالونات وبين الاعمدة كذلك .

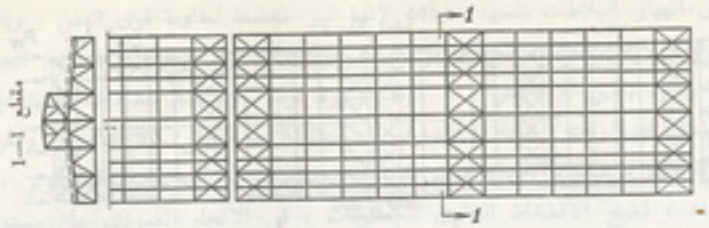
ان الوظائف او المهمات الاساسية للشدادات ، هي :

١) تأمين عدم حدوث تغير الانشاء او المبنى ، في اثناء اشتغاله وعند اقامته او تركيبه ايضا .

٢) تأمين استقرار قطع الانضغاط في الانشاء .

٣) تحمل وتوزيع كافة الاحمال الافقية (احمال الريح واحمال العطالة — inertial loads ، مثل القوى الفرسلية للاوناش) .

وقد تم بحث وظائف الاربطة او الشدادات الافقية ، الموضوعة على امتداد الاوتار العليا للجمالونات ، في البند السابع والثلاثين . ان هذه الشدادات ، تؤمن استقرار الوتر العلوي للجمالون في المستوى العمودي على مستوى الجمالون . ويبين الشكل (٩ — ٨) ، احد الامثلة التي تبين

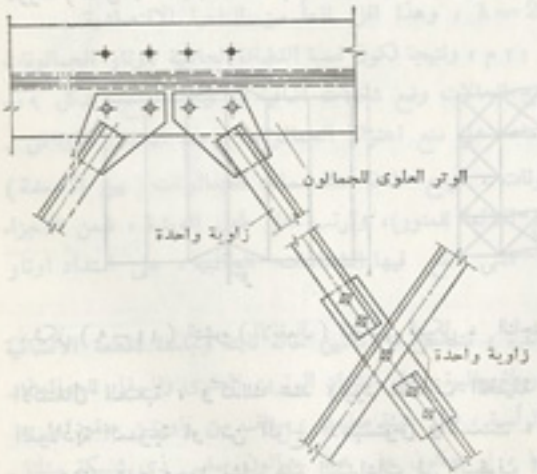


شكل (٩ — ٨) الاربطة الموزعة على امتداد الاوتار العليا للجمالونات

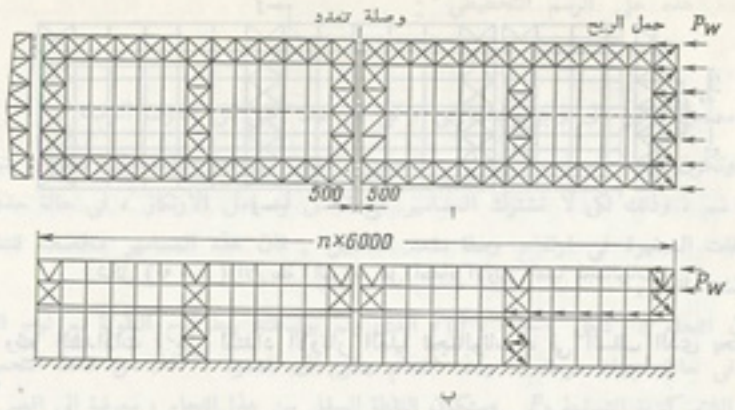
ترتيب وضع الشدادات ، على امتداد الاوتار العليا للجمالونات ، في السقف الذي يحتوي على مدادات .

وفي السقوف الخالية من المدادات ، التي تلحم فيها البلاطات الخرسانية المسلحة الكبيرة الحجم ، مع الاوتار العليا للجمالونات ، تكون جسؤة السقف كبيرة الى درجة ، تنتفي معها ضرورة انشاء او وضع شدادات . ولكن اذا اخذنا في الاعتبار ضرورة تامين الجسؤة الكافية للقطع الانشائية اثناء عملية تركيب او تجميع البلاطات ، يجب وضع شدادات على امتداد الاوتار العليا للجمالونات ، عند حافات القطاعات التمددية (القطاعات الحرارية) ، وكذلك يجب وضع شكالات تكتيف (braces) عند اعلى ظهر الجمالونات ، وعند المسائد ، واحيانا عند الاضلاع القائمة الطرفية للمنور . وتستخدم هذه الشكالات ، لربط الاوتار العليا لكافة الجمالونات المتوسطة . ان نسبة قضافة الوتر العلوي ، بين النقاط المثبتة (المحصورة) اثناء فترة تركيب او تجميع البلاطات ، لا يجب ان تزيد على ٢٢٠ . وتثبت الشدادات الموجودة على امتداد الاوتار العليا للجمالونات السقفية ، مع الاوتار ، بواسطة المسامير غير المنجزة (شكل ٩ — ٩) .

وتوضع الشدادات الافقية على امتداد الاوتار السفلى للجمالونات (شكل ٩ — ١٠ ، أ) ، بعرض الورشة (الشدادات الجانبية) ، وكذلك بطول الورشة (الشدادات الطولية) . ان الشدادات الجانبية ، الموضوعة عند اطراف الورشة ، تستخدم بمثابة جمالونات الريح . وهذه الجمالونات تحمل قوائم انضغاط هيكل الجدار الطرفي للورشة ، الذي يقاوم ضغط الريح (شكل ٩ — ١٠ ، أ) . وتكون الاوتار السفلى للجمالونات السقفية ، بمثابة اوتار لجمالون الريح . وتوضع مثل هذه الشدادات الجانبية على امتداد الاوتار السفلى للجمالونات، عند الوصلات التمددية ايضا (لغرض تشكيل سقف جاسئ) . وعندما يكون طول القطاع او



شكل (٩ — ٩) تثبيت الاربطة مع الوتر العلوي للجمالون

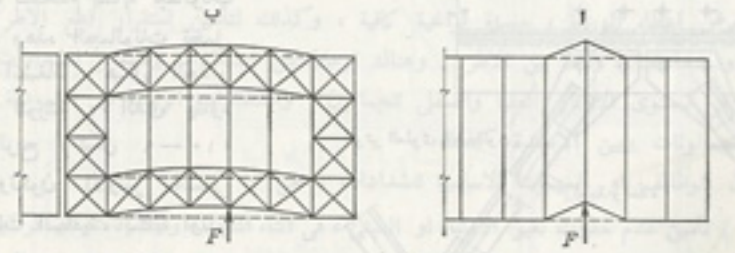


شكل (٩ – ١٠) الاربطة الموزعة على الاوتار السفلى للجمالون وبين الاعمدة

البلوك الحرارى كبيرا، توضع الشدادات الجانبية ايضا، فى القسم الوسطى للقطاع (شكل ٩ – ١٠ ، أ) ، بحيث لا تزيد المسافة بين الشدادات الجانبية ، على ٥٠ – ٦٠ م تقريبا . ويجب عمل ذلك ، لأن الشدادات تربط مع الجمالونات فى اغلب الاحيان ، بواسطة المسامير غير المتجزة ، التى تسمح بحدوث ازاحات كبيرة ، الامر الذى يجعل تأثير الشدادات ، لا يمتد الى مسافات بعيدة .

وعندما تبلغ خطوة الجمالونات ١٢ م ، تنشأ الجمالونات الافقية الشدادة (الرابطة) ، بعرض قدره ٦ م ، وترتب على الشكلات ، المربوطة عند وصلات الجمالونات السفلية .

ان الشدادات الطولية الافقية ، على امتداد الاوتار السفلى للجمالونات ، تصمم بالدرجة الاساسية ، لغرض جعل الاطر المجاورة تشارك فى المقاومة الفراغية للاحمال ، عند تأثير الاحمال الموضعية ، مثل احمال الونش . وهذا ما يقلل من تشوهات الاطار ويزيد من الجسؤة الجانبية للورشة (شكل ٩ – ١١ ، أ ، ب) . وهناك اهمية خاصة للشدادات الطولية فى الورشات ذات ظروف



شكل (٩ – ١١) التشوه (الانفعال) الجانبى للهيكل ، الناجم عن تأثير الحمل الموضعى (حمل الونش)

الاشتغال الصعبة ، وكذلك عند وجود السقوف الخفيفة وغير الجاسئة (المصنوعة من الالواح الفولاذية المموجة او من الواح الاسبستوس والاسمنت ، وغيرها) .

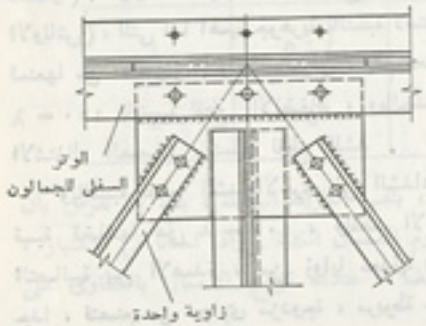
وعند عدم وجود مثل هذه الشدادات فى السقوف الجاسئة ، توزع احمال الونش الافقية ، من قبل البلاطات الخرسانية المسلحة الكبيرة الحجم ، الامر الذى قد يؤدى الى انهيار السقف ،

واحيانا الى انهيار البلاطات نفسها ، وذلك لأنها غير مصممة لمقاومة قوى القص . وبالاضافة الى ذلك ، يمكن فى هذا الحالة ، ان تتصدع الوصلة الملحومة ، التى تربط البلاطات مع الجمالونات .

وعند وجود باعين او اكثر ، لا توجد ضرورة لوضع او انشاء شدادات طولية على امتداد الاوتار السفلى للجمالونات ، بمحاذاة الصفوف المتوسطة للاعمدة ، فى كلا الباعين . ولكن عندئذ ، يجب تقوية الجزء الهيكلى الاول للوتر السفلى ، بشكلات ، وذلك لكى يمكن للوتر ، ان يقوم مقام المسنده ، لضلع الانضغاط القطرى للجمالونات ، فى الاتجاه العمودى على مستواه .

وفى المبانى ذات ظروف الاشتغال الصعبة ، يجب لحام الشدادات مع الوتر السفلى (شكل ٩ – ١٢) ؛ وفى بقية الحالات ، يكفى ربطها بواسطة المسامير غير المتجزة .

وللجمالونات الشدادة ، تستخدم عادة شبيكة تصالبية ، باعتبار انه عند تأثير الاحمال من احدى الجهات غير المعينة ، فانها ستقاوم من قبل مجموعة اضلاع الشد القطرية فقط ، اما بقية الاضلاع القطرية (اضلاع الانضغاط) ، فانها لا تشترك فى مقاومة الاحمال المذكورة . وتصح هذه الفرضية ، اذا كانت الاضلاع القطرية قضيفة ($\lambda > 200$) . ولهذا السبب، تصمم قطع الشدادات التصالبية عادة ، من زوايا منفردة . وعند مراجعة نسبة قضافة اضلاع الشد القطرية المتصالبة للشدادات ، المنتجة من زوايا منفردة ، يؤخذ نصف قطر الحركة التدويمية للزاوية ، بالنسبة للمحور الموازى لساق (شفة) الزاوية . وعندما تكون شبيكة الجمالونات الشدادة ، مثلثة الشكل ، يمكن ان تظهر اجهادات الانضغاط فى جميع الاضلاع القطرية ، ولهذا يجب ان تصمم هذه الاضلاع ، بنسبة قضافة قدرها : $\lambda = 200$ ، وهذا اقل نفعا من الناحية الاقتصادية .



شكل (٩–١٢) تثبيت الاربطة مع الوتر السفل للجمالونات

وفى الابواع التى يزيد طولها على ٢٤ م ، ونتيجة لكون نسبة القضافة الجانبية لأوتار الجمالونات السفلى ، محدودة ، يتحتم فى كثير من الحالات وضع شكلات اضافية فى وسط الباع (شكل ٩ – ١٠ ، أ). وهذه الشكلات الاضافية، تساعد على منع اهتزاز الجمالونات ، عند اشتغال الاوناش .

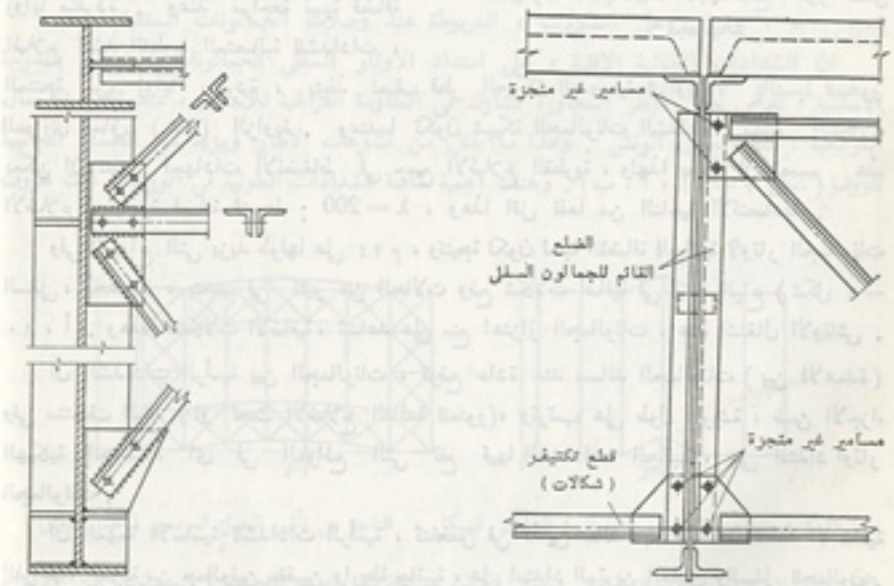
ان الشدادات الرأسية بين الجمالونات ، توضع عادة عند مساند الجمالونات (بين الاعمدة) وفى منتصف الباع (او تحت الاضلاع القائمة للمنور)، وترتب على طول الورشة ، ضمن الاجزاء الهيكلية الجاسئة ، اى فى المواضع التى تقع فيها الشدادات الجانبية ، على امتداد اوتار الجمالونات .

ان المهمة الاساسية للشدادات الرأسية ، تتلخص فى تأمين حالة ثابتة وجاسئة للقطعة الانشائية الفراغية، المؤلفة من جمالونين سقفيين واربطة جانبية ، على امتداد الوترين العلوى والسفلى للجمالون . ويكون تصميم الاربطة او الشدادات الرأسية ، على هيئة صليب ، مؤلف من زاويتين منفردتين ، بالاضافة الى وجود قطعة افقية قافلة دائما ، او يكون على هيئة جمالون صغير ذى شبيكة مثلثة . ويتم ربط الشدادة الراسية مع الجمالون السقفى ، بواسطة المسامير غير المتجزة (شكل ٩ – ١٣) .

ونظرا لقلة الاجهادات ، المؤثرة فى قطع شدادات السقف، يمكن السماح بوجود لا تمركزية طفيفة ، عند تصميم وصلاتها .

ان الشدادات الراسية بين الاعمدة ، توضع على امتداد الورشة ، لتأمين استقرار الورشة فى الاتجاه الطولى ، وكذلك لمقاومة تأثير القوى الفرسلية الطولية وضغط الريح ، على جانب المبنى (شكل ٩ — ١٠ ، ب) . ان الاطر المثبتة تماما فى الاسس ، فى الاتجاه الجانبى ، تعتبر مجموعة ثابتة او غير متغيرة ؛ اما فى الاتجاه الطولى ، فان بعض الاطر المربوطة مفصليا بواسطة عوارض الونش ، تمثل مجموعة متغيرة او غير ثابتة ، يمكن ان تنهار او تتداعى ، عند عدم وجود شدادات رأسية بين الاعمدة (يجب اعتبار مساند الاعمدة فى الاتجاه الطولى ، بمثابة مساند مفصلية) . ولهذا السبب ، فان قطع الشدادات الموجودة بين الاعمدة (الى اسفل عوارض الاوناش) ، التى لها اهمية جوهرية بالنسبة لاستقرار المبنى بأجمعه ، تكون جاسئة الى درجة كافية ، لمنعها من الاهتزاز . ولهذا الغرض ، يتم تحديد نسبة القضافة القصوى لمثل هذه القطع بالمقدار $\lambda = ١٥٠$ بالنسبة لقطع الانضغاط ، وبالمقدار $\lambda = ٣٠٠$ و ٢٠٠ (فى المبانى ات ظروف الاشتغال الصعبة) بالنسبة لقطع الشد .

وبالنسبة لقطع الشد الاخرى فى الشدادات الموجودة بين الاعمدة ، يجب ان لا تزيد نسبة قضافتها على $\lambda = ٤٠٠$ ، ولقطع الانضغاط $\lambda = ٢٠٠$. وعادة تصنع قطع الشدادات التصالبية بين الاعمدة ، من زوايا معدنية (شكل ٩ — ١٤) . اما الشدادات التصالبية النقيلة جدا ، فتصنع من مجارى مزدوجة ، مربوطة مع بعضها بشبكة او بشرائح معدنية .



شكل (٩-١٣) تثبيت الاربطة الرأسية مع الجمالون السفلى

شكل (٩ — ١٤) تصميم الاربطة الرأسية وربطها مع العمود

وعند تحديد نسبة قضافة القطع المتصالبة او المتقاطعة (فى الشبيكة التصالبية) ، يؤخذ طولها الفعال فى مستوى الشبيكة ، ابتداء من مركز الوصلة الى نقطة تقاطعها ، اما الطول الفعال للقطع ، فى المستوى العمودى على مستوى الشبيكة ، فيؤخذ من الجدول (٩ — ٢) .

جدول ٩ — ٢

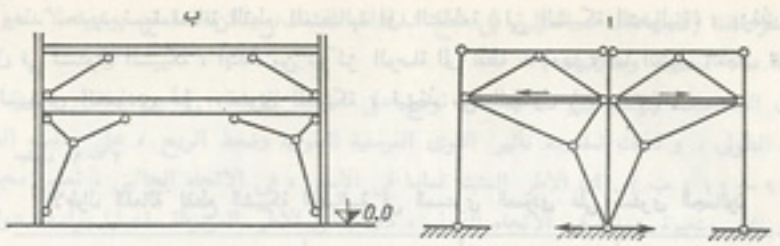
الاطوال الفعالة لقطع الشبيكة التصالبية فى المستوى العمودى على مستوى الجمالون

طبيعة وصلة تقاطع قطع الشبيكة	عند وجود الشد فى القطعة الساندة	عند عطالة القطعة الساندة	عند وجود الانضغاط فى القطعة الساندة
القطعتان متواصلتان	0.5 L	0.7 L	L
تقطع القطعة الساندة ، وتتصل بلوح تقوية	0.7 L	L	L

وعادة يتم حساب الشدادات التصالبية الرأسية ، بنفس الطريقة السابقة ، بعد ان نفرض بان قطع الشد (القطع المشدودة) وحدها ، هى التى تقاوم الاحمال الكلية . واذا اخذنا فى الاعتبار ، سلوك قطع الشبيكة التصالبية فى حالة الانضغاط ايضا ، عندئذ توزع الاحمال بالتساوى على الاضلاع القطرية .

ولضمان حرية التمدد الطولى او التقلص للهيكل ، عند تغير درجات الحرارة ، يكون من الافضل عمليا ، وضع الشدادات الرأسية بين الاعمدة ، فى وسط البلوك الحرارى او بالقرب منه (شكل ٩ — ١٠ ، ب) . ولكن بما ان تركيب الانشاء او المبنى ، يبدأ عادة من الاطراف ، يكون من المستحسن ربط العمودين الاوايين فى اطار ، بطريقة تجعلهما مستقرين تماما . وهذا يجعلنا نصمم الشدادات ، بالطريقة المبينة فى الشكل (٩ — ١٠ ، ب) ، اى ان نضع الشدادات فى حدود القسم العلوى من العمود ، فى الاجزاء الهيكلية الطرفية . ان مثل هذه الشدادات ، تسمح بحدوث تشوه الانحناء فى الاقسام السفلى للاعمدة ، عند تغير درجات الحرارة . وفى نفس الوقت ، يقوم احد الاضلاع القطرية ، المشدود نتيجة لتعرضه لحمل الريح ، بنقل هذه القوى الى عارضة الونش . اما الطريق التالى ، الذى تسلكه قوى حمل الريح ، فنراه موضحا فى الشكل (٩ — ١٠ ، ب) ؛ حيث تنتقل هذه القوى الى الارض ، عن طريق عوارض الونش الجاسئة والشدادات المتوسطة التى توصلها الى الارض . ومن المستحسن اختيار مخطط للشدادات ، تكون فيه الشدادات متصلة مع الاعمدة بزاوية قريبة من ٤٥° (شكل ٩ — ١٤) . وبخلاف ذلك ، تصبح الواح التقوية ممطوطة جدا وثقيلة .

واذا لم تسمح الشروط التكنولوجية ، باستخدام اى باع استخدامًا كليا ، لوضع الشدادات فيه ، وكذلك عند وجود خطوات كبيرة للاعمدة ، عندئذ تنشأ وتستخدم شدادات اطارية (شكل ٩ — ١٥) ؛ وفى هذه الحالة ، يفترض بأنه عند تسليط الاحمال من جهة واحدة ، تقوم شدادات ركن واحد فقط ، بمقاومة الشد ، بينما تكون قطع الركن الآخر عاطلة او خاسلة ، نظرا لنسبة قضافتها المرتفعة ($\lambda = ٢٠٠$ الى ٢٥٠) . وعند سلوك القطعة الانشائية بهذا الشكل ، نحصل على « عقد بثلاث مفصلات » .



شكل (٩ – ١٥) الاربطة الرأسية للاطر :
أ – عندما تساوى خطوة الاعمدة ٦ م ، ب – عندما تساوى خطوة الاعمدة ١٢ م واكثر .

ان الشدادات الرأسية بين الاعمدة ، توضع فى المواضع التالية : اسفل عارضة الونش فى مستوى مدرجة الونش ، وفوق عارضة الونش على امتداد محور مقطع العمود .

وترتبط قطع الشدادات مع الاعمدة ، بواسطة المسامير غير المنجزة ؛ وفى المبانى ذات ظروف الاشتغال الصعبة ، يجب ان تربط الشدادات الموضوعة تحت عوارض الونش ، مع الاعمدة ، بواسطة اللحام (شكل ٩ – ١٤) .

٣ – الورشات المتعددة الابواع

ان اختيار المقطع العرضى للورشات المتعددة الابواع ، لا يعتمد على الابعاد الاجمالية المطلوبة للورشة ، وعلى ابعاد (حجم) الاوناش الرحالة فحسب ، بل ويعتمد ايضا على عدد من المتطلبات الانشائية العامة ، وبالدرجة الاولى على طريقة تصريف المياه من السطح ، وعلى نظام اضاءة الابواع او المجازات المتوسطة . ان نظام تصريف المياه ، قد يكون خارجيا او داخليا . وتنشأ قنوات تصريف المياه الخارجية ، فى الورشات الضيقة ، وكذلك فى الورشات الساخنة غير المدفأة ذات اسقف غير العازل للحرارة . ان العرض الاقصى للمبنى ذى السقف المزدوج الميل ، والمحتوى على قنوات خارجية لتصريف المياه ، يساوى ٦٠ م بالنسبة للمبانى المدفأة ، و ١٠٠ م بالنسبة للمبانى غير المدفأة .

وفى المبانى المتعددة الابواع العريضة ، تكون قنوات تصريف المياه داخلية (تصرف المياه بواسطة المواسير الى شبكة تصريف المياه الداخلية) .

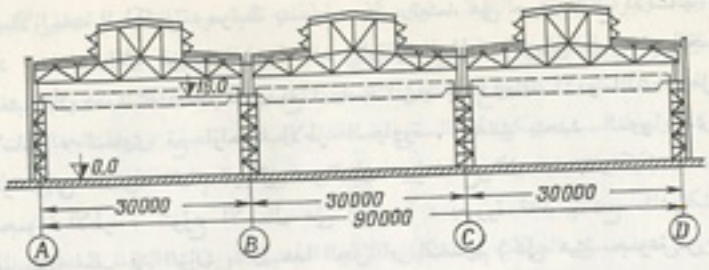
ويبين الشكل (٩ – ١٦) مثالا لاحد المبانى المتعددة الابواع ، ويحتوى على قنوات داخلية لتصريف المياه ، ومناور للاضاءة .

ويجب ان نحاول جعل تصميم مقطع الورشات المتعددة الابواع ، ابسط ما يمكن (بدون اية تغيرات فى الارتفاع) ، وان نستخدم اكبر عدد ممكن من القطع الانشائية المتماثلة .

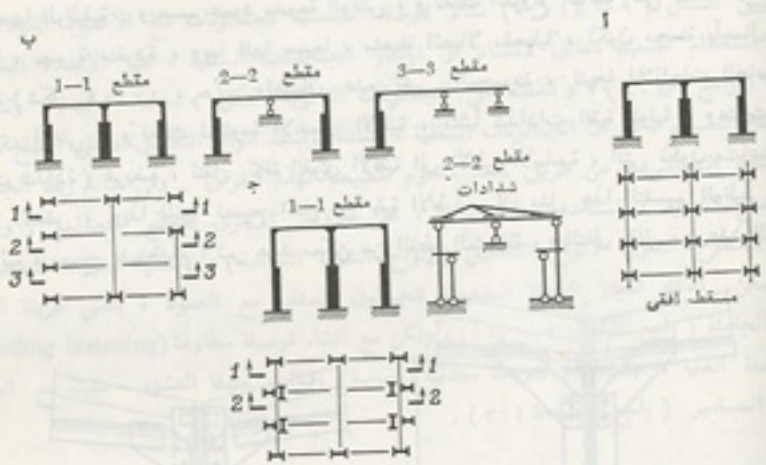
وعند الضرورة ، يمكن ان نسمح بوجود تغيرات فى الارتفاع ، لا تقل عن ٢ م .

ان الورشات الثنائية الابواع ، الثقيلة ، تتميز عن الورشات الخفيفة ، بكونها تحتاج الى جسؤة جانبية كبيرة ، يمكن توفيرها بانشاء مجموعات اطارية جاسئة .

ويمكن تقسيم المخططات التصميمية المختلفة للقطع الجانبية لمثل هذه الورشات ، الى قسمين او مجموعتين اساسيتين . وتتألف المخططات التصميمية للمجموعة الاولى من عدد من الاطر الموضوعة



شكل (٩ – ١٦) ورشة متعددة الابواع



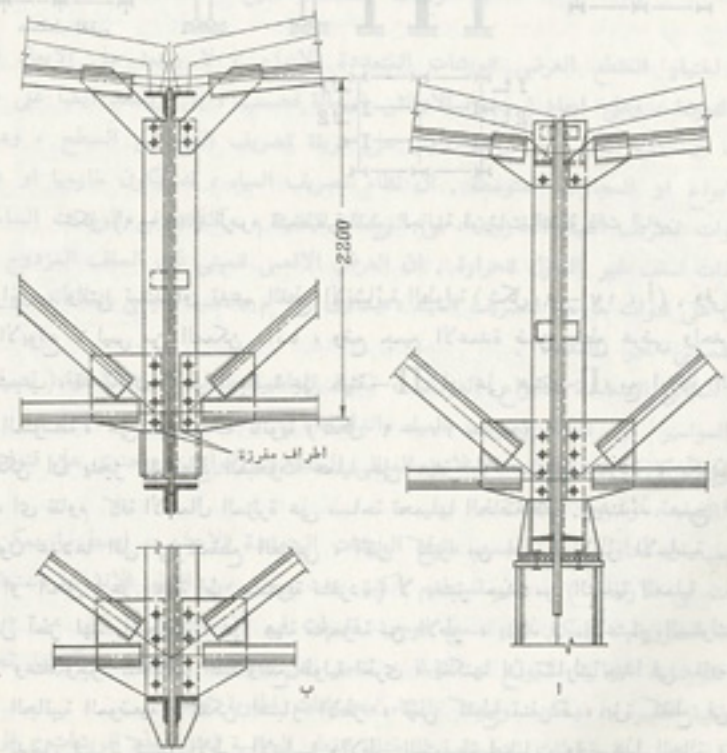
شكل (٩ – ١٧) الرسوم التخطيطية للقطع الجانبية للورشات الثقيلة ذات الباعين

على التوازى ، والتى تسند او تدعم القطع الانشائية الطولية (شكل ٩ – ١٧ ، أ) . وفى الورشات الثنائية الابواع ، ليس من الممكن دائما ، وضع جميع الاعمدة ضمن مقطع عرضى واحد للورشة ، ولهذا السبب ، قد تكون الاطر الجانبية على هيئة – Π، او على هيئة – Γ، مع ارتكاز الجمالونات السقفية المتوسطة ، على جمالونات ثانوية (شكل ٩ – ١٧ ، ب) .

ويمكن ان ينجز المخطط المبحوث عمليا على هيئة اطر مستوية منفردة ، يكون سلوكها مستقلا ، اى تقاوم كافة الاحمال المؤثرة على مساحة تحميلها الخاصة فقط . وعندئذ تصبح الاعمدة ، التى يكون عددها اقل فى المقطع العرضى ، اثقل كثيرا من اعمدة الاطر الاساسية . ان هذا الانجاز او الحل (على هيئة اطر مستوية منفردة) لا يعتبر جيدا من الناحية العملية . وفى حالة اتخاذ حل آخر لهذا المخطط ، على هيئة مجموعة من الاطر ، يؤخذ فى الاعتبار السلوك الفراغى للهيكل . وعند وجود شدادات افقية وقطع طولية اخرى ، يمكنها ان تشارك جيدا فى مقاومة الهيكل للاحمال الجانبية الموضعية ، يمكن اعتبار الاطر ، ليس كقطع منفردة ، بل كقطع فى مجموعة فراغية ، تدخل فى تركيبها الاطر الاساسية والاطر المتوسطة ايضا . وفى هذا الحالة ، سوف لا تكون ازاحات الاطر فى مستوى القطع الطولية التى تربطها ، غير معتمدة على بعضها البعض ،

بل ستكون الازاحات المذكورة ، مرتبطة بنسب معينة ، تعتمد على جسؤة القطع الانشائية الطولية . وعند وجود شدادات افقية عريضة، على امتداد الاوتار السفلى ، مربوطة جيدا مع الجمالونات ، يمكن ان تعتبر بأن هذه الشدادات، تكون مع السقف، انشاء جاسئا للغاية، الامر الذى يجعل ازاحات الاطار الاساسى ، تتساوى مع ازاحات الاطر المجاورة . وبذلك يتحدد الدور الذى يشارك به كل اطار ، فى السلوك العام للهيكل ، وبالتالى دور مقطع الاعمدة . وهكذا ، فعند العمل الموحد لمجموعة الاطر ، تتوزع الاحمال على الاعمدة ، بصورة تتناسب مع مقادير جسؤتها ، وتكون تصاميمها اخف فى الوزن . ان هذا الحل او التصميم (على هيئة مجموعة من الاطر) ، هو اكثر جودة من الناحية العملية .

ان حقيقة مخططات المجموعة الثانية ، تتلخص فى ان تصاميم الهيكل فيها ، مقسمة تبعا لخصائصها الوظيفية . ويصمم عمود مدرجة الونش ، وكذلك الفروع القائمة التى تسند الجمالونات السقفية ، بصورة منفردة ، وبما انها جميعا ، متصلة اتصالا مفصليا ، تكون محملة بأحمال رأسية محورية (شكل ٩ — ١٧ ، حـ) . ولضمان عدم تغير المجموعة ، نتيجة للازاحات الحاصلة فى المستوى الافقى ، وكذلك لمقاومة الاحمال الافقية ، تنشأ شدادات افقية طولية ، وعتبات فرملة (عتبات شدادة) عريضة ، تنقل كافة القوى الافقية الى الاطر الاساسية ، التى تكون متباعدة عن بعضها البعض ، وبذا فانها تصبح اثقل من بقية الاطر . ان مثل هذا التقسيم الوظيفى للقطع الانشائية ، يسمح باستخدام اكبر عدد ممكن من القطع المتماثلة ، وبالتالى يقلل من عدد الماركات



شكل (٩ — ١٨) الوصلة المفصلية للجمالونات مع الاعمدة

المختلفة. وعند وجود الاوناش الثقيلة ، نرى بأن مخططات المجموعة الثانية ، تجعل كمية الفولاذ المستهلك تقل بعض الشئ ، عما هى عليه فى مخططات المجموعة الاولى .

وفى الورشات المتعددة الابواع ، تؤمن الجسؤة الافقية بالدرجة الاساسية ، بواسطة عدة صفوف من الاعمدة ، ولهذا السبب يمكن هنا السماح باستخدام وصلات مفصلية ، لربط الجمالونات الشدادة مع الاعمدة . ولهذا السبب يمكن هنا استخدام الجمالونات السقفية القياسية ، على نطاق واسع (راجع الشكل ٧ — ١٤) .

ويمكن فى عدد من الحالات ، تشكيل الاطر الجانبية للورشات الثقيلة المتعددة الابواع ، بانشاء وصلات اطارية ثابتة (جاسئة) ، على امتداد الصفوف الطرفية للاعمدة فقط ، وبانشاء وصلات مفصلية على امتداد الصفوف المتوسطة للاعمدة .

ويبين الشكل (٩ — ١٨ ، أ) مثالا للوصلة المفصلية للجمالونات مع الاعمدة الفولاذية . ويمكن استخدام تصميم مماثل لاستناد او ارتكاز الجمالونات السقفية ، على الاعمدة الخرسانية المسلحة (راجع ص ...) ، وكذلك على الجمالونات الثانوية (شكل ٩ — ١٨ ، ب) . وتتلخص فكرة هذا التصميم ، فى ان الجمالونات السقفية ، تستند بواسطة الواح التحميل ، على الضلع القائم ذى المقطع التصالبى ، عن طريق مقعد ملحوم خصيصا لهذا الغرض . وفى حالة ربط الجمالون الثانوى مع العمود ، تستخدم وصلة مماثلة ، على الاوتار الاخرى للمقطع التصالبى . ويجب مراجعة السطوح المفرزة لالواح التحميل (الواح التقوية الساندة) ، بالنسبة لمقاومة التهصر .

ويمكن كذلك انجاز الوصلة المفصلية للجمالون السقفى مع العمود ، بنفس طريقة انجاز الوصلة الجاسئة (راجع الشكل ٩ — ٧، أ) ، ولكن مع انشاء توصيلة مطاوعة (yielding fastening) فى الوصلة العليا ، باستخدام شريحة معدنية (خوصة) رقيقة ، سهلة التشوه ، مثبتة مع العمود بواسطة المسامير (راجع الصفحة ٣٦٤) .

البند السابع والاربعون — خصائص حساب الاطر الجانبية

١ — احمال التصميم

ان الاطر العرضية للمبانى الصناعية ، تحسب تبعا لتأثير الاحمال التالية :

١) احمال قطع التسقيف والقطع الانشائية للسقف .

٢) حمل الثلج .

٣) الاحمال الساكنة للجدران او وزن الجدران (عند استناد او ارتكاز الجدران على الهيكل) .

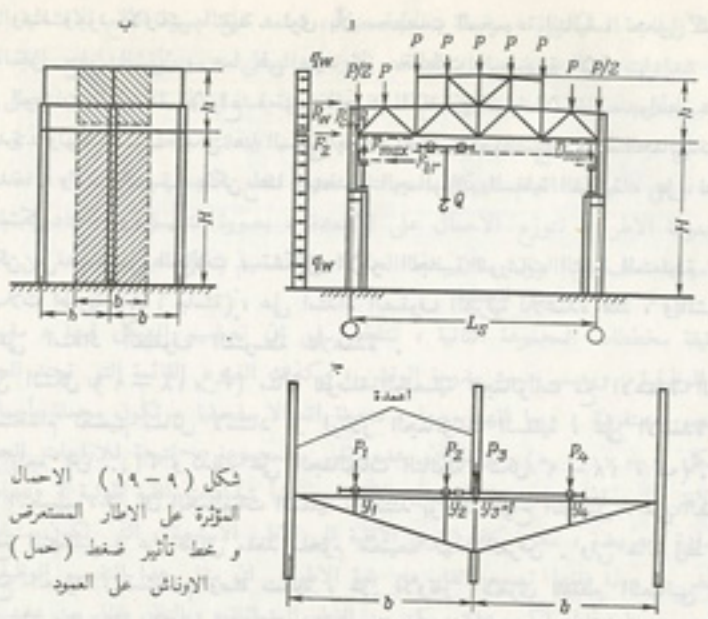
٤) احمال الونش (ضغوط الونش) الرأسية والافقية .

٥) حمل الريح (ضغط الريح) المؤثر على جدران ومناور المبنى .

وتدخل الاحمال الاربعة الاولى ضمن المجموعة الاساسية للاحمال ، عند وجود اوناش ذات ظروف اشتغال صعبة . وعند وجود اوناش ذات ظروف اشتغال سهلة ومتوسطة ، يدخل ضمن المجموعة الاساسية للاحمال ، اما حمل الونش او حمل الثلج .

ويدخل حمل الريح ، ضمن المجموعة الاضافية للاحمال .

وينتقل وزن قطع التسقيف والقطع الانشائية للسقف ، سوية مع حمل الثلج ، الى العمود على هيئة ضغط تحميل الجمالون P_t (شكل ٩ — ١٩ ، أ) ، المسلط على القسم العلوى للعمود ،



شكل (٩ — ١٩) الاحمال المؤثرة على الاطار المستعرض و خط تأثير ضغط (حمل) الاوناش على العمود

بصورة لا تمركزية . وبالاضافة الى ذلك ، يرتكز او يستند على القسم العلوى للعمود ايضا ، استنادا لا تمركزيا ، ذلك الجزء من الجدار ، الذى تنتقل الاحمال الناجمة عنه ، عن طريق الهيكل الجدارى ، على هيئة قوى مركزة مستقلة P_c .

وتحدد احمال التصميم الرأسية للاوناش ، المؤثرة على عمود واحد ، بأن نضيف الى خط تأثير الحمل المناظر ، الحمل الناجم عن عجلات الونش P الذى يؤخذ وفقا للمواصفات القياسية للاوناش (شكل ٩ — ١٩ ، حـ) . وكما ذكرنا سابقا ، يجرى الحساب عادة ، بالنسبة لونشين ، ويحدد الضغط الاكبر والضغط الاصغر ، المؤثرين على كل عمود من الاعمدة ، من الصيغة التالية :

$$\left.\begin{aligned} F_{max} &= n \sum P_{max} y \\ F_{min} &= n \sum P_{min} y \end{aligned}\right\} \qquad (9—4)$$

حيث $n = 1{,}2$ — تمثل عامل التحميل لاحمال الونش ؛

y — احداثيات خط تاثير الاحمال (شكل ٩ — ١٩ ، حـ) ؛

P_{max} — الحمل الاقصى المؤثر على عجلة الونش (وفقا للمواصفات القياسية) ؛

P_{min} — الحمل الاصغر المؤثر على عجلة الونش ، ويحدد من الصيغة التالية :

$$P_{min} = \frac{Q+G}{0.5\,N_{cw}} - P_{max} \qquad (9—5)$$

حيث Q — سعة الرفع الخاصة بالونش ؛

G — الوزن الاجمالى للونش مع العربة ؛

N_{cw} — العدد الكلى لعجلات الونش .

ولتحديد تأثير الفرملة الجانبية للاوناش على الاطار ، يجب قبل كل شئ حساب القوة المسلطة على كل عجلة من عجلات الونش ، كما يلى :

$$F_{br.cw} = \frac{Q+g}{20\,N_1} \qquad (9—6)$$

حيث g — وزن عربة الونش ؛

N_1 — عدد عجلات كل ونش ، فى جانب واحد .

ان مجموع القوى الفرملية ، المؤثرة على الاطار ، يحدد ، بنفس الطريقة المتبعة لتحديد الاحمال (الضغوط) الرأسية ، وباستخدام نفس خط التأثير بالذات :

$$F_{br} = N \sum F_{br.cw} y$$

ان القوة الفرملية الجانبية F_{br} ، تنتقل الى عمود واحد فقط من اعمدة الاطار ، ويمكن ان تكون متجهة الى اية جهة كانت .

وتحدد القوة الفرملة الطولية، المنتقلة الى الشدادات الرأسية بين الاعمدة، من الصيغة التالية:

$$F_{br.l} = 0.1\; nP_{max} N_{br}$$

حيث N_{br} — عدد عجلات الفرملة المؤثرة على عارضة واحدة (ويساوى نصف العدد الكلى للعجلات المؤثرة على العارضة) .

ويؤخذ حمل الريح ، وفقا للمواصفات القياسية للبناء ، على فرض انه يؤثر مثل تأثير الحمل الموزع بانتظام :

$$q_w = nq_r C_a b \qquad (9—9)$$

حيث $n = 1{,}2$ — عامل التحميل لحمل الريح ؛

q_r — معدل علو السرعة ؛

C_a — معامل ايروديناسى ؛

b — خطوة الاطر .

ان حمل الريح ، المؤثر على المنور وعلى جزء الجدار ، الواقع فى حدود ارتفاع العارضة (العتبة الشدادة) ، ينتقل الى الاطار ، على هيئة قوة مركزة P_w ، مسلطة فى مستوى الوتر السفلى للعارضة او العتبة الشدادة . وهذه القوة تساوى $nq_r C_a bh = P_w$ (شكل ٩ — ١٩ ، أ وب) .

ولتحديد او تقدير الوزن الذاتى للقطع الانشائية الفولاذية ، سلفا ، يمكن استخدام المعطيات التقريبية المدرجة فى الجدول (٩ — ٣) ، والتى تبين خصائص توزيع المعدن بين القطع المنفصلة للهيكل الفولاذى للمبانى الصناعية .

٢ — خصائص الحساب الاستاتيكى للاطر

ان الاطر الجانبية للمبانى الصناعية ، تحسب وكأنها مجموعات غير محددة استاتيكيا . وفى هذه الحالة ، يسمح عادة بادخال بعض الفرضيات ، التى تسهل الحساب ، ولا تؤثر تأثيرا كبيرا على نتائجه . وتتلخص هذه الفرضيات فيما يلى :

جدول ٩ — ٣

الاوزان التقريبية لقطع الهيكل الفولاذى للمبانى الصناعية ،

كجم لكل ١ م^2 من مساحة المبنى

قطع الهيكل الفولاذى	نوع او صنف الورشات :		
	خفيفة	متوسطة	ثقيلة
السقف :			
الجمالونات السقفية	١٦—٢٥	١٨—٣٠	٢٠—٤٠
الجمالونات الثانوية	صفر—٦	٤—٧	٨—٢٠
الشدادات	١٠—١٢	١٢—١٨	١٢—١٦
المناور	صفر—١٠	٨—١٢	٨—١٢
الشدادات	٣—٤	٣—٥	٨—١٥
المجموع	٣٠—٤٠	٤٥—٧٠	٥٠—٨٠
الاعمدة مع الشدادات والمنصات عوارض الونش مع العتبات الشدادة (عتبات القرملة) ومنصات التصليح	١٠—١٨	١٨—٤٠	٧٠—١٢٠
الهيكل الجدارى	صفر—١٤	١٤—٤٠	٥٠—١٥٠
منوعات اخرى	صفر—٣	٥—١٤	١٢—٢٠
المجموع الكل	—	صفر—١٠	٣—١٢
	٣٥—٨٠	٧٥—١٧٠	٢٠٠—٤٠٠

أ) عند حساب الاطار ذى العارضة التشابكية (الجمالون) ، بالنسبة لتأثير جميع الاحمال ، المسلطة على اعمدة الاطار ، تعتبر جسؤة العارضة (او الجمالون) ، كبيرة الى درجة لا متناهية ($I_b=\infty$) . ان هذه الفرضية تساعد على اجراء حساب الاطر بطريقة الانحرافات (الازاحات) ، والمجهول الوحيد هنا ، هو الازاحات الافقية . وباستخدام الجداول الجاهزة الموجودة فى المراجع ، الموضوعة بخصوص الاعمدة المتغيرة المقطع ، المثبتة او المحصورة فى الاساس وفى العارضة او الجمالون (فى مستوى الوتر السفلى) ، يمكن بسهولة حساب اطر الورشات الوحيدة الطابق .

ب) يجرى حساب الاطر ، بالنسبة للاحمال الراسية ، المسلطة على العارضة (الجمالون) ، بموجب القواعد العامة للميكانيكا الانشائية مع اخذ الجسؤة النهائية للعارضة او الجمالون فى الاعتبار ، ولكن على فرض ان الاحمال مسلطة بانتظام (بالتماثل) ، فى الاطر المتماثلة . وهذا يؤدى الى تحول المسألة الى حل او حساب الاطار ذى الوصلات الثابتة او المحصورة (نظرا للتماثل المذكور) ، مع وجود مجهول واحد ، هو زاوية دوران العارضة (للاطار الوحيد الباع) .

وفى هذه الحالة ، يستعاض عن العارضة التشابكية (الجمالون) ، بصورة اصطلاحية او فرضية ، بعارضة مصمتة مكافئة (من حيث الانحراف — الانحناء — او زاوية الدوران عند المساند) ،

بجعل محور العارضة المكافئة ينطبق مع الوتر السفلى للجمالون (العارضة) . ان عزم القصور الذاتى ، للعارضة المكافئة (من حيث الانحراف او الانحناء) ، يحدد بالتقريب ، من الصيغة التالية :

$$I_{cb}=k_h\left(A_1z_1^2+A_2z_2^2\right) \qquad (9-10)$$

حيث A_1 و A_2 — مساحتا المقطع العرضى للوترين العلوى والسفلى للجمالون ؛

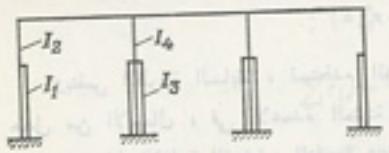
z_1 و z_2 — المسافتان من مركز ثقل (محور) الجمالون ، الى محورى الوترين العلوى والسفلى ، فى وسط الباع ؛

k_h — عامل يأخذ فى الاعتبار ، الارتفاع المتغير لمقطع الجمالون ، وكذلك تشوه قطع الشبيكة ، وهذا العامل ، بالنسبة للجمالونات التى يتراوح ميل وترها العلوى بين $\frac{1}{8}$ و $\frac{1}{12}$ ، يمكن ان يؤخذ مساويا لما يتراوح بين ٠,٧ و ٠,٨ .

ان النسب بين عزوم القصور الذاتى للاقسام المستقلة من الاعمدة ، او من العارضة (الجمالون) ، اللازمة لاجل الحساب ، تؤخذ على اساس التصاميم المماثلة ، التى تم حسابها سابقا . وعادة تقع قيم هذه النسب ، فى حدود المقادير التالية (شكل ٩ — ٢٠) :

$\frac{I_1}{I_2}=$ ٥ الى ١٢ ؛ $\frac{I_3}{I_4}=$ ٨ الى ١٥ ؛

$\frac{I_3}{I_1}=$ ١,٢ الى ٤ ؛ $\frac{I_3}{I_4}=$ ٤ الى ١٢ (مع وجود خطوة مزدوجة بين الاعمدة ، على امتداد الصفوف المتوسطة) .



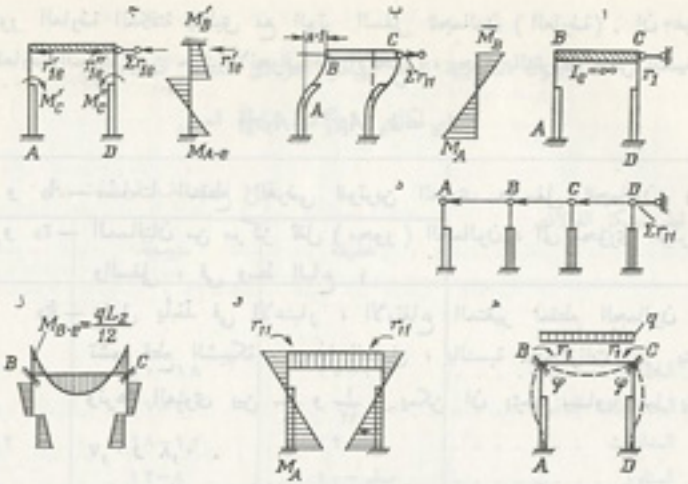
شكل (٩ — ٢٠) النسبة بين عزوم القصور الذاتى لقطع الاطر

ان اصغر الارقام المبينة اعلاه ، تعود الى الورشات الخفيفة ، اما الارقام الاكبر ، فتعود الى الورشات الثقيلة . ولا يؤثر تغير نسب عزوم القصور الذاتى ، فى بعض الحدود المعينة (حوالى ٣٠٪) ، على مقدار العزوم التصميمية الا بدرجة قليلة .

وعند ادخال التبسيطات او الفرضيات السابقة الذكر ، يصبح حساب الاطار سهلا جدا . وعلى سبيل المثال ، يمكن اجراء حساب الاطار الوحيد الباع ، ذى الاركان الجاسئة ، بالنسبة للاحمال المسلطة على الاعمدة ، كما يلى :

١ — توضع شدادة او مثبتة اضافية (زائدة عن الحاجة) ، تمنع الازاحة الافقية ، الامر الذى يؤدى الى ان يظهر فى هذه الشدادة ، نتيجة لتاثير الاحمال ، رد فعل مقداره r_1 (المجموعة الاساسية ، شكل ٩ — ٢١ ، أ) .

٢ — تعطى عارضة الاطار غير المحمل ، ازاحة فى اتجاه هذه الشدادة او المثبتة ، مساوية للواحد ، اى $\Delta=1$ (شكل ٩ — ٢١ ، ب) . ويتم تحديد مقدار رد الفعل الكلى فى الشدادة $\sum r_{1k}$ ، الناجم عن ازاحة جميع الاعمدة لمسافة $\Delta=1$ ، وكذلك مقادير العزوم عند اطراف الاعمدة ($\overline{M}_A$ ، $\overline{M}_B$ ، $\overline{M}_C$ ... والخ) ، من الجداول الخاصة بذلك .



شكل (٩ — ٢١) رسم توضيحى لحساب الاطر عند تساوى خطوة الاعمدة

٣ — وتحدد ردود الفعل فى الشدادة الاضافية ، الناجمة عن تأثير الاحمال الخارجية (عن كل حمل على حدة ، وذلك لانه من الضرورى الحصول على محصلة الرسوم البيانية للعزوم فى الاعمدة) . وهكذا على سبيل المثال ، عند تأثير حمل الونش على الاطار ، ينجم فى نفس الوقت، عزم اقصى عند احد الاعمدة، وعزم اصغر عند العمود الاخر (شكل ٩ — ٢١ ، حـ) . ان محصلة ردود الفعل فى الشدادة الاضافية ، تساوى ما يلى :

$$\sum r_{1e} = r'_{1e} - r''_{1e}$$

وبنفس الطريقة السابقة ، نستخدم الجداول لحساب وتخطيط الرسوم البيانية للعزوم ، لكل حمل من الاحمال ، فى الاعمدة المثبتة او المحصورة ($M_{A.e}$ ، $M_{B.e}$ ، $M_{C.e}$ ... والخ) .

٤ — ان الازاحة الفعلية ، الناجمة عن كل حمل من الاحمال فى الاطار المبحوث ، تستخرج من المعادلة الاساسية ، التى تتلخص فى ان رد الفعل فى الشدادة الاضافية ، الناجم عن كل حمل من الاحمال ، يساوى صفرا :

$$r_1 = \sum r_{11}\Delta_1 + \sum r_{1e} = 0$$

ومنها نجد بأن :

$$\Delta_1 = -\frac{\sum r_{1e}}{\sum r_{11}}$$

٥ — تستخرج القيم النهائية للعزوم فى المقاطع المميزة للاعمدة ، وتخطط الرسوم البيانية للعزوم :

$$M_A = M_{A.e} + \overline{M}_A\Delta_1$$
$$M_B = M_{B.e} + \overline{M}_B\Delta_1$$

والى آخره . . . . . .

ثم تدرج قيم العزوم فى جدول خاص (راجع المثال ٩ — ١) .

وفى الاطر المتعددة الابواع ، نجد بأن محصلة ردود الفعل ، الناجمة عن وحدة الازاحة ، تساوى ما يلى (شكل ٩ — ٢١ ، د) :

$$\sum r_{11} = r_{1B} + r_{1C} + r_{1D} + r_{1E}$$

وعند عدم توفر جداول خاصة لتحديد ردود الفعل والعزوم فى الاعمدة المثبتة او المحصورة ، يمكن تحديدها باستخدام الطريقة العامة للميكانيكا الانشائية ، وهى طريقة ردود الفعل (القوى) الاضافية . وعندما يزيد عدد الابواع على ثلاثة ، يمكن عدم اخذ الازاحة الافقية فى الاعتبار ، على فرض ان Δ_1 = صفر .

ويتم حساب الاطار ، بالنسبة لتأثير الاحمال الراسية ، المسلطة على العارضة ، مع اخذ جسوئتها النهائية فى الاعتبار ، بنفس الطريقة السابقة .

ونظرا للتماثل ، يكون لدينا مجهول واحد فقط ، عندما تكون الوصلات مثبتة او محصورة (شكل ٩ — ٢١ ، هـ) وهو زاوية الدوران φ_1 ($\varphi = \varphi_C = \varphi_B$) . وعند دوران الوصلة بزاوية قدرها $\varphi = 1$ ، تظهر فيها عزوم ردود الفعل (شكل ٩ — ٢١ ، و) :

$$\sum r_{11} = M_{B.col} + M_{B.cb} = M_{11}$$

وفيها يدل الرمز السفلى col على العمود ، ويدل الرمز السفلى الآخر cb على العارضة او العتبة الشدادة .

وعند تحديد عزوم ردود الفعل فى وصلات الاطار ، الناجمة عن تأثير الاحمال الخارجية $\left(M'_{B.e} = M'_{C.e} = \frac{qL^2}{12}\right)$ ، يجب ان يؤخذ فى الاعتبار ايضا، العزم الناجم عن وجود درجة (هبوط) فى محور العمود $M''_{B.e}$ (شكل ٩ — ٢١ ، هـ) :

$$\sum r_{1e} = \frac{qL^2}{12} + M''_{B.e} = M_{1e}$$

وتستخرج زاوية الدوران الفعلية للوصلة ، من المعادلة التالية :

$$\sum r_{11}\varphi_1 + \sum r_{1e} = 0$$

ومنها نجد ان :

$$\varphi_1 = -\frac{\sum r_{1e}}{\sum r_{11}} = \frac{M_{1e}}{M_{11}}$$

ونحصل بالنتيجة على القيم النهائية للعزوم ، التى تدرج فى جدول خاص .

وفى الاطر التى تتصل فيها العارضة مع الاعمدة ، بوصلة مفصلية ، يمكن بسهولة كافية ايجاد القوة المجهولة بدون استخدام الجداول ، وذلك بحل المسألة بطريقة ردود الفعل المجهولة (راجع المثال ٩ — ١) .

ويمكن حساب الاطر المستوية ، بالنسبة لتأثير احمال الونش ، على اساس سلوك الهيكل فى الفراغ ، مع الاخذ فى الاعتبار ، بأن الاطر المجاورة ستشارك فى مقاومة الاحمال ، عن طريق الشدادات الطولية الافقية ، الموجودة على امتداد الاوتار السفلى للجمالونات (شكل ٩ — ١١) . وفى هذه الحالة ، عند تساوى خطوة الاعمدة على امتداد جميع الصفوف ، يتم بحث مجموعة

مؤلفة من خمسة الى سبعة اطر ، مربوطة مع بعضها البعض بشدادات طولية ، وتحدد جسؤة هذه الشدادات ، بواسطة عزم قصورها الذاتي ، المستخرج من الصيغة (10—9) . وفي هذه الحالة ، يؤخذ العامل k_h بالنسبة للشدادات الملحومة مع الوتر السفلي ، مساويا للمقدار $k_h = 0{,}7$ ، وبالنسبة للشدادات المربوطة بالمسامير $k_h = 0{,}3$.

ويتلخص الحساب في تحديد قيمة رد الفعل المرن F_r ، باعتبار الشدادة بمثابة عتبة متواصلة ، محمولة على مساند مرنة . عندئذ تصبح المعادلة الاساسية ، لتحديد الازاحة المجهولة ، على الشكل التالي :

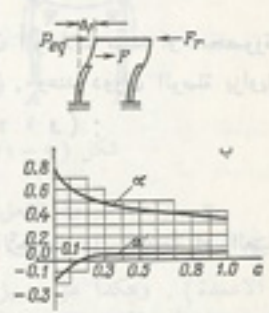
$$\sum r_{11}\Delta_1 + \sum r_{1r} - F_r = 0$$

ولسهولة الحساب، يكون من الافضل عمليا ، التعويض عن ازاحة الاطر في المجموعة ، الناجمة عن تأثير الاحمال المسلطة ، بالازاحة الناجمة عن القوة او الحمل المكافئ P_{eq} ، المسلط في مستوى الشدادات، والذي يسبب نفس الازاحة السابقة للاطار ، التي تسببها الاحمال الابتدائية ، مثلا في الشكل (٩ — ٢٢ ، أ) :

$$P_{eq} = \frac{\Delta_l}{\delta} \qquad (9—11)$$

حيث Δ_l — ازاحة العارضة ، الناجمة عن تأثير حمل الونش ، مثل القوة F ؛

δ — وحدة الازاحة (سم/طن) للعارضة ، الناجمة عن وحدة القوة .



شكل (٩ — ٢٢) رسم توضيحي لاشتقاق (ساوك) الهيكل في الفراغ

ويمكن ايجاد قوة رد الفعل F_r ، من المعادلة التالية :

$$F_r = \alpha P_{eq} - \alpha' P'_{eq}$$

حيث يستخدم فيها المعاملان α و α' ، لتثبيت النسبة بين القوة المكافئة P_{eq} ، ورد الفعل المرن، الذي يعتمد على ارتفاع الاطار H ، وعلى النسبة بين الجسؤات الطولية للعارضة والاعمدة ، وعلى خطوة الاعمدة b وعزم القصور الذاتي للشدادات الافقية $I_{h.t}$.

وتستخرج قيم المعاملين α و α' من الرسم البياني الموجود في الشكل (٩ — ٢٢ ، ب) ، بالاعتماد على المقدار c' :

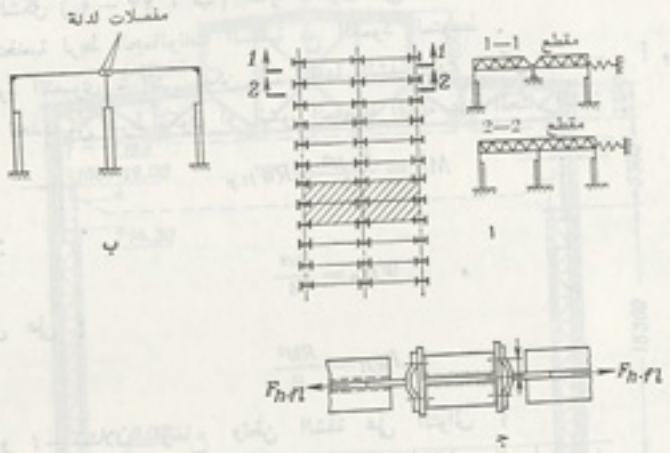
$$c' = \frac{b^3 \sum I_{bod}{}^{1/3}}{H^3 \sum I_{h.t}}$$

حيث $i = \frac{I_{top}}{I_{bot}}$ — تمثل النسبة بين عزوم القصور الذاتي للقسم العلوي من العمود ، والقسم السفلي منه .

ان القوة المكافئة P'_{eq} ، هي عبارة عن تأثير ازاحة الاطارين المجاورين للاطار المبحوث ، وتحدد بواسطة القوة المكافئة P_{eq} [راجع الصيغة (11—9)] ، المضروبة في نسبة الاحمال ، المسلطة على الاطارين المجاورين وعلى الاطار المبحوث .

وفي المباني ذات السقوف الخالية من المدادات ، المؤلفة من البلاطات الخرسانية المسلحة الكبيرة الحجم ، نجد بأن تصميم السقف ، يجعل الهيكل يسلك في الفراغ مثل سلوك الشدادات الطولية . ولكن نقل وظائف التوزيع الى السقف فقط ، كما ذكرنا سابقا ، يمكن ان يؤدي الى عدم انتظام البلاطات .

واذا كانت خطوة الاعمدة، على امتداد الصف المتوسط، اكبر بمرتين مما هي عليه في الصفوف الطرفية ، يمكن عندئذ اجراء الحساب بالنسبة لاطار اصطلاحي او افتراضي ، تكون فيه عزوم القصور الذاتي لمقاطع اعمدة الصفوف الطرفية، مساوية لمجموع عزوم القصور الذاتي لعمودين ، اي تدخل في الحساب مجموعة القطع الانشائية التي تبدو مخططة في الشكل (٩ — ٢٣، أ) .



شكل (٩ — ٢٣) رسم توضيحي لحساب الاطر عند اختلاف خطوة الاعمدة :
أ — لحساب الاطر ، ب — الرسم التخطيطي للاطار ذي المفصلة اللدنة في الصف المتوسط للاعمدة ، جـ — المفصلة اللدنة

وهذا الحساب ممكن عند وجود شدادات افقية على امتداد الاوتار السفلى للجمالونات ، او وجود انشاء سقفي جاسئ ، وتؤمن جميعا ، ازاحات متساوية لجميع اعمدة المجموعة . وعندئذ نجد بأن قوة رد الفعل الافقية في الاطار الاصطلاحي . الناجمة عن الحمل في العمود الذي يثبت او يحصر الاطار لمنعه من الازاحة ، تحدد كمجموع قوى رد الفعل في الاطر المستوية المتفردة ، وبعد ذلك يتم بطريقة عادية ، تحديد ازاحة الاطار الاصطلاحي . وبموجب الازاحة المستخرجة اعلاه ، يتم تحديد القوة ، لكل اطار مستو على حدة .

وفي الحالة العامة ، عندما تكون خطوات الاعمدة مختلفة ، على امتداد الصفوف المختلفة ، يؤخذ طول مجموعة الاطر المبحوثة ، مساويا لخطوة الاطر الاساسية . وفي هذه الحالة ، تعتبر ازاحة جميع اطر المجموعة ، متساوية تماما .

وبعد تخطيط الرسوم البيانية للعزوم في الاطار ، لكل حمل من الاحمال على حدة ، يوضع جدول يقيم هذه العزوم ، بعدد من مقاطع الاعمدة ، وتعين او تقرر اكثر مجموعة غير ملائمة للعزم الاجمالي M والقوة الطولية المناظرة له . وهنا تؤخذ في الاعتبار كلا من مجموعتي الاحمال

الاساسية والاضافية (بالاضافة الى حمل الريح) ، ويدخل فى حسابهما عامل قيمته ٠,٩ (لجميع الاحمال باستثناء الاحمال الساكنة) .

وفى الوصلات الجاسئة ، المستخدمة لربط عوارض الاطر (العتبات الشدادة) مع الاعمدة (وخاصة على امتداد الصفوف الداخلية) ، تنشأ عزوم امتناد كبيرة ، ناجمة عن تأثير الاحمال الراسية على العوارض المذكورة . ويمكن تجنب هذه العزوم ، باستخدام احد التصاميم المرنة والمدنة لوصلة الوتر العلوى للجمالون مع العمود ، وهو التصميم الذى يمكنه نقل الحمل الى حد معين فقط ، وبعده ، عند الوصول الى نقطة الخضوع ، فانه يتشوه ولا يمكنه مقاومة عزم اكبر من ذلك .

ويبين الشكل (٩ — ٢٣ ، ب) اطارا يحتوى على مفصلات لدنة ، من النوع المذكور اعلاه ، مستخدمة لربط الجمالونات السقفية مع العمود المتوسط .

ان القوة القصوى ، التى يمكن ان تنقلها الشفة $F_{b.h}$ (شكل ٩ — ٧ ، أ وشكل ٩ — ٢٣ ، حـ)، تحدد من شرط تكون او نشوء المفصلة اللدنة عند انحناء الشفة :

$$M_{fl} = \frac{F_{b.fl}a}{4} = RW_{fl.p}$$

وبما انه :

$$W_{fl.p} = \frac{bt^2}{4}$$

اذن نحصل على :

$$F_{b.fl} = \frac{Rbt^2}{a} \qquad (9-12)$$

حيث b و t — تمثلان ارتفاع وثخن الشفة على التوالى ؛

a — المسافة من محور الشفة ، الى خط قياس المسامير ؛

R — نقطة الخضوع العليا للفولاذ — ٣ ، التى يمكن ان تؤخذ مساوية للمقدار ٣٠ كجم/سم^2 .

وعند مثل هذا التصميم للوصلة ، يمكن ان يتحمل ركن الاطار ، العزم الذى له علاقة واحدة فقط . وقد يكون هذا العزم كافيا لتأمين الجسوءة اللازمة للورشة ، عند تأثير القوى الافقية .

وبهذا الشكل، تظهر امكانية اجراء حساب الاطار، بالنسبة لتأثير الاحمال الرأسية، على فرض ارتباط العارضة مع العمود بوصلة مفصلية، وفى المرحلة التالية يسهل تسليط عزم مقداره $M_s = F_{b.fl}h_s$ على قمة العمود (h_s = ارتفاع مقطع الجمالون عند المسند) .

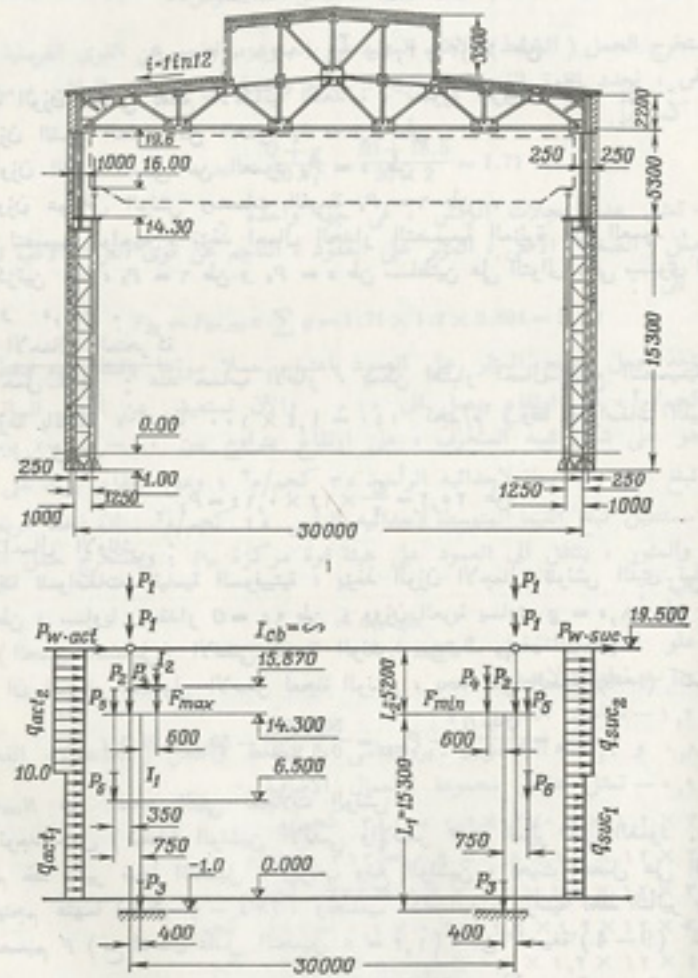
وقد اكدت التجارب حول السلوك الفعلى للهياكل الفولاذية للمبانى الصناعية ، التى اجراها العلماء والمهندسون السوفييت ، الاهمية الجوهرية لسلوك القطع الانشائية فى الفراغ . وفى نفس الوقت ، اثبتت هذه التجارب ، بان اضعف المواضع فى هذه الهياكل الفولاذية ، هى الوصلات التى تربط اجزاء القطع الانشائية مع بعضها ، وتربط القطع مع بعضها، وخاصة وصلات ربط عوارض الونش مع الاعمدة ، وهى الوصلات التى تتحمل قبل غيرها ، الاحمال الدينامية الناجمة عن الاوناش (الصدمات) . وهذا ما يفسر لنا ، سبب احتواء المواصفات القياسية للبناء ، على متطلبات اعلى فيما يتعلق بتصاميم المبانى والمنشآت ذات ظروف الاشتغال الصعبة ، من ناحيتى الوصلات والجسوءة الجانبية ، المقاسة بواسطة الانحناءآت (الانحرافات) الافقية للاعمدة .

مثال ٩ — ١ : يطلب تصميم وحساب اطار فولاذى جانبى ، لورشة وحيدة الباع ، يبلغ طول باعها L = ٣٠ م ، تحتوى على ونشين ظروف اشتغالهما صعبة ، وحموله كل منهما Q = ٥٠/١٠ طن. ويبلغ ارتفاع قمة سكة الونش، عن الارض الواقعة فى مستوى الصفر : + ١٦ م ؛ وارتفاع قمة الاساس يساوى : — ١ م .

وخطوة الاعمدة ١٢ م . والورشة معدة للانشاء فى مدينة موسكو .

١ — اختيار مخطط الانشاء.

نختار الابعاد العامة للقطع الانشائية للاطار ، على اساس الابعاد التكنولوجية المعطاة ، مع الاخذ فى الاعتبار ، ضرورة ترك ممر عرضه ٤٠٠ مم ، فى مستوى قمة عوارض الونش (شكل ٩ — ٢٤ ، أ) . ونأخذ ارتفاع مقطع عارضة الونش ، كما فى المثال (٦ — ١) ؛ وسكة الونش



شكل (٩ — ٢٤) رسم توضيحى للمثال ، ٩ — ١ :

أ — الاطار المستعرض للورشة ، ب — المخطط التصميمى للاطار

من النوع KP80 . وعند تحديد الارتفاع الى اسفل الجمالون السقفى ، يجب ان يؤخذ فى الاعتبار ، احتمال انحناء الجمالونات والقطع البارزة من الشدادات (فى حدود ٢٠٠ — ٢٥٠ مم) ، الذى يمكن ان يعرقل حركة او سير الاوناش .

ونأخذ لمثالنا هذا ، مخططا تصميميا على هيئة اطار ، ذى اعمدة مثبتة او محصورة ، وعارضة مربوطة بوصلة مفصلية (شكل ٩ — ٢٤ ، ب) .

٢ — تحديد الاحمال المؤثرة على الاطار

أ — الاحمال الساكنة

تؤخذ احمال السقف التصميمية ، على هيئة احمال موزعة بانتظام ، قدرها ٣٤٠ كجم/م٢ ، وحملين مركزين ، ناجمين عن جدران المنور ، كل منهما يساوى ٣,١ طن (راجع المثال ٧ — ١) .

ان احمال التصميم المؤثرة على كل عمود ، هى ضغط تحميل الجمالون السقفى :

$$P_3 = 3{,}1 + \frac{30}{2} \times 12 \times 0{,}34 = 64{,}3 \text{ طن}$$

ويؤخذ الوزن الذاتى للقطع الانشائية المعدنية ، بصورة تقريبية ، كما يلى :

أ) وزن القسم العلوى من العمود $P_2 = 1{,}5$ طن

ب) وزن القسم السفلى من العمود $P_3 = 5$ طن

ح) وزن عوارض الونش ومنصات الفرملة $P_4 = 6$ طن .

وتبعا لتصميم الواجهة ، تؤخذ احمال الجدار التصميمية المؤثرة على العمود ، على هيئة قوتين مركزتين هما ، $P_5 = 6$ طن و $P_6 = 5$ طن مسلطتين على التوالى ، فى مستوى الارتفاعين ١٤,٣م و ٦,٥م .

ب — الاحمال المتحركة

١ — حمل الثلج : عند حساب الاطار ، يمكن اعتبار احمال الثلج التصميمية ، بمثابة احمال موزعة بانتظام ، قدرها $100 \times 1{,}4 = 140$ كجم/م٢ (وفقا للمواصفات القياسية للبناء فى منطقة موسكو) :

$$P_7 = \frac{30}{2} \times 12 \times 0{,}14 = 25{,}2 \text{ طن}$$

٢ — احمال الاوناش :

أ) وفقا للمواصفات القياسية السوفييتية ، يؤخذ الوزن الاجمالى للونش الذى تبلغ حمولته $Q = 50$ طن ، مساويا للمقدار $G = 98$ طن ؛ ووزن العربة يساوى $g = 18{,}5$ طن ، والضغط التشغيلى (الحمل التشغيلى) الاقصى لعجلة الونش $P_{max} = 50{,}5$ طن .

ب) ان الحمل التشغيلى الاصغر لعجلة الونش ، يحدد من الصيغة (5—9) كما يلى :

$$P_{min} = \frac{Q+G}{0.5\,N_{cr}} - P_{max} = \frac{50+98}{0.5 \times 4} - 50.5 = 23.5 \text{ t}$$

حيث $N_{cr}=4$ هو العدد الكلى لعجلات الونش

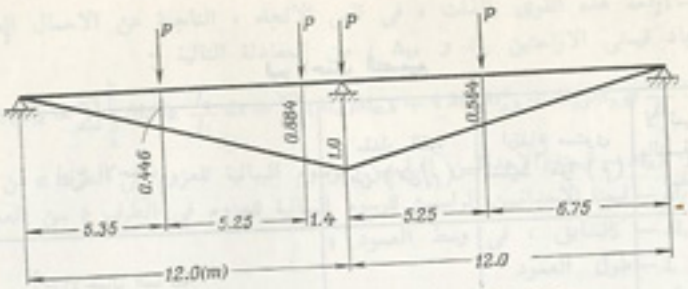
ح) توجد حمل (ضغط) الونشين الاقصى والاصغر F ، المؤثر على العمود .

ونرسم خط تأثير ضغط التحميل ، وترتب وضع الونشين ، بحيث تحصل على اقصى ضغط (حمل) ينجم عنهما (شكل ٩ — ٢٥) ، وتحسب الاحداثيات الرأسية لخط التأثير y . ونحدد احمال التصميم F (مع ادخال عامل التحميل $n = 1{,}2$) ، من الصيغة (4 — 9) كما يلى :

$$F_{max} = P_{max} n \sum y = 50.5 \times 1.2\,(0.446 + 0.884 + 1.0 + 0.564) =$$

$$= 50.5 \times 1.2 \times 2.894 = 175.4 \text{ t}$$

$$F_{min} = 23.5 \times 1.2 \times 2.894 = 81.5 \text{ t}$$



شكل (٩ — ٢٥) رسم توضيحى للمثال ١٠ — ١ :
تحديد ضغط المسند الناجم عن احمال الونش

د) نستخرج الحمل (الضغط) الافقى المؤثر على العمود ، الناجم عن القوى الفرملية الجانبية ، ولهذا الغرض ، نحدد القوة الفرملية الجانبية ، لعجلة واحدة من عجلات الونش ، من الصيغة (6—9) ، كما يلى :

$$F_{br.cw} = \frac{Q+g}{20\,N_1} = \frac{50+18.5}{20 \times 2} = 1.71 \text{ t}$$

حيث N_1 — تمثل عدد عجلات الونش ، فى جهة واحدة .

ان الحمل (الضغط) الافقى ، المؤثر على العمود ، الناجم عن قوى الفرملة الافقية للونشين ، يساوى ما يلى :

$$F_{br} = F_{br.cw}\, n \sum y = 1.71 \times 1.2 \times 2.894 = 5.9 \text{ t}$$

٣ — يؤخذ حمل الريح المؤثر على العمود باعتباره حملا موزعا بانتظام، مع ضغط تشغيل قدره ٣٠ كجم/م٢ ، على ارتفاع يصل الى ١٠ م . والآن نستعيض عن الرسم البيانى لضغط الريح ، وهو على شكل شبه المنحرف ، على ارتفاع يتراوح بين ١٠ — ٢٠ م ، برسم بيانى مستطيل ، تبلغ القيمة المتوسطة لاحداثيه الرأسى ٣٥ كجم/م٢ ؛ وعلى ارتفاع يزيد على ٢٠ م ، برسم بيانى مستطيل تبلغ القيمة المتوسطة لاحداثيه الرأسى ٤٥ كجم/م٢ . ان ضغط الريح المؤثر على السقف والمنور ، ينتقل الى العمود على هيئة قوة مركزة P_w . ويستخرج حمل الريح من المعادلة التالية :

$$q_w = nq_0C_eBc$$

حيث q_0 — علو السرعة التشغيلى للريح ؛

$B = 12$ — خطوة الاعمدة ؛

$n = 1{,}2$ — معامل التحميل ؛

$C_e = 0{,}8$ و $0{,}6$ — المعامل الايروديناسى ، للضغط والمص (suction) ، الفعالين ؛

$c = 0{,}9$ — تمثل عامل مجموعة الاحمال الاضافية :

$q_{act1} = 30 \times 1{,}2 \times 0{,}8 \times 12 \times 0{,}9 = 311$ كجم/م

$q_{act2} = 35 \times 1{,}2 \times 0{,}8 \times 12 \times 0{,}9 = 363$ كجم/م

$q_{suc1} = 30 \times 1{,}2 \times 0{,}6 \times 12 \times 0{,}9 = 233$ كجم/م

$q_{suc2} = 35 \times 1{,}2 \times 0{,}6 \times 12 \times 1{,}2 \times 0{,}9 = 272$ كجم/م

$P_{w.act} = 45 \times 1{,}2 \times 0{,}8 \times 12 \times 0{,}9 \times 8 = 2740$ كجم

$P_{w.suc} = 45 \times 1{,}2 \times 0{,}6 \times 12 \times 0{,}9 \times 8 = 2800$ كجم

وهنا اخذت المسافة من اسفل الجمالون السقفى ، الى النقطة العليا للمنور ، مساوية ٨م .

وجميع الاحمال وارتفاعات مستوى تسليطها ، مبينة فى الجدول (٩ — ٤) .

جدول ٩ — ٤

قيم احمال التصميم

نوع الاحمال	مقدار القوة طن (طن/م)	ارتفاع مستوى تسليط القوة (م)	لا تمركزية القوة بالنسبة لمركز ثقل المقطع (م)
أ — الاحمال الساكنة			
وزن السقف P_1	٦٤,٣	١٩,٥	—
وزن القسم العلوى من العمود P_2	١,٥	١٤,٣	—
وزن القسم السفل من العمود P_3	٥	صفر	—
وزن عوارض الوتش ومنصات القرملة P_4 . . .	٦	١٤,٣	٠,٦
وزن الجدار P_5	٦	١٤,٣	٠,٧٥
وزن الجدار P_6	٥	٦,٥	٠,٧٥
ب — الاحمال المتحركة			
حمل الثلج P_7	٢٥,٢	١٩,٥	—
حمل (ضغط) الوتش الرأسى الاقصى F_{max} . . .	١٧٥,٤	١٤,٣	٠,٦
حمل (ضغط) الوتش الرأسى الاصغر F_{min} . . .	٨١,٥	١٤,٣	٠,٦
القوة القرملية الجانبية F_{br}	٥,٩	١٥,٨٧	—
حمل الريح (الموزع بالنظام) q_{acc_1}	٠,٣١١	الى ١٠ م	—
كذلك ، q_{acc}	٠,٣٦٣	من ١٠ الى ٢٠ م	—
كذلك ، q_{sac_1}	٠,٢٣٣	الى ١٠ م	—
كذلك ، q_{sac_2}	٠,٢٧٢	من ١٠ الى ٢٠ م	—
حمل الريح (المركز) $P_{w.acc}$	٣,٧٤	١٩,٥	—
كذلك ، $P_{w.suc}$	٢,٨	١٩,٥	—

٣ — الحساب الاستاتيكى للاطار

ان نظام الاطار المأخوذ ، ذى الاعمدة المثبتة او المحصورة والوصلات المفصلية للعارضة ، هو نظام غير محدد استاتيكيا ، يحتوى على قوة مجهولة واحدة . وتقوم الآن بحساب الاطار بطريقة ردود الفعل المجهولة ، باعتبار ان القوة الزائدة المجهولة فى العارضة ، هى القوة المتعامدة X_1 . عندئذ سيكون النظام (المجموعة) الأساسى ، مؤلفا من عمودين مثبتين فى قاعدتيهما . ان المعادلة القانونية المستخدمة لتحديد القوة المجهولة ، تكون على الشكل التالى :

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1r} = 0$$

ومنها ينتج ان :

$$X_1 = -\frac{\Delta_{1r}}{\delta_{11}}$$

حيث δ_{11} — ازاحة نقاط تسليط القوى $X_1 = 1$ ، فى اتجاهها (اقتراب او ابتعاد) ، الناجمة عن هذه القوى نفسها ؛

Δ_{1r} — ازاحة هذه القوى بالذات ، فى نفس الاتجاه ، الناجمة عن الاحمال الخارجية .

ويمكن ايجاد قيمتى الازاحتين δ_{11} و Δ_{1r} ، من المعادلة التالية :

$$EI_0\delta_{ik} = \sum\int_a^b M_i M_k \frac{I_0}{I_i}\,dx = \sum (M_{a,i}M_{a,k} + 4M_{c,i}M_{c,k} + M_{b,i}M_{b,k})\frac{L}{6}\frac{I_0}{I_i}$$

حيث $M_{a,i}$ و $M_{a,k}$ — قيمتا الاحداثيين الراسيين للرسوم البيانية للعزوم فى الطرف a من العمود ؛

$M_{b,i}$ و $M_{b,k}$ — قيمتا الاحداثيين الراسيين للرسوم البيانية للعزوم فى الطرف b من العمود ؛

$M_{c,i}$ و $M_{c,k}$ — كالسابق ، فى وسط العمود ؛

L — طول العمود

$\frac{I_0}{I_i}$ — النسبة بين عزوم القصور الذاتى لمقاطع العمود (وعادة $I_0 = 1$) .

وهكذا ، تحصل بالنسبة للرسمين البيانيين للعزوم، اللذين على شكل شبه المنحرف ، المبينين فى الشكل (٩ — ٢٦) ، على ما يلى :

$$EI_0\delta_{12} =$$

$$= \frac{L}{6}(2aa' + 2bb' + ab' + a'b)$$

شكل (٩ — ٢٦) الرسوم البيانية للعزوم وهى على شكل المنحرف

حيث a ، a' ، b و b' — تمثل قيم احداثيات الرسوم البيانية للعزوم ، فى طرفى العمود .

وبعد تحديد القوة المجهولة X_1 ، نوجد العزم M فى اى مقطع من مقاطع الاطار ، كما يلى :

$$M = M_0 + M_1X_1$$

حيث M_0 — العزم الناجم عن تاثير الاحمال الخارجية ، فى المجموعة او النظام الاساسى المحدد استاتيكيا ،

M_1 — العزم الناجم عن القوة $X_1 = 1$.

وعند تخطيط الرسوم البيانية للعزوم ، نضعها من جهة الليف المشدود (tension fibre) ؛ وعندئذ تعتبر العزوم من الجهة الداخلية للاعمدة ، موجبة . ان قيم العزوم فى المقاطع المميزة للاعمدة ، مدرجة فى الجدول (٩ — ٥) ؛ اما مجموعات القوى التصميمية ، فمدرجة فى الجدول (٩ — ٦) .

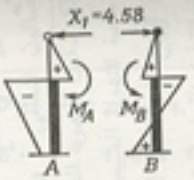
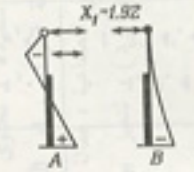
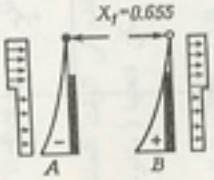
البند الثامن والاربعون — تصاميم المناور والهيكل الجدارى

١ — المناور

ان الغرض من المناور الموضوعة على الجمالونات السقفية ، هو اضاءة وتهوية المبانى او اقسامها . وهناك مناور ذات فتوات خارجية لتصريف المياه (شكل ٩ — ٢٧ ، أ و ب) ، ومناور ذات فتوات داخلية (شكل ٩ — ٢٧ ، ح) . وفى اكثر الحالات ، تكون المناور المستخدمة ، ذات سطوح زجاجية عمودية .

ويمكن وضع المناور على طول الورشة (المناور الطولية) ، كما يمكن وضعها بعرض الورشة كذلك (المناور الجانبية) . واكثر المناور انتشارا ، هى المناور الطولية . ويتراوح عرض المناور الطولية عادة ، بين ٠,٥ — ٠,٣ من الباع .

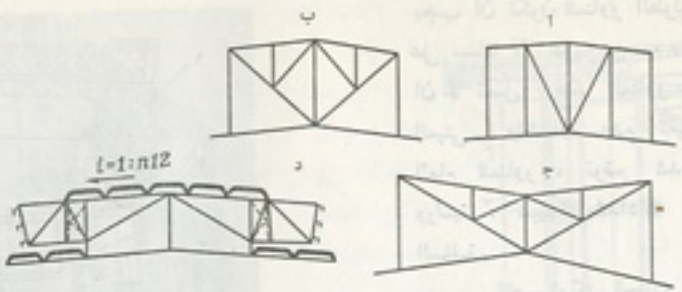
قيم القوى فى اعمدة الاطار

نوع الاحمال	رقم حالة التحميل	الرسوم التخطيطية للاطار والعزوم	صف الاعمدة	داخل مجموعة الاحمال c	جزء العمود الساند للسقف — المقطع 1—1		جزء العمود الساند للسقف — المقطع 2—2		جزء العمود الخاص بمدرجة الونش — المقطع 3—3		جزء العمود الخاص بمدرجة الونش — المقطع 4—4		
					M طن م	F طن	M طن م	F طن	M طن م	F طن	M طن م	F طن	Q طن
وزن القطع الانشائية	1				٦,٧	٦٤,٣	٩,٦ −	٦٥,٨	٢١,٤ +	٧٧,٨	٧,٠ −	٨٧,٨	١,٨٥ —
حمل الثلج	2			١,٠	٢,١٦ −	٢٥,٢	٣,١٢ −	٢٥,٢	٧,٠ +	٢٥,٢	٢,٢ −	٢٥,٢	٠,٦ —
	2′			٠,٩	١,٩٥ −	٢٢,٧	٢,٨ −	٢٢,٧	٦,٣ +	٢٢,٧	١,٩٨ −	٢٢,٧	٠,٥٤ —
احمال الونش الرأسية	3		A	١,٠	١٦,٥ +	—	٢٣,٨ +	—	٨١,٢ −	١٧٥,٤	١١,٠ −	١٧٥,٤	٤,٥٨ +
	3		B		١٦,٥ +	—	٢٣,٨ +	—	٢٥,٠ −	٨١,٥	٤٥,٢ +	٨١,٥	٤,٥٨ +
	3′		A		١٤,٨٥ +	—	٢١,٤ +	—	٧٣,٠ −	١٥٨,٠	٩,٠ −	١٥٨,٠	٤,١٢ +
	3′		B	٠,٩	١٤,٨٥ +	—	٢١,٤ +	—	٢٢,٥ −	٧٣,٣	٤٠,٠ +	٧٣,٣	٤,١٢ +
القوى الفرملية الجانبية	4		A	١,٠	٦,٩٣ ±	—	٠,٧ ±	—	٠,٧ ±	—	٥٨,٦ +	—	٣,٩٨ ±
	4		B		٦,٩٣ ±	—	١٠,٠ ±	—	١٠,٠ ±	—	٣٩,٤ −	—	١,٩٢ ±
	4′		A		٦,٢٤ ±	—	٠,٦٣ ±	—	٠,٦٣ ±	—	٥٢,٦ +	—	٣,٥٨ ±
	4′		B	٠,٩	٦,٢٤ ±	—	٩,٠ ±	—	٩,٠ ±	—	٣٥,٥ −	—	١,٧٣ ±
حمل الريح من الشمال	5		A		١١,٧ −	—	١٨,٢ −	—	١٨,٢ −	—	٨٩,٠ −	—	٩,٠ ±
	5		B	٠,٩	٨,٠٤ +	—	١٢,٦٥ +	—	١٢,٦٥ +	—	٦٣,٧ +	—	٦,٥ ±
من اليمين	5′		A		٨,٠٤ +	—	١٢,٦٥ +	—	١٢,٦٥ +	—	٦٣,٧ +	—	٦,٥ ±
	5′		B	٠,٩	١١,٧ −	—	١٨,٢ −	—	١٨,٢ −	—	٨٩,٠ −	—	٩,٠ ±

الجدول ٩ – ٦

قيم مجموعات الاحمال التصميمية (احمال التصميم) فى اعمدة الاطار

رقم حالة التحميل والقوى التصميمية	عامل مجموعة الاحمال c	جزء العمود الخاص بمنطقة الوزن									
		المقطع 1–1		المقطع 2–2		المقطع 3–3			المقطع 4–4		Q طن
		M طن م	F طن	M طن م	F طن	M طن م	F طن		M طن م	F طن	
$+M_{max}$; F	١,٠	+١٦,٧٣	٦٤,٣	+٢٤,٢	٦٥,٨	+٢٨,٤	١٠٣,٠		+٧٧,٦	١٦٩,٣	+٦,٧١
1, 3, 4	٠,٩	+٢٢,٤٣		+٣٤,٤٥	٩٥,٨	+٤١,١	١٠٠,٥		+١٥٥,٥	١٦٠,٨	+١٠,٧
$-M_{max}$; F	١,٠	−٨,٨٦	٨٩,٥	−١٢,٧٢	٩١	−٦٠,٥	٢٥٣,٢		−٨٨,٨	٢٨٨,٤	
1, 2 أو 1, 3, 4	٠,٩	−٢٠,٣٥	٨٧,٠	−٣٠,٦	٨٨,٥	−٧٠,٤	٢٣٥,٨		−١٩١,٦	٢٦٨,٥	+١٥,٧
1, 2, 5 أو 1, 3, 4, 5											
$-F_{max}$; $\pm M$	١,٠	+١٤,٥٧	٨٩,٥	+٢١,٨	٩١	−٥٣,٥	٢٧٨,٤		−٨٨,٨	٢٨٨,٤	
1, 2, 3, 4	٠,٩	+٢٠,٤٨	٨٧	+٣٠,٦٥	٨٨,٥	−٦٤,٢	٢٥٨,٥		−١٩١,٦	٢٦٨,٥	١٥,٧
1, 2', 3', 4', 5'											
$+F_{min}$; $\pm M$	١,٥	−	−	−	−	−	−		+٨٠	٨٧,٨	٨,٣٥
1, 5'	١,٥								−١٢٨	−٨٧,٨	١٠,٨٥



شكل (٩ – ٢٧) الرسوم التخطيطية للمناور

وفى الورشات المدفأة ، عندما يزيد عرض المنور على ٩ م ، تنشأ قنوات داخلية لتصريف المياه ؛ وعندما يكون العرض اقل من ذلك ، وكذلك فى حالة الورشات غير المدفأة ، تنشأ قنوات خارجية لتصريف المياه من المناور .

ويعتمد ارتفاع المناور على المساحة الضوئية او المنطقة الضوئية اللازمة ، المملؤة بالاطر المجهزة بالالواح الزجاجية القياسية ، التى يبلغ ارتفاعها ١,٢٥ م و ١,٥ م و ١,٧٥ م ، المعلقة فى هيكل المناور . ويجب ان تكون السطوح الزجاجية (الالواح الزجاجية) للمناور ، مرتفعة قليلا فوق مستوى او سطح السقف (بما لا يقل عن ٤٠٠ مم) . ويكون ارتفاع الاضلاع القائمة للمنور ، عند السطح الزجاجى ، اكبر من الارتفاع العام للاطر المجهزة بالالواح الزجاجية ، بمقدار ١ م تقريبا .

وقد يصمم المنور ، بحيث يحتوى على عدة اضلاع قائمة (شكل ٩ – ٢٧ ، أ) ، او يصمم على هيئة جمالونات منفردة (شكل ٩ – ٢٧ ، ب وحـ) . وعند استخدام المنور ذى الاضلاع القائمة ، يجب تأمين او ضمان عدم تغير تصميمه ، وذلك بوضع اضلاع قطرية . ان المناور من النوع المذكور (اى المؤلفة من قطع منفردة) ، تكون اخف وزنا من غيرها ، واسهل من ناحية النقل .

والمناور التى على هيئة جمالونات منفردة ، تحتوى على عدد اقل من وصلات الارتباط مع الجمالون السقفى ، ولذلك فانها سهلة التركيب او التجميع .

ولكى تكون التهوية الطبيعية فى المبانى الصناعية ، فعالة جدا ، تستخدم فى الوقت الحاضر ، مناور خاصة للتهوية الطبيعية (شكل ٩ – ٢٧، د) ، تتميز بوجود نوافذ يمكن فتحها (مفتوحة) ، وحجب للريح (wind shields) .

ان القطعة الاساسية للمنور، التى يجب أن يحسب تصميمها، هو الضلع القائم الخارجي، الذى يتحمل بالاضافة الى الاحمال الرأسية ، حمل الريح ايضا .

وعادة يتألف مقطع الضلع القائم ، من زاويتين (او مجريين) غير متساويتى الساقين .

ويبين الشكل (٩ – ٢٨) الضلع القائم للمنور ، ويحتوى على اطر منزلقة للنوافذ ، معلقة فيه . ويرتبط الضلع القائم مع لوح التقوية المتدلى للجمالون السقفى ، بواسطة المسامير غير المتجزة او باللحام . ويمكن كذلك استخدام وصلة بشفة لهذا الغرض . ومن ناحية صيانة السقف ،

يجب ان تكون للمناور الطولية ، فواصل، على مسافة لا تقل عن ٨٠ م ، ويجب ان لا تصل هذه المناور الى اطراف المبنى . ولضمان عدم تغير التصميم العام للمناور ، توضع شدادات افقية ورأسية ، شبيهة بشدادات الجمالونات السقفية .

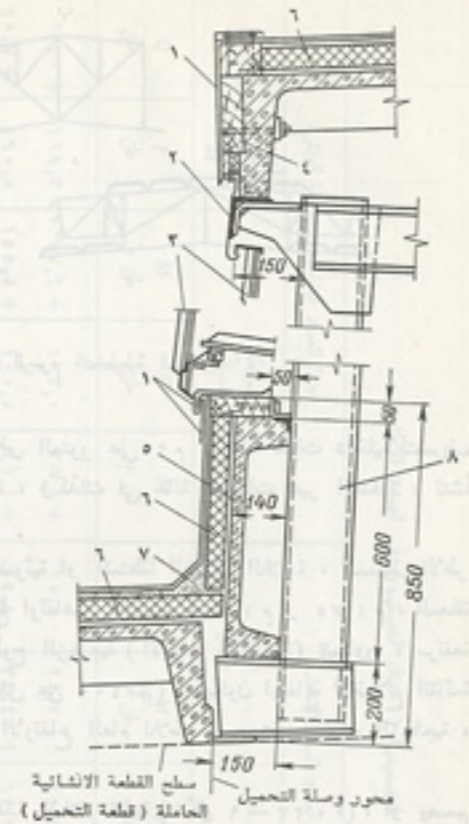
٢ – الهيكل الجدارى

توجد ثلاثة انواع فى جدران المبانى الصناعية ، وهى :

أ) الجدران الرقيقة ، المبنية من البلاطات الخرسانية المسلحة ، والجدران التى بعرض نصف طوبة او آجرة ، او الجدران المبنية من الواح الاسبستوس والاسمنت المموجة ، ذات المقطع المقوى .

ب) الجدران الهيكلية ، المؤلفة من قطاعات بعرض طوبة واحدة ، او طوبة ونصف ، او من قطاعات جدارية اخرى .

ح) الجدران الذاتية الحمل ، المؤلفة من بلاطات (الواح) خرسانية مسلحة عازلة للحرارة، وكذلك من قطاعات بعرض بتراوح بين طوبة ونصف وطوبتين، او المؤلفة من قطاعات جدارية اخرى (عند

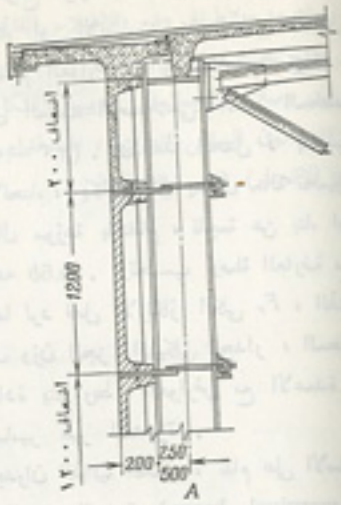


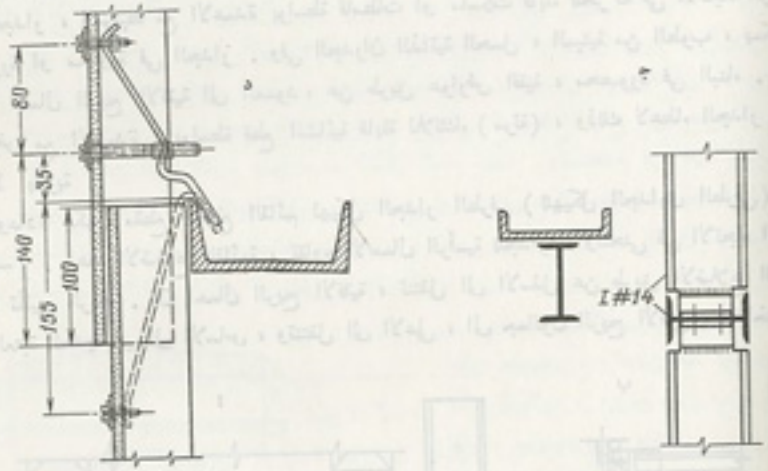
شكل (٩ – ٢٨) الضلع القائم للمنور : ١ – فولاذ التسقيف ، ٢ – مادة الطبقة الزجاجية ، ٣ – اطار فولاذى مثقل ، ٤ – لوحة ، ٥ – بلاطة جانبية من الخرسانة المسلحة ، من النوع ПКЖ5 ، ٦ – طبقة عازلة للحرارة ، ٧ – فرشة ، ٨ – اطار المنور

وجود فتحات او نوافذ بنسبة لا تزيد على ما يتراوح بين ٥٠ – ٦٠ ٪) .

وتستخدم الجدران الرقيقة فى الورشات الساخنة لمصانع الميتالورجيا وغيرها . ويبين الشكل (٩ – ٢٩ ، أ) احد امثلة استخدام البلاطات الخرسانية المسلحة ، السابقة الصنع ، فى بناء الجدران . وعند استخدام الجدران المبنية بعرض نصف طوبة ، يجب انشاء هيكل فولاذى مؤلف من عوارض افقية واضلاع قائمة رأسية ، وهذا الهيكل يتحمل وزن الجدار ، واحمال الريح الافقية ايضا . ويبين الشكل (٩ – ٢٩ ، ب) ، احد امثلة هذا الهيكل ، الذى يقسم المبنى او الانشاء ، الى اجزاء هيكلية مستقلة .

وعادة تؤخذ مساحة الجز" الهيكلى للجدار المبنى بعرض نصف طوبة ، بحيث لا تزيد على ما يتراوح بين ٩ – ١٢ م٢ ، مع اطار مؤلف من مجارى او مقاطع – I رقم ١٤ . ومن الافضل ان يكون الجز" الهيكلى للجدار ، ممتدا الى الاعلى ، وليس فى الاتجاه الافقى . ان مثل هذا الجز" الهيكلى الممتد (الممطوط) الى الاعلى ، يقاوم احمال الريح الافقية ، بمقاومة عالية ، وينقلها



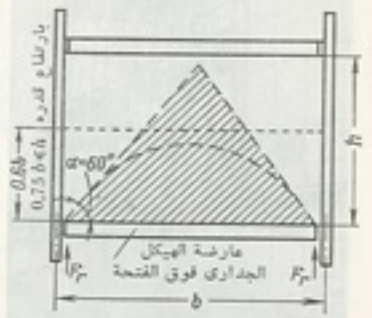


شكل (٩ – ٢٩) الهيكل الجدارى لاحد الجدران الرقيقة

الى الاعمدة عن طريق الاضلاع القائمة (القوائم) والعوارض . ان العوارض (العتبات) الواقعة فوق الفتحات او النوافذ ، تتحمل بالاضافة الى الاحمال الافقية ، الاحمال الرأسية الناجمة عن وزن الجدار ايضا ، ولذلك يكون مقطعها جاسئا فى كلا الاتجاهين (شكل ٩ – ٢٩ ، ح) . ويكون الجدار المبنى من الواح الاسبستوس والاسمنت اقل تحملا و ثباتا . ووصلة هذا الجدار ، مبينة فى الشكل (٩ – ٢٩ ، د) .

تستخدم الجدران الهيكلية الثخينة ، المؤلفة من قطاعات بعرض طوبة واحدة او طوبة ونصف ، او المؤلفة من مادة اخرى ، فى المبانى الصناعية المدفأة ، وخاصة فى المبانى المرتفعة .

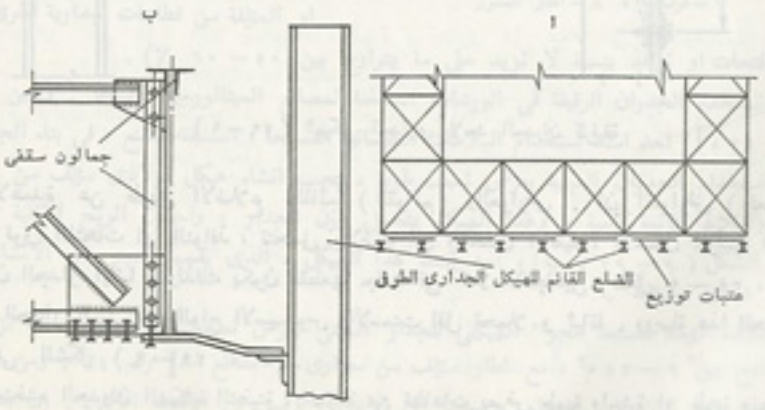
ولا يؤثر على العارضة (الجمالون) وزن الجدار ، الواقع فوقها بأكمله ، بل يؤثر جزء من ذلك الوزن ، وذلك لأنه يتكون فى داخل البناء او الانشاء ، عقد ذاتى الحمل (self-bearing vault) . ولهذا السبب ، تسحب او تصمم العوارض (الجمالونات الثنوية) ، بالنسبة للحمل المثلث الاصطلاحى (القسم المخطط فى الشكل ٩ — ٣٠) . ان هذا الحمل ، بالنسبة لقيمة عزم الانحناء ، يكافئ او يعادل حالة تحميل العارضة بأحمال موزعة بانتظام ، ناجمة عن بناء او انشاء ارتفاعه $0.6b$. وتحسب وصلة العارضة مع العمود ، تبعا لرد فعل الارتكاز الكلى F_r ، الذى يساوى نصف وزن الجزء الهيكلى للجدار ، المحاط باطار . وعادة يتم ربط العوارض مع الاعمدة ، بواسطة المسامير غير المنجزة .



شكل (٩ — ٣٠) المخطط التصميمى لاحدى العوارض الشادة

ان الجدران الذاتية الحمل ، تقام على الاساس او على العتبة الحدية (marginal beam) ، وتتحمل وزنها الذاتى بأكمله ، وترتكز العوارض الموجودة فوق الفتحات او النوافذ ، مباشرة على الجدار ، المرتبط مع الاعمدة بواسطة قامطات او ماسكات قابلة للحركة فى الاتجاه الرأسى ، ومطمورة او مغروزة فى الجدار . وفى الجدران الذاتية الحمل ، المبنية من الطوب ، يمكن ان تنتقل احمال الريح الافقية الى العمود ، عن طريق عوارض افقية ، محصورة فى البناء . وتربط العوارض مع الاعمدة ، بواسطة قطع انشائية قابلة للانثناء (مرنة) ، وذلك لاعطاء الجدار امكانية الهبوط بحرية .

وعادة يكون مقطع الضلع القائم لهيكل الجدار الطرفى (للهيكل الجدارى الطرفى) ، على هيئة — I . وهذه الاضلاع القائمة ، تقاوم الاحمال الرأسية للجدار ، وتنحنى فى الاتجاه الافقى ، تحت تأثير الريح . ان احمال الريح الافقية ، تنتقل الى الاسفل عن طريق الاضلاع القائمة ، الى العتبة الحدية او الى الاساس ، وتنتقل الى الاعلى ، الى جمالون الريح الافقى ، الداخل ضمن



شكل (٩ — ٣١) استناد او ارتكاز قوائم الهيكل (الجمالون) الطرفى

مجموعة الشدادات ، على امتداد الاوتار السفلى للجمالونات السقفية (شكل ٩ — ٣١ ، أ) . وفى حالة عدم انطباق وضع الاضلاع القائمة للهيكل الجدارى ، مع وصلات الجمالون الشداد ، تنشأ او توضع عتبات توزيع (عادة من مجارى) ، تنقل الاحمال الافقية من الاضلاع القائمة (القوائم) الى وصلات الجمالون . ويبين الشكل (٩ — ٣١ ، ب) ، تفاصيل توصيلة الضلع القائم مع وصلة الجمالون السقفى الطرفى ، باستخدام مفصلة لوحية ، تنقل الاحمال الافقية ، ولا تعرقل الانحراف (الانحناء) الحر للجمالون .

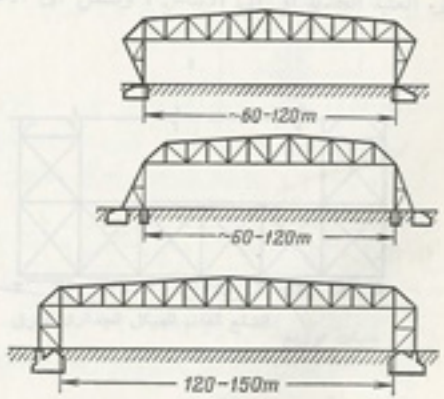
الفصل العاشر

القطع الانشائية الخاصة

البند التاسع والاربعون ـ الجمالونات الثقيلة للسقوف الواسعة الابواع

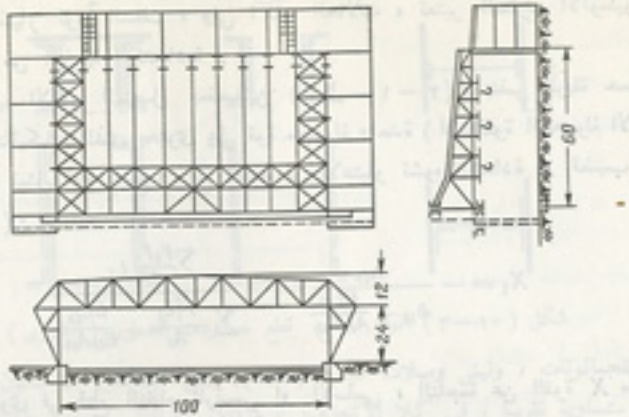
يطلق اسم الجمالونات الثقيلة ، على الجمالونات التى يكون لقطعها مقطع ذو مستويين . وتبرز ضرورة استخدام مثل هذه المقاطع ، عندما يزيد مقدار القوى الموجودة فى اوتار قطع الجمالون ، على ٣٥٠ — ٤٠٠ طن . ومثل هذه القوى الكبيرة ، تنشأ فى الجمالونات التى تغطى ابواع واسعة يصل طولها الى ما يتراوح بين ٨٠ — ١٠٠ م ، وتتحمل او تقاوم احمال ثقيلة . وامثلة هذه الانشاءآت ، والحظائر (شكل ١٠ — ١) ، ومزالق السفن ، التى تعلق فيها الاوناش ، وعوارض الونش الواسعة الابواع التى تحمل اوناش ثقيلة ، والجمالونات الواسعة الابواع فى المنشآت العامة (اجنحة المعارض ومنشات الرياضة البدنية) ، والجسور او القناطر وغيرها .

وقد تختلف الجمالونات الرئيسية للانشاءآت او المبانى الواسعة الابواع عن بعضها البعض الى درجة كبيرة ، من حيث النوع ومن حيث الشكل العام ايضا . وتستخدم على هيئة جمالونات عتبية او عتبات شدادة للاطر التشابكية ، مع اوتار متوازية او بشكل مضلعات (polygonal) ، وعلى هيئة جمالونات للعقود ، وجمالونات بشدادات ، وعلى هيئة عوارض معززة او مدعمة بعقد على شكل قطع مكافئ* او بشكل انضغاطى ، والى اخره .



شكل (١٠ — ١) انظمة الاطر الجمالونية (التشابكية) الواسعة الابواع

ويبين الشكل (١٠ — ١ ، أ) ، اطار بمفصلتين ، واقعتين عند المسندين ، اما الشكل (١٠ — ١ ، ب) فيبين اطارا بمفصلتين ، واقعتين عند قمة العمودين . ان النوع الاول من هذين الاطارين ، هو اكثر ملائمة ، وذلك لان الركن الجاسئ* فيه ، يساعد على تصريف حمل العارضة (العتبة الشدادة) ، ويقلل الاجهادات الموجودة فيها . ويبين الشكل (١٠ — ١ ، حـ) ، اطارا بدون مفصلات ، والعيب الذى فيه ، هو ضرورة تطوير الاساس ، الذى يحصر او يثبت



شكل (١٠ — ٢) حظيرة (السقط الافقى والمقطع العرضى)

القواعد . وبالاضافة الى ذلك ، يكون مثل هذا الاطار ، اكثر حساسية او تأثيرا بتغير درجات الحرارة .

ويبين الشكل (١٠ — ٢) ، مثالا لحظيرة ، مؤلفة من اطار رئيسى بمفصلتين ، طول باعه يساوى ١٠٠ م ، مقام فوق بوابة الحظيرة ، وتستند عليه جمالونات سقفية ، يبلغ طول باعها ٦٠ م ، ومرتبة بحيث كانت المسافة او الخطوة بين جمالون وآخر ، مساوية لطول الجز* الهيكلى للاطار الرئيسى . ومن الناحية او الجهة الاخرى ، تستند الجمالونات السقفية على الاعمدة . والاوناش الرحالة الخفيفة (Q = ٣ الى ٥ طن) ، معلقة فى عوارض ، مربوطة او مثبتة فى وصلات الجمالونات السقفية .

ان اجنحة البوابات المرتبة او الموضوعة على امتداد الاطار ، تتألف من صفائح معدنية محمولة من الاسفل على عجلات صغيرة ، وتستند من الاعلى بصورة الفية ، على قطع دليلية خاصة ، ترتكز بدورها على الشدادات ، على امتداد الاوتار السفلى للجمالون .

وللاطار الرئيسى دفع ، يمكن عند وجود تربة جيدة ، ان يقاوم من قبل الاسس ، وعند وجود تربة رديئة ، يمكن مقاومة الدفع ، بواسطة قضيب ربط (tie bar) ، معرض للشد ، يوضع فى داخل قناة خاصة بشكل صندوق ، تحت الارضية .

ويعين ارتفاع مقطع الجمالون الرئيسى (عارضة الاطار) ، فى حدود تتراوح بين $\frac{١}{٨}$ و $\frac{١}{١٠}$ من الباع ، تبعا للانحراف (الانحناء) المسموح به .

ان الانشاءآت الاطارية ، تسمح بالاستخدام الواسع النطاق للاجهاد المسبق فيها ، الذى يقلل من وزنها . ويمكن بصورة خاصة فى الاطار المبين فى الشكل (١٠ — ٢) ، شد الاضلاع الانضغاطية الطرفية عند الاعمدة ، لتصريف حمل العارضة الى درجة اكبر .

وعند تصميم مبنى او انشاء واسع الباع ، يجب ان نعير اهمية خاصة الى وضع او ترتيب الشدادات ، التى تؤمن استقرار الوتر العلوى للجمالونات وعدم تغير (جسؤة) الانشاء ككل ، وكذلك تؤمن مقاومة الاحمال الافقية (احمال الريح) .

وتتلخص ميزة الانشاءآت الواسعة الابواع ، فى ان الوزن الذاتى للسقف يعتبر بالنسبة لهذه الانشاءآت ، بمثابة الحمل السائد . ولهذا السبب يجب عند تصميم مثل هذه الانشاءآت اعطاء

اهمية كبيرة لاختيار نوع السقف ، وفى اكثر الحالات ، تعتبر السقوف الالومنيومية ملائمة لهذه الانشاءآت من الناحية الاقتصادية .

ويتم حساب الاطار المتصل بمفصلتين (شكل ١٠ — ٢) ، بنفس طريقة حساب النظام غير المحدد استاتيكيا ، الذى يحتوى على قوة مجهولة واحدة (ان القوة المجهولة الاضافية هنا ، هى X_1 ، التى تمثل قوة الدفع) ، مع الاخذ فى الاعتبار تشوه الشدادة او قضيب الربط (فى حالة وجود هما) :

$$X_1 = -\frac{\Delta_{1t}}{\delta_{11} + \frac{EL_{rb}}{A_{rb}E_{rb}}} = -\frac{\sum \frac{F_1 F_t}{A_t} L_t}{\sum \frac{F_1^2 L_t}{A_t} + \frac{EL_{rb}}{E_{rb}A_{rb}}} \qquad (10-1)$$

حيث F_1 — القوى فى قطع النظام الرئيسى او الاساسى ، الناجمة عن القوة $X = 1$ ،

F_t — القوى فى قطع النظام الرئيسى ، الناجمة عن الاحمال الخارجية ،

A_t, L_t — اطوال ومساحات المقطع العرضى القطع اوتار الجمالون والاعمدة (يمكن عدم اخذ الشبيكة فى الاعتبار) ،

A_{rb}, L_{rb} — طول قضيب الربط (الشدادة) ومساحة مقطعه العرضى ، على التوالى .

ان القوى F فى القطع المذكورة ، تساوى ما يلى :

$$F = F_t + X_1 F_1 \qquad (10-2)$$

وبما ان المقدار A_t ، موجود فى بسط ومقام المعادلة (1—10) ، فان النسبة $\frac{A_t}{A_{ref.}}$ تصبح مهمة فقط، حيث A_{ref} تمثل مساحة المقطع الاصطلاحية او المقارنة (reference sectional area)، مثلا ١ سم^2 او ١٠٠ سم^2 .

ويجرى الحساب على هيئة نظام جدولى ، او جداول حسابية . وعندما تدعو الضرورة الى حساب تأثير فرق درجات حرارة المحيط الجوى، على القطعة الانشائية ، يتم استخراج قوة الدفع المناظر ، من المعادلة التالية :

$$X_1 = -\frac{E\Delta_{1t}}{\delta_{11} + \frac{EL_{rb}}{E_{rb}A_{rb}}} \qquad (10-3)$$

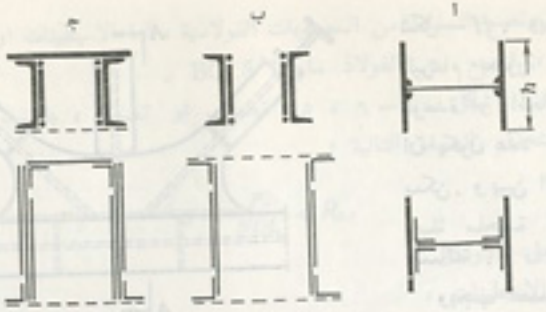
وفى هذه المعادلة ، لدينا :

$$\Delta_{1t} = \alpha t \sum F_1 L_t$$

حيث α — معامل التمدد الحرارى ،

t — الفرق فى درجات الحرارة .

ونظرا لوجود اجهادات كبيرة ، تصمم القطع عادة بحيث يكون مقطعها على هيئة — H ، او على هيئة مجرى او غير ذلك من انواع المقاطع (شكل ١٠ — ٣) . ويتم اختيار مقاطع قطع الجمالون الثقيلة ، قبل كل شىء لاثقل قطعة انضغاط من قطع الاوتار ، ثم لاضعف قطعة ، وبذلك نعين تدرج الاشكال والمقاطع . ويجب اخذ ارتفاع المقطع (شكل ١٠ — ٣ ، أ) بحيث لا يزيد على $\frac{1}{10}$ من طول الجزء الهيكلى ، وذلك بافتراض وجود وصلات مفصلية فى المخطط

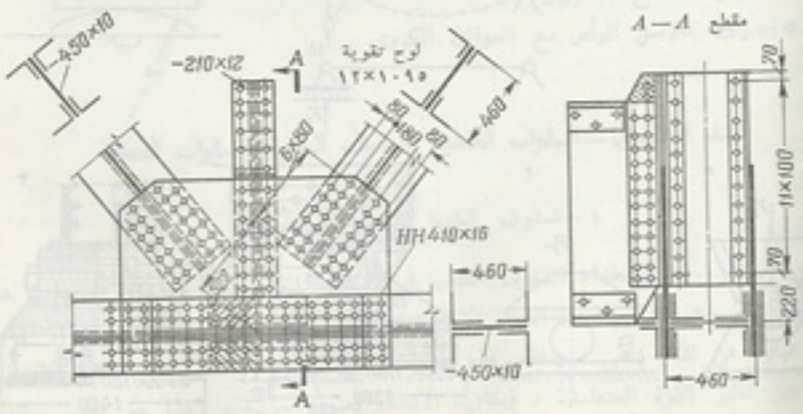


شكل (١٠ — ٣) انواع مقاطع قطع جمالونات الجسور (الكبارى)

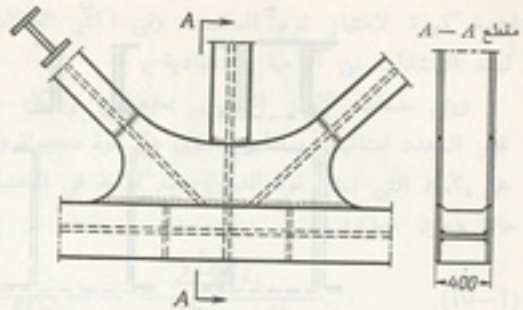
التصميمى للجمالونات ، وليس وصلات جاسئة (ثابتة). ومن المفضل ان تكون لقطع الانضغاط نسبة قضافة متساوية تقريبا ، فى كلا الاتجاهين ، ومقاطع متماثلة . ويجب ان لا تكون محاور قطع الاوتار ، مبتعدة عن بعضها البعض ، باكثر من ١,٥ ٪ من ارتفاع المقطع ، وبخلاف ذلك، يجب ان يؤخذ فى الاعتبار العزم الاضافى الناجم عن القوى المحورية المسلطة خارج المركز .

ان وصلات قطع الجمالون ، التى مقطعها على شكل — H ، تصمم عادة باستخدام الواح تقوية خارجية للتغطية ، مع تأمين النقل اللازم للقوى ، الموجودة فى وصلة الوتر ، بواسطة شرائط معدنية اضافية . وفى هذه الحالة ، تجد فى بعض الاحيان بان اللوح الافقى للمقطع الذى على شكل — H، لا يغطى عادة فى موضع الوصلة، بسبب استخدام ادلة تشغيل مسطحة (flat jigs) لحفر الثقوب ، وينقل مجال القوة باكمله ، عن طريق لوح التقوية . ويتم حساب الشرائح المعدنية او الشبيكات ، التى تربط فروع المقطع مع بعضها فى قطعة واحدة ، بنفس طريقة حساب الاعمدة المركزية التحميل .

ويجب ان يبذل المصمم كل ما فى وسعه ، لاستخدام اقل عدد ممكن من القطع فى الانشاء ، وكذلك لاعطاء الواح التقوية ، ابسط شكل ممكن ، بدون ثلمات او زوايا داخلية . ويمكن ان تكون الوصلات المفصلية اما مبرشمة او مربوطة بمسامير عالية المقاومة او ملحومة . ويبين الشكل (١٠ — ٤) وصلة مبرشمة لجمالون ثقيل من الجمالونات الجسرية ذات قطع يكون مقطعها على



شكل (١٠ — ٤) وصلة مبرشمة لجمالون ثقيل



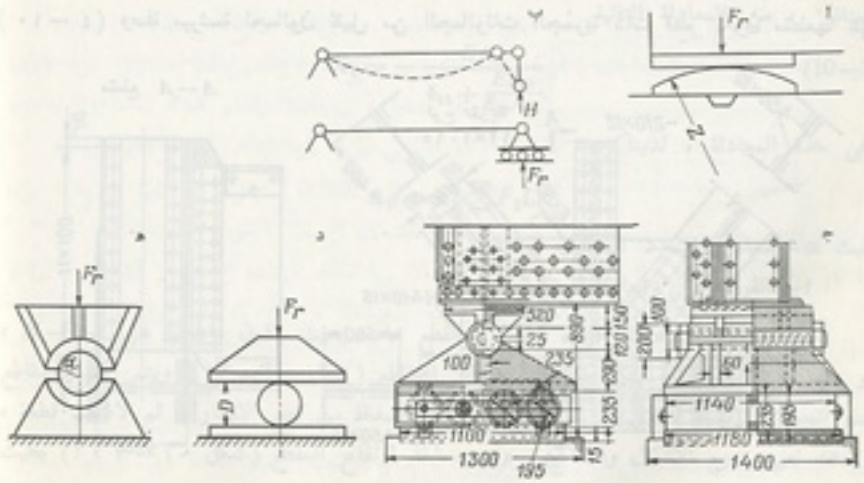
شكل (١٠ — ٥) وصلة ملحومة لجمالون ثقيل

شكل — H . ويجب ان يرتب البرشام بصورة متماثلة ، بخطوة موحدة او اضعافها ، كما يجب ان يكون عدد البرشام اقل ما يمكن. و يبين الشكل (١٠— ٥) وصلة ملحومة لاحد الجمالونات المماثلة .

ويجب تصميم وصلات القطع الملحومة ، بالطريقة التى تجعل الاجهادات المركزة ، التى تنشأ فيها ، تكون اقل ما يمكن . ولهذا الغرض ، لا بد من جعل انتقال او مرور مجال القوة ، يحدث بسلاسة ، وذلك بحفر ثقوب فى الواح التقوية ، وانجاز اللحامات بالطريقة الملائمة المطلوبة .

ان الاجزاء الحاملة (المساند) للجمالونات العتبية الثقيلة ، وللاطر الواسعة الابواع ، التى تقاوم الاحمال الكبيرة ، تصل الى عدة مئات من الاطنان ، تصمم بطريقة تجعل ردود فعل الارتكاز ، تنتقل بدقة وانتظام فى الوضع المقصود . ويجب ان يقلل التصميم درجة اعتماد ردود فعل الارتكاز ، على تغير المسافة بين نقاط الاستناد او الارتكاز ، الناجم عن انحراف او انحناء الجمالونات ، او عن تغير زاوية ميل منحنى الانحراف او الانحناء . وطبقا لذلك ، يوجد نوعان من المساند ، وهما : المساند الثابتة والمساند المتحركة او التمددية . وبالنسبة للعتبات والعوارض التى يصل طول باعها الى ٤٠ م ، تنشأ مساند تماسية (شكل ١٠ — ٦ ، أ) .

وعند وجود ابواع اطول مما ذكر اعلاه ، نرى بان ازاحة نقاط الارتكاز ، الناجمة عن انحراف انحناء الجمالونات ، او نتيجة لتغيرات درجة الحرارة ، تصبح ملموسة تماما (شكل ١٠ — ٦ ، ب) . ولهذا السبب نجد بان المساند المفصلية المتحركة للقطع الانشائية الواسعة الابواع ، تقام على دحاريج او اسطيانات (شكل ١٠ — ٦ ، ه) . وتصمم المساند الثابتة بنفس الطريقة ، ولكن



شكل (١٠ — ٦) مساند (مرتكزات) الجمالونات الثقيلة

بدون اسطيانات . وتصنع المساند من المصبوبات الفولاذية ، اما الاسطيانات او الجلب الاسطوانية الموصلة المفصلية ، فتصنع من الفولاذ ماركة BCr.5 .

ان الاسطيانات (شكل ١٠ — ٦ ، د) تحسب او تصمم ، بالنسبة للانضغاط القطرى الاصطلاحى ، باستخدام الصيغة التالية :

$$\sigma = \frac{F_r}{NDL} \leqslant R_{cr} \qquad (10—4)$$

حيث F_r — رد فعل الارتكاز ،

N — عدد الاسطيانات ،

D — قطر الاسطيانة ،

L — طول الاسطيانة ،

R_{cr} — مقاومة الاسطيانة التصميمية ، للانضغاط القطرى ، فى حالة التلامس الحر (راجع الجدولين ٢ — ٩ ، ٢ — ١٠) .

ان الجلبة الاسطوانية او المقعدة ، فى حالة التلامس المحكم (زاوية التلامس المركزية $\alpha \geqslant \frac{\pi}{4}$ ، شكل ١٠ — ٦ ، د) ، تحسب طبقا لمقاومة التهصر الموضعى، بموجب الصيغة التالية :

$$\sigma = \frac{Fr}{1.25\,rL} \leqslant R_{cr.l} \qquad (10—5)$$

حيث r — نصف قطر المفصلة او المقعدة .

وتدرج قيم المقاومة التصميمية للتهصر ، فى حالة التلامس المحكم $R_{cr.l}$ ، فى الجدولين (٢ — ٩) و (٢ — ١٠) .

وفى حالة تصميم المفصلات برأس كروى الشكل ، تحدد اجهادات التهصر عند التلامس المحكم ، بواسطة الصيغة التالية :

$$\sigma = \frac{6\,Fr}{\pi D^2} \cdot \frac{1}{1-\cos^3\varphi} \leqslant R_{cr.l} \qquad (10—6)$$

حيث D — قطر السطح الكروى ،

φ — زاوية تلامس الرأس مع الموازن الكروى .

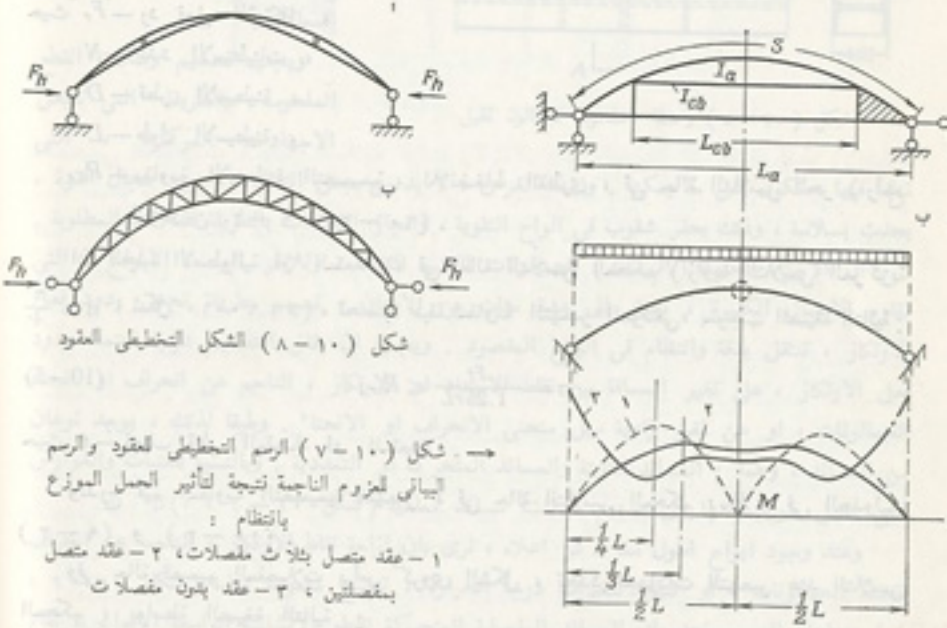
البند الخمسون — السقوف العقدية والسقوف المقببة والسقوف المعلقة

١ — السقوف العقدية (على شكل العقود)

من المنطقى جدا استخدام السقوف العقدية فى الابواع الواسعة ، التى يزيد طولها L على ما يتراوح بين ٦٠ — ٨٠ م . ان الميزة الاساسية لهذه السقوف ، وهى قلة الوزن ، تفسر بكون العقود عبارة عن نظام دفعى ، ومقطع هذه العقود يعمل بالدرجة الاساسية على مقاومة الانضغاط الناجم عن تأثير القوة المتعامدة ، ومقاومة الانحناء بصورة جزئية ، وهذا هو السبب الذى يجعل مقاطع العقود ملائمة من الناحية الاقتصادية ، الى درجة كافية . ان العقد يشغل حيزا اكبر ،

بالمقارنة مع الانشاء الاطارى . وتبين المساحة المخططة فى الشكل (١٠ — ٧ ، أ) ، الحيز « الهامد » ، الذى لا يمكن ان يستخدم دائما . ان العقد اكثر قابلية للتشوه من الاطار ، وذلك لان الجسؤة الطولية للعقد i_a ، اقل من نظيرتها فى عارضة الاطار او العتبة الشدادة للاطار (شكل ١٠ — ٧ ، أ) :

$$i_a = \frac{I_a}{S} < \frac{I_{cb}}{L_{cb}} = i_{cb}$$



شكل (١٠ — ٨) الشكل التخطيطى للعقود

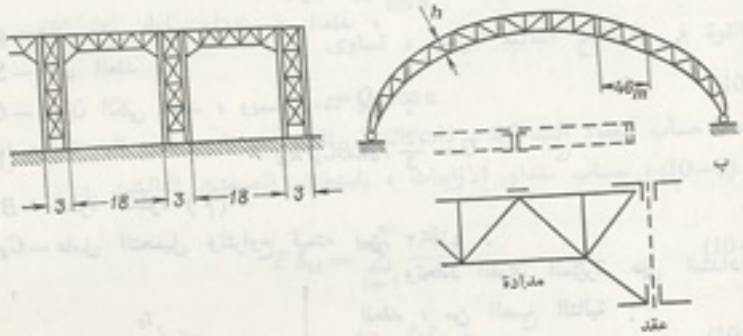
شكل (١٠ — ٧) الرسم التخطيطى للعقود والرسم البيانى للعزوم الناجمة نتيجة لتأثير الحمل الموزع بانتظام :
١ — عقد متصل بثلاث مفصلات ، ٢ — عقد متصل بمفصلتين ، ٣ — عقد بدون مفصلات

ولهذا السبب ، تستخدم العقود فى السقوف الواسعة الابواع ، حيث لا توجد احمال دينامية او احمال اقفية كبيرة ، مثلا فى اجنحة المعارض والاسواق العامة والمخازن او المستودعات وغيرها .

وتقسم العقود تبعا لتصميمها الى ثلاثة انواع ، وهى : العقود الخالية من المفصلات (العقود المثبتة) ، والعقود ذات المفصلتين ، والعقود ذات الثلاث مفصلات . ان الفائدة المرجوة من استخدام هذا النوع او ذاك من انواع العقود ، تحدد من تصميم المساند (الحوامل) . ويبين الشكل (١٠ — ٧ ، ب) الرسم البيانى للعزوم ، الناجمة عن الحمل الموزع بانتظام ، لكل نوع من انواع العقود الثلاثة . ان اقصى عزم يوجد فى العقد ذى الثلاث مفصلات ، على مسافة تساوى ربع طول الباع ، ولذلك تكون هذه العقود اثقل من غيرها . ولكن بما ان هذه العقود ، محددة استاتيكيا ، فانها تكون غير حساسة بالنسبة لهبوط المساند (الحوامل) وللتغيرات فى درجات الحرارة ، ولهذا السبب نرى بأنها تستخدم فى حالات خاصة بها . ووفقا للرسم البيانى للعزوم ، يتخذ شكل العقود ذات الثلاث مفصلات ، بصورة عامة ، على هيئة نصفى عقد مثل الهلال (شكل ١٠ — ٨ ، أ) .

ان اكثر انواع العقود انتشارا فى الانشاآت ، هى العقود ذات المفصلتين ، التى تتوزع فيها العزوم ، توزيعا منتظما بمافيه الكفاية . ولهذا السبب ، نجد بان هذه العقود تصمم بأوتار

متوازية ، فى معظم الحالات (شكل ١٠ — ٩ ، أ) ، الامر الذى يكون من ناحية صنعها ، منطقيا جدا ، واحيانا تصنع على شكل هلال كامل (شكل ١٠ — ٨ ، ب) . وتكون العقود الخالية من المفصلات (العقود الثابتة او المثبتة) ، اخف وزنا من البقية ، وذلك لان العزم فى النصف المتوسط للباع ، هو اصغر ما يمكن ومع ان العزم عند المساند اكبر ، الا ان وزن المقطع هناك لا يزيد الا قليلا ، بينما يصبح من الضرورى ، فى الانواع الاخرى من العقود ، تطوير المقطع عند المساند ، لاعتبارات تصميمية معينة . ولكن العقود المثبتة تحتاج الى تربة جيدة جدا وقوية (صخرية) ، تستطيع مقاومة عزوم الارتكاز الكبيرة . وبخلاف ذلك ، تصبح الاسس ضخمة جدا ، بحيث تجعل تكاليف الانشاء مرتفعة . ولهذا السبب ، لا تستخدم العقود المثبتة ، الا نادرا . وبصورة عامة ، عند اختيار نوع العقود ، يجب دائما التفكير فى تصميم الاسس فى نفس الوقت .



شكل (١٠ — ٩) تصميم السقف الجمالونى

وهكذا فان اكثر انواع العقود انتشارا ، هو العقد ذو المفصلتين ، اما عندما تكون التربة رديئة ، فهو العقد ذو الثلاث مفصلات .

ان الابعاد الاساسية (العامة) للعقود ، هى الباع L وسهم الانحناء f_a . ويحدد سهم الانحناء ، على اساس الشروط التكنولوجية او الاقتصادية ، اما بالنسبة لاجنحة المعارض وبقية المبانى العامة ، فيحدد كذلك على اساس الشروط المعمارية. ان اكثر نسبة ملائمة $\frac{f_a}{L}$ تتراوح تقريبا بين $\frac{1}{6}$ و $\frac{1}{5}$. وفى المبانى العامة، يتم تصميم العقود، بحيث تتراوح النسبة $\frac{f_a}{L}$ بين $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{5}$. وتؤدى زيادة مقدار سهم الانحناء f_a ، الى تقليل القوة المتعامدة وزيادة العزم ، فى الوقت الذى يؤدى تقليل سهم الانحناء ، الى زيادة القوة المتعامدة وقلة العزم .

وعادة ترتب العقود على طول المبنى ، بخطوة تتراوح بين ١٢ — ٢٤ م وتوضع فى المسافات الفاصلة بينها مدادات جملونية تشابكية ، بخطوة تتراوح بين ٤ — ٦ م (شكل ١٠ — ٩ ، أ ، ب) . ولسهولة التركيب او التجميع ، توضع احيانا عقود مزدوجة ، على مسافة تساوى ٣ م تقريبا بين واحد وآخر (شكل ١٠ — ٩ ، أ) . ويمكن لهذه العقود ان تبقى منتصبة ذاتيا ، اثناء عملية التركيب ، دون ان تفقد استقرارها العام . وفى نفس الوقت ، نجد بان المسافة المذكورة بين العقود المزدوجة (٣ م) تساعد على انتاج اجزاء متكاملة من العقد فى المصنع ، يتراوح طولها بين ٣ — ٦ م يتألف كل جزء او وحدة ، من عدد من الالواح يتراوح بين ٢ — ٣) .

ويعين ارتفاع مقطع العقد h ، بالنسبة للابواع الصغيرة ، فى حدود تتراوح بين ما يلى : $\frac{1}{40}$ و $\frac{1}{30} \approx \frac{h}{L}$ ، وبالنسبة للابواع الواسعة ، فتؤخذ كما يلى : $\frac{1}{60}$ و $\frac{1}{40} \approx \frac{h}{L}$.

وقد يكون مقطع العقد مصمتا (للابواع الصغيرة) ، او تشابكيا (للابواع الواسعة) ، مع شبيكة من الاضلاع المائلة ، او بصورة اقل ، مع شبيكة مثلثة .

يبدأ حساب العقود بتحديد الاحمال ، التى تشمل وزن السقف والثلج (على امتداد الباع باكمله ، وعلى نصف الطول) ، وحمل الريح والوزن الذاتى للعقد . وتحدد جميع الاحمال وفقا للمواصفات القياسية للبناء .

ويمكن تحديد الوزن الذاتى للعقد ، باستخدام الصيغة التالية :

$$g = \frac{G}{S} \; kg/m$$

حيث g — وزن متر طولى واحد من العقد ،

S — طول العقد ،

G — الوزن الكلى للعقد ، ويساوى ما يلى :

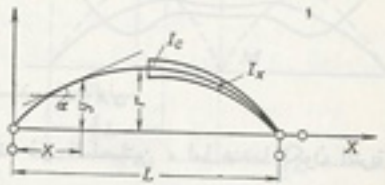
$$G = \frac{2}{3} r_a L B C_g \; kg \qquad (10—7)$$

حيث B — خطوة العقود (م) ،

C_g — عامل التحميل وتتراوح قيمته بين ٢ — ٤ .

وتحدد القوى المؤثرة على امتداد محور العقد ، من الصيغ التالية :

$$M_x = M_b - F_h y; \quad F_x = Q_b \sin\alpha + F_h \cos\alpha;$$
$$Q_x = Q_b \cos\alpha - F_h \sin\alpha$$

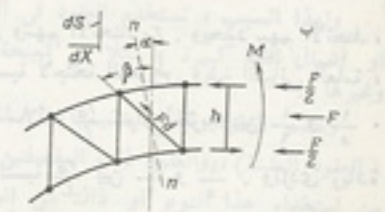


حيث F_h — قوة الدفع ،

y — احداثى محور العقد ($y_{max} = f_a$) ،

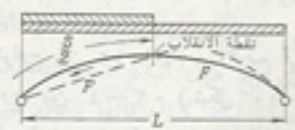
α — الزاوية المحصورة بين مماس محور العقد والخط الافقى ،

M_b ، Q_b — عزم العتبة وقوة القص ، الناجمين عند اعتبار العقد بمثابة عتبة ، باعها يساوى L (شكل ١٠ — ١٠ ، أ) .



ان العقد الذى يحتوى على مفصلتين ، يعتبر نظاما غير محدد استاتيكيا ، يحتوى على قوة مجهولة واحدة . ويعتبر الدفع هنا F_h ، بمثابة القوة المجهولة X_1 ، التى تستخرج من الصيغة التالية :

$$F_h = X_1 = -\frac{\Delta_{1c}}{\delta_{11}} \qquad (10—8)$$



شكل (١٠ — ١٠) رسم توضيحى لحساب العقد المتصل بمفصلتين

وفى العقود المعتدلة الميل ، ذات المقطع الثابت ، عند وجود احمال موزعة بانتظام ، تجد بان $F_h = \frac{qL^2}{8 f_a}$.

ويمكن تحديد القوى فى العقود التشابكية ذات الاوتار المتوازية ، بنفس الطريقة السابقة مع التحليل التالى للقوى ، على امتداد اجزاء المقطع (شكل ١٠ — ١٠ ، ب) :

القوة فى الوتر العلوى ، تساوى ما يلى :

$$F_{ch.t} = -\frac{M_x}{h} - \frac{F_x}{2} \qquad (10—9a)$$

والقوة فى الوتر السفلى ، تساوى :

$$F_{ch.b} = +\frac{M_x}{h} - \frac{F_x}{2} \qquad (10—9b)$$

والقوة فى الاضلاع القطرية ، تساوى :

$$F_d = Q_x \frac{\cos\alpha}{\cos\beta} \qquad (10—9c)$$

والقوة فى الاضلاع القائمة الرأسية ، تساوى :

$$F_v = Q_x \cos\alpha \qquad (10—9d)$$

وعند حساب العقود التشابكية ، ذات المقطع الكبير نسبيا ، يجب اثناء تحديد الدفع من الصيغة (8—10) ، حساب مقدار الازاحات ، باستخدام الصيغتين التاليتين :

$$E\delta_{11} = \sum_{i=1}^{n} \frac{F_i^2 L_i}{A_i} \qquad (10—10a)$$

$$E\Delta_{1c} = \sum_{i=1}^{n} \frac{F_1 F_c}{A_i} L_i \qquad (10—10b)$$

وفى هذه الحالة ، يكفى جمع القوى على امتداد الاوتار فقط ، مع اهمال القوى الموجودة فى قطع الشبيكة ، نتيجة لضالة تأثيرها على مقدار الدفع .

وعادة تستحدث او تنجز مقاطع قطع اوتار وشبيكة العقود ، من زاويتين معدنيتين ، وتصمم كما فى الجمالونات العادية . وعند وجود قوى كبيرة فى الاوتار ، يجب كما هى الحالة فى الجمالونات الثقيلة ، التحول الى استخدام المقاطع ذات المستويين ، التى تكون على الاغلب على شكل — H .

ولضمان استقرار قطع انضغاط الاوتار ، فى المستوى العمودى على العقد ، يجب وضع شدادات افقية ، وكذلك مدادات او قطع مباعدة بين العقود ، بطريقة مماثلة لوضع الشدادات فى الجمالونات العادية . ومن المستحسن ان لا تزيد المسافة بين المدادات (القطع المباعدة) ، على ما يتراوح بين ١٦ — ٢٠ ضعفا من اضعاف عرض الوتر . وعند مراجعة قطعة انضغاط وتر العقد ، يؤخذ طولها الفعال فى المستوى الرأسى (فى مستوى العقد) ، مساويا لطول الجزء الهيكلى ، وفى المستوى العمودى على مستوى العقد ، يؤخذ مساويا للمسافة الموجودة بين النقاط المثبتة .

ومن الضرورى كذلك ، مراجعة الاستقرار العام للعقد ككل ، فى المستوى الرأسى . وبما ان الشكل الاكثر احتمالا لفقد الاستقرار العام للعقد ، فى المستوى الرأسى ، هو التحدب على هيئة — S ، مع وقوع نقطة انقلاب المحور بالقرب من منتصف طول العقد (شكل ١٠ — ١٠ ، ج) ، يمكن بصورة تقريبية ، تحديد القوة الحرجة باستخدام صيغة اويلر — ياسينسكى ، باعتبار

الطول الفعال مساويا لنصف قوس العقد S ، مضروبا فى معامل الطول k ، المستخرج من الجدول (١٠ — ١) ، اى :

جدول ١٠ — ١

قيم معامل الطول k للعقود

نوع العقد	r_0/L			
	1/20	1/5	1/3	1/2.5
عقد ذو ثلاث مفصلات . . .	١,٢	١,٢	١,٢	١,٣
عقد ذو مفصلتين	١	١,١	١,٢	١,٣
عقد بدون مفصلات (مثبت)	٠,٧	٠,٧٥	٠,٨	٠,٨٥

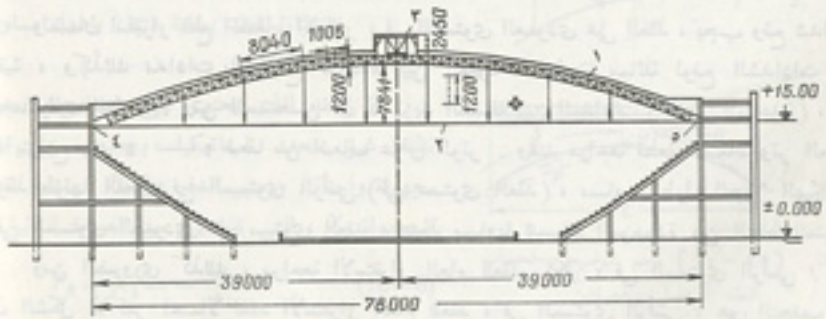
$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E I_x}{\left(k \frac{S}{2}\right)^2} \qquad (10—11)$$

وهنا يؤخذ عزم القصور الذاتى لمقطع العقد I_x ، عند مسافة $\frac{1}{4}$ طول الباع . ويجب عندئذ ملاحظة او مراعاة العلاقة التالية :

$$\frac{F_{cr}}{F} > 1.2 \text{ و } 1.3$$

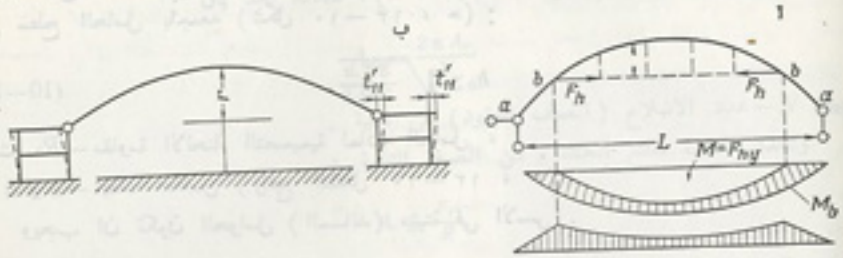
حيث F — القوة الناجمة عن احمال التصميم . وفى بعض الاحيان ، نجد بان ارتفاع مقطع العقد ، يحدد بمراجعة الاستقرار العام للعقد . ولاجل امكانية وضع القطع الانشائية ، من نوع العقود ، على الجدران او الاعمدة ، فى مختلف المبانى ، تستخدم العقود ذات الشدادة (او ذات قضيب ربط) وهذه الشدادة تتحمل او تقاوم قوة الدفع . ويبين الشكل (١٠ — ١١) ، عقدا بشدادة ، استخدم فى تسقيف قصر الرياضة ، الواقع فى منطقة لوشنيكى بموسكو .

ان الدفع (القوة فى الشدادة او قضيب الربط) يحدد فى هذه الحالة ، مع أخذ تمدد الشدادة فى الاعتبار .



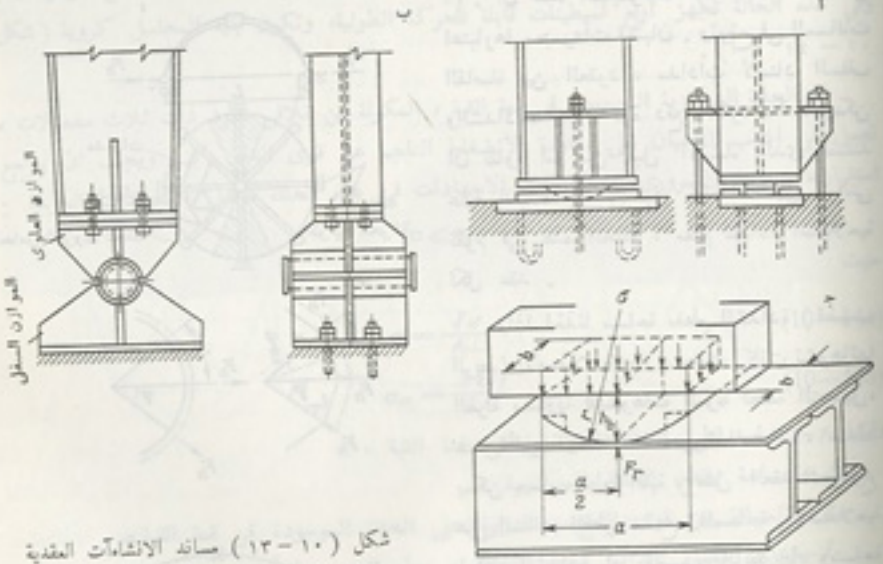
شكل (١٠ — ١١) العقد المتصل بشدادة المقام فى سقف قصر الرياضة فى موسكو :
١ — العقد ، ٢ — الشدادة ، ٣ — منور التهوية ، ٤ — مسند ثابت ، ٥ — مسند متحرك

ويمكن زيادة ارتفاع مستوى الشدادة ، بوضعها فوق المساند (الحوامل) ، وبذلك يزداد الارتفاع النافع للمبنى . وفى هذه الحالة ، نجد بان العقد فى الاقسام $a — b$ (شكل ١٠ — ١٢ ، أ) ، يقاوم الانحناء مثل العتبة البسيطة ، اما تأثير تصريف الحمل الناجم عن قوة الدفع F_h فى الشدادة ، فانه لا يشمل الا ذلك الجزء من العقد ، الواقع فوق الشدادة (احداثياته الرأسية y).



شكل (١٠ — ١٢) طرق زيادة الابعاد العامة للمرافق السكنية فى الانشاآت العقدية

ولزيادة الابعاد الداخلية للمبنى ، واستخدام النسبة $\frac{r_0}{L}$ التى تساوى تقريبا ما يتراوح بين $\frac{1}{5}$ و $\frac{1}{6}$ ، بصورة اقتصادية، يمكن وضع العقود على انشاآت ثانوية جانبية (شكل ١٠ — ١٢، ب) ، او على اعمدة مربعة او مستطيلة . وفى هذه الحالة ، يتم تحديد قوة الدفع من الصيغة (8—10) ، وفيها يجب ان تضاف الى المقدار δ_{11} الموجود فى المقام، ازاحة المسند (الحامل) δ'_{11} ، الناجمة عن وحدة القوة الافقية .



شكل (١٠ — ١٣) مساند الانشاآت العقدية

ان مساند او حوامل العقود الواسعة الابواع ، عندما تتراوح القوى الطولية فيها بين ٨٠٠ — ١٢٠٠ طن ، تصنع عادة من المصبوبات الفولاذية ، مع جلبة اسطوانية ، كما هى الحالة فى حوامل الجسور (شكل ١٠ — ١٣ ، ب و ١٠ — ٩ ، ح) . وعندما تكون القوى المذكورة

اقل من ذلك ، تستخدم حوامل تلاسية (شكل ١٠ — ١٣ ، او شكل ١٠ — ٦ ، أ) . ويمكن حساب مثل هذه الحوامل ، باستخدام الصيغة (10—4) ، مع اخذ $D=2r$ (حيث r نصف قطر سطح الحامل) ، واخذ $N=1$. ويحدد التخن الضروري للحامل h_b ، على فرض انحنائه على امتداد مقطع التلاس مع لوح تحميل الشبكة ، وعلى فرض التوزيع المنتظم لرد فعل الارتكاز ، على سطح الحامل باجمعه (شكل ١٠ — ١٣ ، ح) :

$$h_b \geq \sqrt{\frac{3F_r a}{2R_b b}} \qquad (10—12)$$

حيث R_b — مقاومة الانحناء التصميمية لمادة الحامل ،

a و b — ابعاد الحامل (راجع الشكل ١٠ — ١٣ ، ح) .

ويجب ان تكون الحوامل (المساند) مثبتة في الاسس .

٢ — السقوف القبية

ان السقوف القبية متطقية جدا من الناحية العملية ، لتسقيف المباني المدورة على الاغلب . وهناك ثلاثة انواع رئيسية من القبب ، وهي : القبب المضلعة ، القبب المضلعة المزودة بحلقات والقبب المتعددة الزوايا .

أ) ان القبب المضلعة في جوهرها، هي عبارة عن مجموعة مؤلفة من عقود تكتيف ذات مفصلتين او ثلاث مفصلات ، مع محامل موضوعة او مرتبة حول محيط دائرة (شكل ١٠ — ١٤ ، أ) . ان هذه المجموعات (الانظمة) ، يمكن اعتبارها مجموعات قضبان . وتوضع في المسافات الفاصلة بين العقود ، مدادات لاسناد السقف والشدادات . ان قوة دفع العقود F_h ، يمكن ان تتاوم اما من قبل الانشاء الذي تستند عليه القبة ، او من قبل حلقة التحميل ، التي تقوم في هذه الحالة ، مقام شدادة اصطلاحية لكل عقد .

شكل (١٠ — ١٤) الرسوم التخطيطية للقبب

واذا اخذنا مساحة مقطع الشدادة (قضيب الربط) الاصطلاحية A_{sb} ، بحيث كانت تشوهاتها المرنة مساوية للتشوهات المرنة لحلقة التحميل، عند تأثير الاحمال المحورية المتماثلة ، عندئذ يمكن حساب قطعة القبة ، مثل العقد الموضوع على امتداد القطر ، مع المساحة الاصطلاحية لمقطع الشدادة او قضيب الربط A_{sb} ومساحة التحميل ، المخططة في الشكل (١٠ — ١٤ ، أ) . واذا صنعت حلقة التحميل على هيئة مضلع (شكل ١٠ — ١٤ ، ب) ، عندئذ نجد بان :

$$A_{sb} = \frac{2LA_r}{L_r}\sin^2\frac{\varphi}{2}$$

حيث L_r — طول قسم الحلقة ، الواقع بين الاضلاع ،

φ — الزاوية المحصورة بين الاضلاع .

واذا كانت الحلقة مدورة (شكل ١٠ — ١٤ ، ح) ، عندئذ نجد بان :

$$A_{sb} = \frac{2\pi A_r}{N}$$

حيث N — عدد الاضلاع (انصاف العقود) في القبة .

وتحدد مساحة مقطع الحلقة ، من الصيغة التالية :

$$A \geq \frac{F_r}{R}$$

حيث F_r — القوة في حلقة التحميل ، وهي في الحلقة المضلعة تساوي ما يلي :

$$F_r = \frac{F_h}{2\sin\frac{\varphi}{2}} \qquad (10—13a)$$

وفي الحلقة المدورة ، تساوي ما يلي :

$$F_r = \frac{F_h r}{L_r} \qquad (10—13b)$$

وتوضع حلقة التحميل اما على الواح مستوية ، او على محامل تلاسية او محامل اسيطينات . وفي هذه الحالة تجهز اربع اسيطينات قابلة للحركة الطولية، وتكون بقية المحامل كروية (شكل ١٠ — ١٤ ، أ) .

ان الحلقة المركزية الموجودة في قمة القبة ، المكونة من تلاقي عقود ذات ثلاث مفصلات ، تعمل في اغلب الاحيان على مقاومة الانضغاط الناجم عن قوى الدفع F_h ، ويجب ان يراجع استقرارها . ومن الضروري ان لا تزيد الاجهادات في هذه الحلقة ، على الاجهادات الحرجة :

$$\sigma \leq \sigma_{cr}$$

حيث

$$\sigma = \frac{F_h r}{A_r L_r} \qquad (10—14a)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{3EI_r}{A_r r^2} \qquad (10—14b)$$

وفيها r — نصف قطر الحلقة المركزية في قمة القبة ،

A_r — مساحة مقطع الحلقة المذكورة ،

L_r — المسافة بين قوى الدفع ، المؤثرة على الحلقة الموجودة في قمة القبة ،

I_r — عزم القصور الذاتي لمقطع الحلقة ، حول المحور الرأسي .

وعندما تكون الاضلاع على هيئة عقود ذات مفصلتين ، يتعرض مقطع الحلقة المركزية ، ليس الى الانضغاط فحسب ، بل الى الانحناء ايضا ، ولذلك يجب ان يحسب المقطع كذلك ، بالنسبة لمقاومة العزم الكلي ، المساوي للعزم الناشئ في موضع اتصال او ارتباط الضلع مع الحلقة .

ويكون مقطع الحلقة اما صندوقي الشكل ، مؤلف من مجريين او من مقطعين شكل—I ، او يكون على هيئة—H ، ومؤلف من قطع مدلفنة .

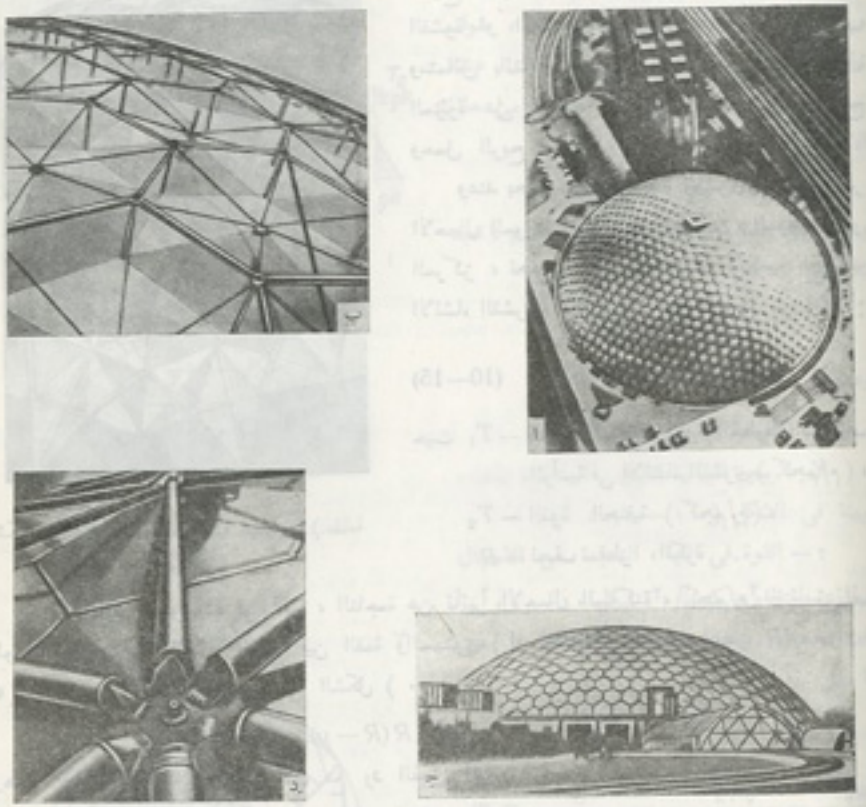
ب) القبب المضلعة المزودة بحلقات—اذا كانت جميع المدادات الحلقية ، في القبة المضلعة ، التي تمثل في جوهرها نظاما او مجموعة قضيبية من العقود ، المربوطة بواسطة حلقة تحميل فقط ، قد صممت (اي المدادات الحلقية) لمقاومة الاحمال ، عندئذ تحصل على قطعة انشائية فراغية (ذات ثلاثة ابعاد) ، مع عدد من الحلقات ، التي تستخدم بمثابة شدادات اضطلاعية لعدد من العقود المنفردة . ان مثل هذه القبة تسمى بالقبة المضلعة ذات الحلقات . وهي احسن من الناحية العملية واخف وزنا من القبة المضلعة ، وذلك لان كافة القطع التي فيها تقريبا ، تشارك في مقاومة الاحمال . ويبين الشكل (١٠ — ١٤ ، د) ، قبة مضلعة مزودة بحلقات ، مع ثلاثة صفوف من الحلقات ، تحتوى تبعا لذلك على ثلاث قوى اضافية مجهولة ، هي X_1 ، X_2 ، X_3 . ولكل حلقة من الحلقات نصف قطرها الخاص r ، وطولها المعين L_r . وفيما تبقى ، يكون الحساب مماثلا لحساب القبة المضلعة ، ويجرى بنفس الطريقة المتبعة بالنسبة لمجموعة العقود ، التي تحتوى على عدد من الشدادات الاضطلاعية .

ح) القبب المتعددة الزوايا (الشبكية) — يمكن انشاء القبة المتعددة الزوايا ، بعدة طرق متنوعة . مثلا ، يمكن تقسيم كرة القبة ، الى اضلاع باتجاه خط التنصيف الرأسي ، واضلاع حلقية ، ووضع ضلع قطري في كل مستطيل من المستطيلات الناتجة عن ذلك . وفي مثل هذا التصميم ، سوف تختلف اطوال القطع في كل طبقة ، وتختلف الزوايا الموجودة بينها ، الامر الذي يؤدي الى بذل جهود كبيرة للغاية ، في سبيل اقامة مثل هذا الانشاء (القبة) . ولتجنب تنوع القطع الانشائية ، يكون من المنطقي عمليا ، استخدام طرق هندسة الاشكال المتعددة السطوح (polyhedrons) ، التي تقع ضمن الكرة . والمعروف ان عدد هذه الاشكال المتعددة السطوح الواقعة ضمن الكرة ، هو خمسة اشكال ، ومن بينها الشكل الذي يحتوى على اكبر عدد من السطوح المتطابقة (٢٠

شكل (١٠ — ١٥) الشكل ذو العشرين وجها وتطوره

سطحا) ، والذي يطلق عليه اسم ذي العشرين وجها—(icosahedron) (شكل ١٠ — ١٥ ، أ) . وعند وجود نوعين مختلفين من السطوح او الوجوه ، تحصل على شكل متعدد السطوح ، ذي ٨٠ وجها (شكل ١٠ — ١٥ ، ب) ، وعند وجود خمسة انواع مختلفة من السطوح او الوجوه ، تحصل على شكل متعدد السطوح ، ذي ٣٢٠ وجها (شكل ١٠ — ١٥ ، ح) وهلم جرا . وقد تم على هذا الاساس او المبدأ ، انشاء عدد كبير من هذه القبب الجيوديسية .

ويبين الشكل (١٠ — ١٦ ، أ و ب) ، قبة انيمت في مدينة باتون روج في الولايات المتحدة ، يبلغ قطرها ١١٨ م وارتفاعها ٣٦,٥ م . وتتألف كل خلية من خلايا القبة ، من جزء هيكلي مسدس ومحدب ، ملحوم في موقع الانشاء ، من الواح فولاذية ثخنها ٣,٢ مم ، ومن اطار انبوبي سداسي الشكل ، متصل مع الجزء الهيكلي اللوحي ، بواسطة قضبان مدورة . وقد بلغت كمية المعدن المستهلك في بناء هذه القبة ٥٥,٥ كجم لكل متر مربع من مساحة الارضية .



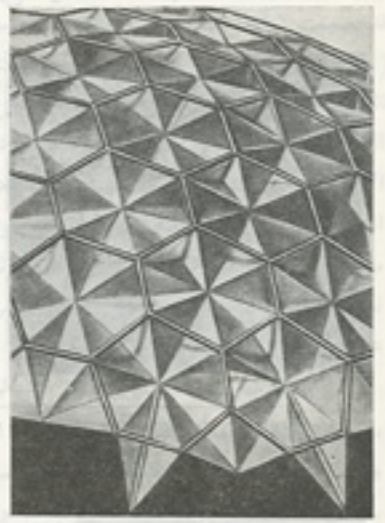
شكل (١٠ — ١٦) قبب شبكية قطرها ١١٨ م

وقد أدت بعض صعوبات تجميع او تركيب هذه القبة ، التي تطلبت دقة كبيرة في العمل ، الى تغيير التصميم ، عند انشاء قبة مماثلة في منطقة (وود ريفر) في الولايات المتحدة ، والى اتباع طريقة مبتكرة في التركيب . ان الاطار او الهيكل الانبوبي ، الذي يكون الشبيكة المثلثة ، لحم مباشرة مع تمم الاجزاء الهيكلية اللوحية المحدبة ، باستخدام الواح تقوية مدورة (شكل ١٠ — ١٦ حو د) .

ان القسم المركزي من القبة ، الذي يبلغ ارتفاعه ١٠ م (حتى قطر قدره ٦١ م) ، تم تجميعه على اسقالات معدنية مؤقتة (metal falsework) . وبعد ذلك رفعت قشرة القبة بواسطة مرافع خاصة ، وسحبت الاسقالات المؤقتة ، ثم غطيت القشرة من قاعدتها ، بنسيج من النايلون ،

بحيث تكون تحت القشرة فراغ محكم السد، ضخ فيه الهواء بالضغط . وقد تم على هذه الوسادة الهوائية ، تجميع واقامة القسم السفلى للقبة ، حتى حلقة التحميل .

ويبين الشكل (١٠ — ١٧) تصميم قبة الومنيومية ، مؤلفة من اجزاء هيكلية على شكل المعين ، وكل جزء منها عبارة عن لوح محنى مع شكلات انضغاط . ويمكن حساب القبة المتعددة الزوايا (الشبكية) ، بنفس طريقة حساب الانشاء القشرى ، باتباع نظرية القشريات او الاغشية . وهنا تعتبر القشرة او الانشاء القشرى ، بمثابة جسم صلب ومتماثل بالنسبة للمحور . وعادة تتألف الاحمال المؤثرة على القبة ، من وزن القبة وحمل الثلج وحمل الريح .



شكل (١٠ — ١٧) قبة شبكية الومنيومية (مقامة في موسكو)

وعند بحث توازن الانشاء القشرى ، تحت تأثير الاحمال الموزعة بانتظام p كجم/م^2 ، الموجهة نحو المركز ، نحصل على المعادلة الاساسية لحساب الانشاء القشرى الكروى (راجع الصفحة ٤١٨)* :

$$T_1 + T_2 = pR \qquad (10-15)$$

حيث T_1 — القوة المؤثرة باتجاه خطوط التنصيف الرأسية فى الانشاء القشرى (كجم/م) ،

T_2 — القوة الحلقية (كجم/م) ،

R — نصف قطر الكرة .

١ — القوى الموجودة فى القبة ، الناجمة عن تأثير الاحمال الساكنة ، كجم/م^2 — ترمز الى الوزن الكلى لجزء القبة ، الواقع بين القمة والمستوى (او المقطوع بنصف القطر R ، بزاوية φ) ، بالرمز G ، كما مبين فى الشكل (١٠ — ١٨ ، أ) :

$$G = -g\,2\pi R(R-y)$$

وهذا الوزن الكلى ، سوف يتعادل مع رد الفعل الرأسى :

$$T_1\,2\pi r\sin\varphi = G \qquad (10-16)$$

ومنها نستخرج القوة المؤثرة باتجاه خطوط التنصيف الرأسية T_1 ، وتساوى ما يلى :

$$T_1 = \frac{G}{2\pi r\sin\varphi} = -g\,\frac{R^2}{R+y} = -g\,\frac{R}{1+\cos\varphi} \qquad (10-17)$$

ويتم ايجاد القوة الحلقية T_2 ، من الصيغة (15—10) ، مع التعويض عن الضغط العمودى على سطح الانشاء القشرى ، بالحمل الناجم عن وزن القطع الانشائية $p = -g\cos\varphi$.

$$-g\,\frac{R}{1+\cos\varphi} + T_2 = -g\cos\varphi\,R$$

* فى الصفحة ٤١٨، اخذت القوتان T_1 و T_2 ، على هيئة قوتين محصلتين ، مقاستين بالكيلوجرامات .

ومنها نجد ان :

$$T_2 = -Rg\left(\cos\varphi - \frac{1}{1+\cos\varphi}\right)$$

او

$$T_2 = -Rg\left(\frac{y}{R} - \frac{1}{1+\frac{y}{R}}\right) = -g\,\frac{y^2+yR-R^2}{y+R} \qquad (10-18)$$

ويحل المعادلة $y^2+yR-R^2=0$ ، سوف نجد الخط الحدى او الفاصل ، الذى عنده تساوى القوة صفرا ، ويجرى تحولها من حالة الانضغاط الى حالة الشد :

$$y = 0.618\,R;\quad \varphi = 51°49'$$

وعند قمة القبة ، عندما تكون $y = R$ ، نجد ما يلى :

$$T_1 = T_2 = -g\,\frac{R}{2}$$

وعندما تكون $y=0$:

$$T_1 = T_2 = gR \qquad (10-19)$$

ان الرسوم البيانية للقوى ، المناظرة لذلك ، مبينة فى الشكل (١٠ — ١٨ ، أ) .

٢ — القوة فى القبة ، الناجمة عن الاحمال الموزعة بانتظام q كجم/م^2 (شكل ١٠—١٨ ، أ).

تحصل بنفس الطريقة المماثلة ، على ما يلى :

$$G = -q\pi r^2$$

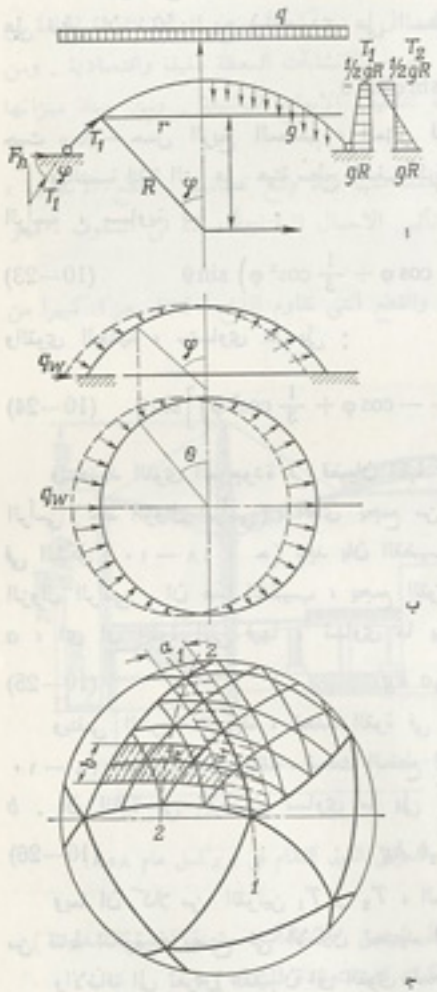
و

$$T_1 = \frac{G}{2\pi r\sin\varphi} = -\frac{\pi r^2 q}{2\pi r\frac{r}{R}} = -\frac{qR}{2} \qquad (10-20)$$

وبتعويض $p = -q\cos^2\varphi = -\frac{qy^2}{R^2}$ فى معادلة الانشاء القشرى (15—10)، نحصل على ما يلى :

$$T_2 = -\frac{qy^2}{R^2}R + \frac{qR}{2} = -\frac{q}{2R}(2y^2 - R^2) = -\frac{qR}{2}\cos 2\varphi \qquad (10-21)$$

واذا فرضنا بان $2y^2 - R^2 = 0$، فسوف نجد بان $y = 0.707$ ($\varphi = 45°$) ، وعندها تصبح القوة الحلقية مساوية للصفر ، اى تتلاشى .



ب

ج

شكل (١٠ — ١٨) رسم توضيحى لحساب القبة الشبكية

وعند قمة الحلقة ، عندما تكون $y=R$ ، نجد ان :

$$T_1 = T_2 = -\frac{qR}{2}$$

وعندما تكون $y=0$:

$$T_1 = -\frac{qR}{2}\ ;\quad T_2 = +\frac{qR}{2} \qquad (10-22)$$

٣ – القوى في القبة ، الناجمة عن حمل الريح – تحدد القوى الناجمة عن حمل الريح ، على فرض ان ضغط الريح (العمودى على السطح) يساوى ما يلى (شكل ١٠ – ١٨ ، ب) :

$$q_w = q_{w.o} \sin\varphi \sin\theta$$

حيث $q_{w.o}$ – حمل الريح المصمم ، المؤثر فى المستوى الرأسى .

وبالنسبة للقبة التى على هيئة سطح نصف كرة ، تكون القوى المؤثرة فى اتجاه خطوط التنصيف الرأسية ، مساوية لما يلى :

$$T_1 = q_{w.o} R \frac{\cos\varphi}{\sin^3\varphi}\left(\frac{2}{3} - \cos\varphi + \frac{1}{3}\cos^3\varphi\right)\sin\theta \qquad (10-23)$$

والقوى الحلقية ، ستساوى ما يلى :

$$T_2 = q_{w.o} R\left[\sin\varphi - \frac{\cos\varphi}{\sin^3\varphi}\left(\frac{2}{3} - \cos\varphi + \frac{1}{3}\cos^3\varphi\right)\right]\sin\theta \qquad (10-24)$$

ولتحديد القوى الموجودة فى قضبان القبة ، يمكن دائما اختيار قضيب باتجاه خط التنصيف الرأسى (خط الزوال الرأسى) ، الذى يجمع من مساحة « القوى » المحدودة، القوة T_1 . مثلا ، فى الشكل (١٠ – ١٨ ، ح) نجد بان القضيب i_1 فى المقطع 1—1 ، موجود على امتداد خط الزوال الرأسى . ان هذا القضيب ، يجمع القوة من المساحة المخططة فى الشكل ، التى عرضها a ، اى ان القوة التى فيها ، تساوى ما يلى :

$$F_1 = T_1 a \ kg \qquad (10-25)$$

وبنفس الطريقة السابقة ، تحدد القوة فى القضيب i_2 ، الموجود على امتداد الحلقة (شكل ١٠ – ١٨، ح) . ولاجل ذلك ، نبحث المقطع 2—2، مع اعتبار ان عرض مساحة « القوة » يساوى b . ان القوة فى القضيب تساوى ما يلى :

$$F_2 = T_2 b \ kg \qquad (10-26)$$

وبما ان كلا من القوتين T_1 و T_2 ، المقاستان ؛ كجم/م ، يمكن ان تعينان فى اية نقطة من نقاط الكرة ، يصبح فى الامكان تحديد القوى فى جميع قضبان القبة .

والاضافة الى تعرض القضبان الى القوى المحورية ، يمكنها تبعا لتصميم السقف ، ان تتعرض الى الانحناء الناجم عن تأثير الحمل الموضعى ، الذى يجب ان يؤخذ فى الاعتبار ، عند اختيار مقاطع القضبان . وبالاضافة الى ذلك ، يجب ان تكون للقضبان ، فى المستوى الرأسى ، جسؤة كافية (لتجنب فقدان الاستقرار) ، تحقق الشرط التالى :

$$I_d \geq \frac{T_1 R a}{0.5E}\sqrt{\frac{T_1 R}{0.5E}}$$

وعادة تصنع مقاطع قطع القبة ، اما على هيئة انبوب ، او من زوايا او مجارى او مقاطع – T ، صغيرة نسبيا .

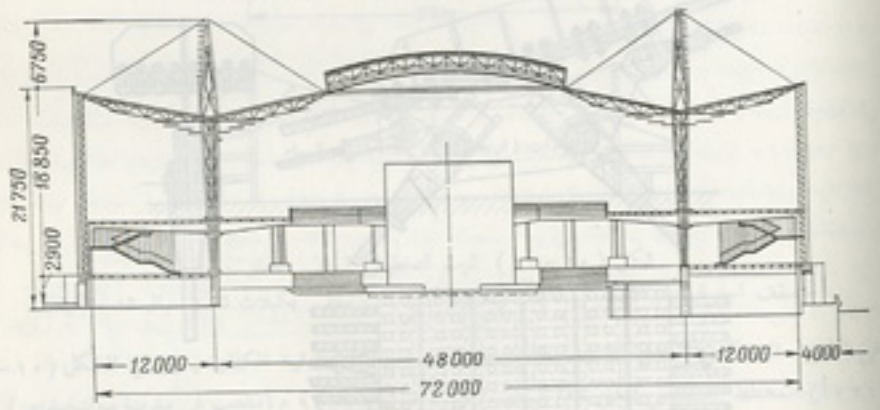
٣ – الانشاءآت المعلقة

ان القطع الانشائية الحاملة الرئيسية، فى الانشاءآت المعلقة ، هى الاربطة او الشدادات ، المؤلفة من الكبلات او الحبال السلكية .

ونظرا لمقاومة الحبل السلكى العالية (من ١٢٠ الى ٢١٠ كجم/سم٢) ، والا ستفادة التامة من مساحة المقطع العرضى للحبل ، الذى يقاوم الشد ، تصبح الانشاءآت المعلقة خفيفة واقتصادية . ومن الملائم للغرض ، استخدام مثل هذه الانشاءآت ، لتسقيف الابواع الواسعة . ومن جملة ميزاتها الحسنة ، هى سرعة تجميع او تركيب الانشاء .

ان العيب الاساسى ، الذى يثير بعض المصاعب عند وضع تصاميم القطع الانشائية ، هو قابلية التشوه العالية للانشاءآت المعلقة ، عند تأثير الاحمال المتناوبة ، اما فى السقوف ، فهو صعوبة صرف المياه .

ان الانشاءآت المعلقة ، هى انشاءآت دفعية . والقطع التى تقاوم الدفع ، تمثل جزءا كبيرا من الانشاء من حيث استهلاك المعدن .

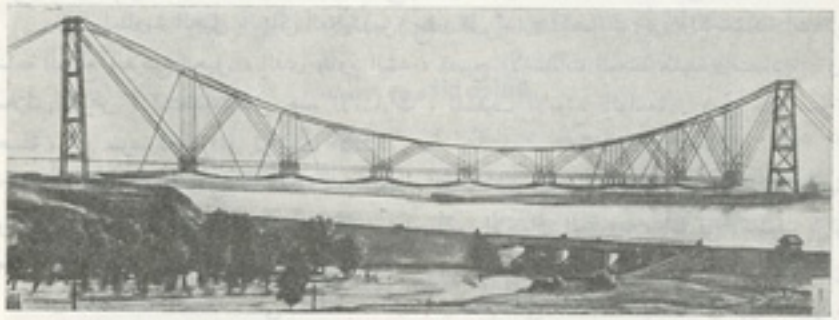


شكل (١٠ – ١٩) جناح الاتحاد السوفيتى فى المعرض الدولى المقام فى بروكسل عام ١٩٥٨

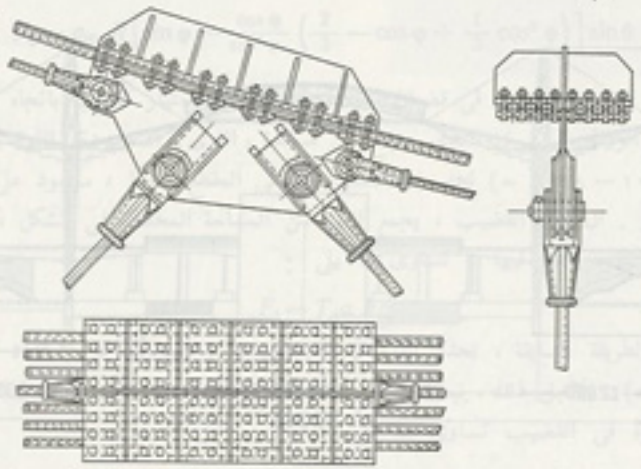
ويمكن تقسيم الانشاءآت المعلقة (المشدودة) الى نوعين : انشاءآت مستوية (قضيبية مشدودة) ، وانشاءآت فراغية (على هيئة اغشية او قطع انشائية شبكية ، اى متعددة الزوايا) .

ويمكن اعتبار مبنى جناح الاتحاد السوفيتى ، فى المعرض الدولى المقام فى مدينة بروكسل عام ١٩٥٨ ، مثالا عمليا للانشاء الكابولى المعلق ، وجرى فيه تثبيت الشدادة من احدى الجهات مع الكابول، وعن طريق قوائم الهيكل الخارجى، التي ربطت مع الاسس، اما من الجهة الاخرى، فقد كانت الشدادة محملة بوزن القسم المتوسط من السقف (شكل ١٠ – ١٩) . وهناك عدد من الجسور (الكبارى) ، المقامة عمليا بهذه الطريقة ، اى بطريقة التعليق او الشد .

ومن الانشاءآت الناجحة عمليا والمعقولة جدا ، هى الجمالونات الجسرية المعلقة او المشدودة ، التى بلغ طول باعها ٨٧٤ م ، المستخدمة فى انشاء المعبر المقام عبر نهر الفولجا فى مدينة فولجاجراد (شكل ١٠ — ٢٠) ، وهى الجمالونات المصنوعة من الحبال السلكية (الكبلات) ، حسب التصميم الذى وضعه المهندسان السوفييتيان ف . فاخوركين وج . بوبوف ، عام ١٩٥٥ ، وقد ثبت بانه تصميم جيد من الناحية العملية . ونتيجة للشد المسبق للوتر السفلى ، المصنوع من الحبال



ب



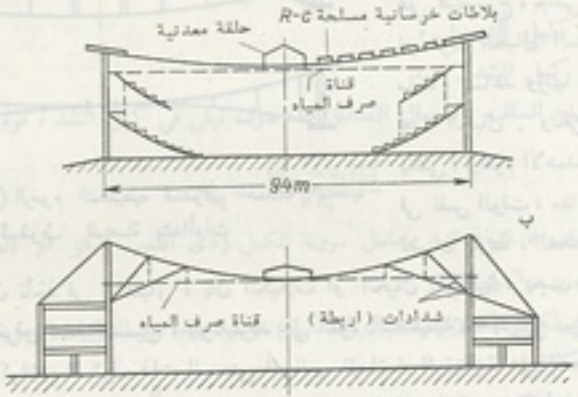
شكل (١٠ — ٢٠) جسر او) كوبرى العبور المقام على نهر الفولجا قرب مدينة فولجاجراد

السلكية ايضا ، تصبح جميع قطع الجمالون مشدودة . والقطع الانشائية لطريق السيارات ، معلقة من مواضع الوصلات . ان قوى الانضغاط التى تظهر فى قطع الجمالون ، عند تعرضه لتأثير احمال التشغيل ، لا تزيد على قوى الشد المسبق ، وهكذا بغض النظر عن وجود قطع قابلة للانثناء (مرنة) ، نجد بان الجمالون يسلك سلوك المجموعة الجاسئة او الصلبة . ويبين الشكل (١٠ — ٢٠ ، ب) تصميم وصلة الوتر العلوى للجمالون .

ان مثل هذه القطع الانشائية ، يمكن ان تستخدم بنجاح ، للسقوف الواسعة الابواع .

وقد تكون القطع الانشائية المعلقة الشبكية الفراغية ، تبعا للمحيط الخارجي للانشاء ، اما اسطوانية الشكل (على محيط مربع) ، او كروية او على هيئة بعض الانشاءآت القشرية الاخرى ، مع منحنى " جاوس " السالب العلامة ، او تكون مزدوجة الانحناء (على شكل سرج) ، وهلم جرا .

ويمكن اعتبار تصاميم الانشاءآت القشرية الاسطوانية والمدورة المعلقة ، من حيث المخطط التصميمى ، بمثابة مجموعة متنوعة من الاسلاك المستوية القابلة للانثناء . ولكن هذه الاسلاك قابلة التشوه الى درجة كبيرة ، ويمكن تحت تأثير الاحمال غير الموزعة بانتظام ، او احمال الريح والمص ، ان تحدث ازاحات كبيرة فى السقف ، فى مختلف الاتجاهات . وللتخلص من الازاحات غير المرغوب فيها ، توضع على الكبلات او الحبل السلكية ، ارضية مؤلفة من بلاطات خرسانية مسلحة ، واثناء عملية التجميع او التركيب تستخدم احمال اضافية اخرى ، وبعد ذلك تملأ المفاصل بالخرسانة فى موقع العمل . وبعد ازالة الاحمال الاضافية ، والارتداد المرن للحبال السلكية ، يبدأ السقف عمله



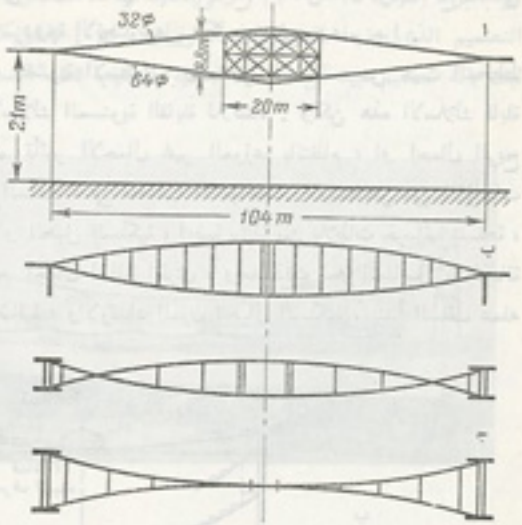
شكل (١٠ — ٢١) الرسم التخطيطى للسقف المعلق :
أ — سقف احد الملاعب العامة فى مدينة مونتفيديو ، ب — سقف بكبلات شد (حبال شد سلكية)

فى الاتجاه المعاكس ، مثل الانشاء القشرى ، ويصبح جاسئا بما فيه الكفاية . ويبين الشكل (١٠ — ٢١ ، أ) المخطط التصميمى لمثل هذا السقف ، ويبلغ طول باعه ٩٤ م (ملعب فى مدينة مونتيفيديو) . وقد ثبتت الحبال السلكية فى هذه الحالة ، فى حلقة خارجية من الخرسانة المسلحة ، قابلة للانضغاط ، اما فى مركز الانشاء ، فقد ثبتت الحبال السلكية فى حلقة معدنية قابلة للشد . اما عملية صرف المياه ، فتتم عن طريق المواسير المعلقة . وعند استخدام الالواح الالومنيومية الخفيفة ، يجب النظر فى اعداد واستخدام حبال شد سلكية (شكل ١٠ — ٢١ ، ب) .

و يمكن تصميم السقوف المعلقة المحدبة ، على هيئة نظام حبلى او كبلى ذى وترين . ويمكن فى هذه الحالة ، وضع عدة تصاميم متنوعة ، مثلا على هيئة " عجلة الدراجة " ، ذات الاقطار السلكية المشدودة والطبلة المركزية (جناح الولايات المتحدة فى المعرض الدولى المقام فى بروكسل عام ١٩٥٨ ، المبين فى الشكل ١٠ — ٢٢ ، أ) . ويمكن انجاز تصاميم اخرى مماثلة ، لا تحتوى على طبلة مركزية ، مع وضع قوائم انضغاط بين الكبلين (شكل ١٠ — ٢٢ ، ب) او قوائم شد (شكل ١٠ —

٢٢ ، ح) . ان مواد التسقيف فى مثل هذه السقوف يمكن ان تكون من الواح البلاستيك نصف الشفاف ، الموضوعة على مدادات خاصة .

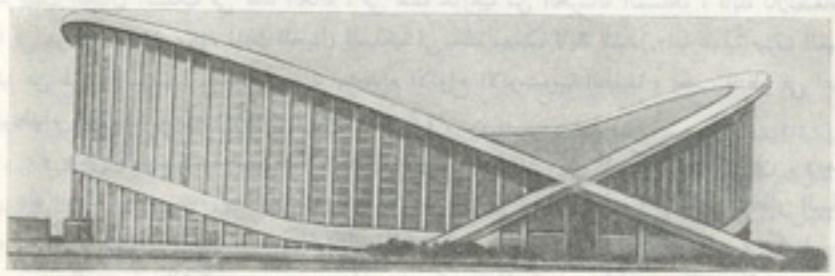
ومن تصاميم السقوف الجيدة من الناحية العملية ، هى السقوف المتعددة الزوايا (الشبكية) المزدوجة الانحناء (شكل ١٠ — ٢٣) . توضع الكبلات او الحبال السلكية الحاملة ، على امتداد السطح المقعر او المنحنى ، اما الحبال السلكية او كبلات الشد ، الموضوعة فى الاتجاه العمودى على الكبلات المذكورة ، فتكون محدبة الى الاعلى . ونتيجة لذلك يتكون سطح على هيئة سرج ، جاسئ نسبيا . وتحصر او تربط الحبال السلكية ، فى عقود مائلة ، يساعد وزنها على شد او توتير هذه الحبال . ولكن وزن العقود لا يكفى ، وتقوم الاعمدة الرأسية الخارجية فى نفس الوقت ، مقام الشدادات ، او قضبان الربط ، المحصورة فى الاساس.



شكل (١٠ — ٢٢) الرسوم التخطيطية للسقوف المعلقة المحدبة والسقوف المتصلة بشداّدات

ويجب ان نأخذ فى الاعتبار ، بان الكبلات او الحبال السلكية ، يجب ، قبل وضعها فى اماكنها ، ان تتعرض للشد المسبق ، بقوة تزيد على القوة التصميمية بما يتراوح بين ٢٠ — ٢٥ ٪ . ولحساب مقاومة كبلات السقوف ذات المنحنى السالب العلامة، المستندة على المحيط على هيئة قطع ناقص ، يمكن استخدام الحساب التقريبى ، وفقا للرسم البيانى الخاص بالقطع التى لا تتشوه .

تستخدم الرمزين F_{h_1} و F_{h_2} ، للاشارة الى القوى فى قطع التحميل وقطع الشد على التوالى ، والرمزين b_1 و b_2 — للاشارة الى القطرين الاكبر والاصغر للقطع الناقص ، و δ_1 — الى انحراف كبل التحميل ، و δ_2 — الى انحراف او سهم انحناء كبل الشد ، و q — الى شدة الاحمال الخارجية الموزعة بانتظام (الاحمال الساكنة والمتحركة) المقاسة بـ طن/م ، $q_1 = q_0 br\ t/m$


شكل (١٠ — ٢٣) سقف شبكى مزدوج الانحناء (على هيئة سرج)

— للاشارة الى شدة الاحمال المتحركة ، المساوية لحاصل ضرب الحمل المؤثر على كل متر مربع q_0 فى المسافة بين حبال التحميل b_{br} ، والرمز q_{ps} — للاشارة الى شدة الاجهاد المسبق ، المنتقل من كبلات الشد الى كبلات التحميل .

وتحدد قيمة المقدار q_{ps} ، على فرض ان حلقة التحميل ، سوف لا تتعرض للانحناء فى المستوى الافقى ، وان كل كبل شد ، ينقل حملا متساويا الى كبل التحميل ، اى ان كلا الكبلين يحملان باحمال موزعة بانتظام ، ولذا يجب ان يحافظا على شكلهما ، الذى على هيئة قطع مكافئ :

$$q_{ps} = \frac{q}{\frac{\delta_1}{\delta_2} - 1}\ t/m \qquad (10—27)$$

وتساوى القوى فى كبل التحميل ، وبالتالى فى كبل الشد ، ما يلى :

$$F_{h_1} = \frac{(q + q_{ps})\, L_1^2}{8\delta_1}\ , \qquad (10—27a)$$

$$F_{h_2} = \frac{q_{ps} L_2^2}{8\delta_2}$$

حيث L_1 — طول كبل التحميل ،

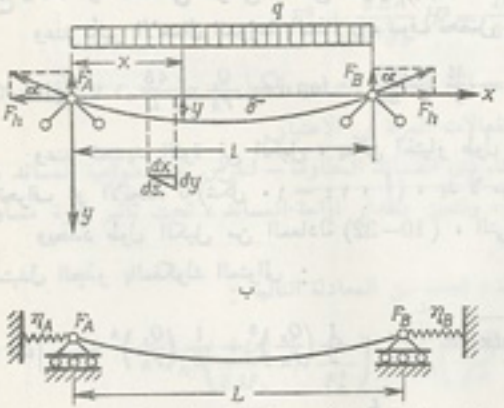
L_2 — طول كبل الشد .

وبعد تحميل السقف بالاحمال المتنقلة q_1 ، سوف تبقى فى كبل الشد ، قوة تساوى ما يلى :

$$F_{h_2} = \frac{(q_{ps} - q_1) L_2^2}{8\delta_2}$$

وعند اجراء الحساب ، تؤخذ قيمة معامل مرونة الكبل (ذى القلب الكز او الصلب) ، مساوية للمقدار $E = ١٦ \times ١٠^{٦}$ طن/م٢ .

ويجب ان تكون الكبلات (الحبال السلكية) محمية جيدا من المؤثرات الجوية الخارجية، ولهذا الغرض تستخدم كبلات مجلفنة ، او مغطاة بمواد بلاستيكية . وتثبت او تحصر الكبلات ، بطمرها (enbed) فى جلب فولاذية ، وصبها بالسبائك ماركة ЦАМ10-15 و ЦАМ9-1,5 او بمعدن "بابيت"، B—95 وغير ذلك. وتدلى الكبلات فى الجلبة، وتحنى اطراف الاسلاك. ويمكن كذلك حشر الكبلات او الحبال السلكية ، فى علبة خاصة . وفيما يلى نجد بحثا حول طرق حساب الكبلات القابلة للانثناء (الحبال السلكية والشدادات) .



شكل (١٠ — ٢٤) رسم توضيحى لحساب الكبلات المرنة (القابلة للانثناء)

حساب الكبل المرن غير القابل للامتداد — لنفرض بان لدينا كبلا ، معلقا بحرية فى الباع L ، ومحملا باحمال موزعة بانتظام قدرها q (شكل ١٠ — ٢٤ ، أ) .

ولنفرض بعد ذلك ، بان طول الكبل L ، قد اخذ بحيث انه يجعل الانحرافات او الانحناءآت y (او قيمها القصوى — اى سهم الانحناء) ، عند تأثير الاحمال ، صغيرة نسبيا ، وتقع فى حدود $\frac{\delta}{L} = \frac{1}{\nu}$ الى $\frac{1}{30}$. عندئذ يمكن ان تعتبر بان الحمل موزع بانتظام على امتداد الخط الافقى، بينما يكون منحنى توازن الخط المرن ، عبارة عن قطع مكافئ مربع . ان الخاصية المميزة لحساب الكبل القابل للانثناء ، تتلخص فى ان لكل حالة من حالات التحميل ، شكلا مختلفا من اشكال توازن الكبل ، مناظرا لها . وبما ان العزم فى اى مقطع كان من مقاطع الكبل ، يساوى صفرا ، يمكن كتابة هذا الشرط ، بالنسبة للمقطع x ، بالشكل التالى :

$$M_x - F_h y = 0$$

ومنها ينتج ان :

$$y = \frac{M_x}{F_h} \qquad (10-28)$$

حيث M_x — مجموع عزوم كافة القوى الرأسية ، المؤثرة فى القسم الايسر من الكبل ، المساوى لعزم الانحناء فى مقطع العتبة البسيطة .

وبأخذ تفاضل المعادلة (10—28) ، نحصل على ما يلى :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{F_h} \frac{dM_x}{dx} = \frac{Q_x}{F_h} \qquad (10-29)$$

حيث Q_x — قوة القص ، المستخرجة بنفس الطريقة المتبعة فى العتبة البسيطة .

وبمعرفة قيمتى Q و F_h ، يمكن ايجاد القوة الطولية فى الكبل القابل للانثناء :

$$F_t = \sqrt{Q^2 + F_h^2} \qquad (10-30)$$

وهكذا لتعيين او تحديد القوة فى الكبل (الحبل السلكى او الشدادة) ، يجب معرفة الدفع F_h ، او الاحدائى الرأسى لمنحنى التوازن y (او قيمته القصوى ، اى مقدار الانحراف δ) .

وعند تأثير الاحمال الموزعة بانتظام q ، سوف نحصل على ما يلى :

$$M_x = \frac{qL^2}{8}; \quad F_h = \frac{M}{\delta} = \frac{qL^2}{8\delta}; \quad \tan\alpha = \frac{Q}{F_h} = \frac{4\delta}{L} \qquad (10-31)$$

وعند تحديد القوة فى الكبل ، يمكن اختيار طول الكبل S ، الذى له اتصال مباشر مع الانحراف او الانحناء δ (شكل ١٠ — ٢٤ ، أ) ، بد لا من الانحراف او الانحناء بالذات .

ويحدد طول الكبل من المعادلة (10—32) ، التى استخدمت فيها العلاقة (10—29) ، واستبدل الجذر بالمفكوك المتوالى :

$$S = \int_0^L ds = \int_0^L \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \approx \int_0^L \left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{Q_x}{F_h}\right)^2 - \frac{1}{8}\left(\frac{Q_x}{F_h}\right)^4 + \ldots\right] dx \approx$$

$$\approx L + \frac{1}{2F_h^2} \int_0^L Q_x^2 dx \qquad (10-32)$$

ويعتبر المقدار $\int_0^L Q_x^2 dx = D$ بمثابة خاصية مميزة للحمل .

وهكذا يمكن التعبير عن مقدار الدفع F_h ، عن طريق الطول الابتدائى للكبل (طول القسم المدلفن) S :

$$F_h = \sqrt{\frac{D}{2(S-L)}}$$

ويمكن الحصول على قيمة ادق للدفع ، باستخدام احدى الصيغ التالية :

$$F_h = \sqrt{\frac{LD}{S^2 - L^2}} \quad \text{او} \quad F_h = \frac{\sqrt{3LD}}{4\delta} \qquad (10-33)$$

وفيها :

$$D = \int_0^L Q_x\, dx \quad \text{او} \quad D = \int_0^L M_x q_x\, dx \qquad (10-34)$$

وينتج من معادلتى الصيغة (10—33) ، الخاصتين بقيمة F_h ، ما يلى :

$$\sqrt{\frac{LD}{S^2 - L^2}} = \sqrt{\frac{3LD}{4\delta}}$$

ومن هنا تستخرج طول القوس ، للمنحنيات المعتدلة الميل او الانحدار (صيغة ب . تشيبيشيف) :

$$S = \sqrt{L^2 + \frac{16}{3}\delta^2} = L\sqrt{1 + \frac{16}{3}\left(\frac{\delta}{L}\right)^2} \approx L\left(1 + \frac{8}{3}\frac{\delta^2}{L^2}\right) \qquad (10-35)$$

وقد ادرجت فى الجدول (١٠ — ٢) ، بعض قيم المقدار D ، المحسوبة بالنسبة لمختلف انواع الاحمال .

حساب الكبل المرن القابل للانثناء ذى المساند الثابتة — فى الحالة التى تكون فيها قيمة سهم انحناء الكبل ، اقل من : $\frac{\delta}{L} = \frac{1}{r_0} < \frac{1}{20}$ ، عندئذ يجب حسابه ، باخذ التشوهات الاخرى فى الاعتبار . وفى هذه الحالة تحدد قيمة الدفع F_h ، من المعادلة التالية :

$$F_h^3 + \frac{8EA}{3r_0^2 r_s^2} H^2 = \frac{DEA}{2Lr_s^2} \qquad (10-36)$$

حيث E — معامل مرونة الكبل ، A — مساحة المقطع العرضى للكبل ، $r_0 = \frac{L}{\delta}$ و $r_s = \frac{S}{L}$ — هما كميتان محددتان ، بدون أخذ الانفعالات المرنة فى الاعتبار .

حساب الكبل المرن القابل للانثناء ذى المساند المطاوعة — لنفرض بان مطواعية المساند هى η_A و η_B على التوالى (مقاسة بالامتار) ، وتتميز بمقدار ازاحة المساند ، تحت تأثير قوة مساوية لطن واحد فقط (شكل ١٠ — ٢٤ ، ب) .

فان قوة الدفع F_{h_1} فى هذه الحالة ، تحدد من المعادلة التالية :

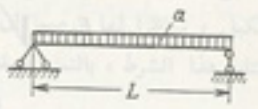
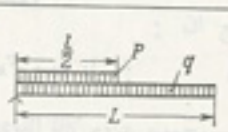
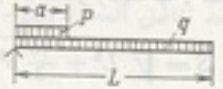
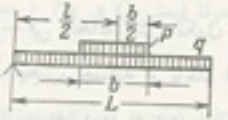
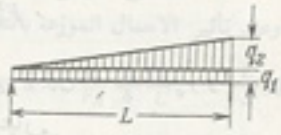
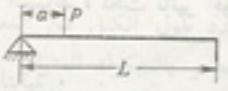
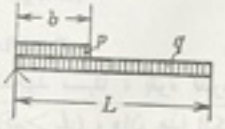
$$F_{h_1}^4 \left(\frac{4Lr_s^2}{EAF_h} + \frac{D}{F_h^4}\right) - F_{h_1}^3 \left(\frac{4Lr_s^2}{EA} + 4\eta\right) + D = 0 \qquad (10-37)$$

حيث F_h — الدفع المستخرج من الصيغة (10—36) ؛ $\eta = \eta_A + \eta_B$.

حساب الكبل المرن القابل للانثناء ، المشدود او المجهد مسبقا ، بقوة قدرها F_{ps} — لنفرض بان لدينا كبلا ، يقل طوله قليلا عن الباع L ، اى $(L > S)$ ، وان هذا الكبل محمل بحمل رأسى ، ومعرض لاجهاد شد مسبق ، بقوة F_{ps} .

جدول ١٠ — ٢

قيم المقدار D المميز للاحمال

التسلسل	الرسم التخطيطي للتحميل	قيمة D (كجم^2/م)	ملاحظات
١		$\frac{q^2L^3}{12}$	
٢		$\frac{q^2L^3}{12}\left(1+\gamma+\frac{5}{16}\gamma^2\right)$	$\gamma=\frac{P}{q}$
٣		$\frac{q^2L^3}{12}[1+(4-3\beta)\beta^2\gamma^2+(6-4\beta^2)\beta\gamma]$	$\beta=\frac{b}{L}$
٤		$\frac{q^2L^3}{12}[1+(3-2\beta)\beta^2\gamma^2+(3-\beta^2)\beta\gamma]$	–
٥		$\frac{q_1^2L^3}{12}+\frac{q_1q_2L^3}{12}+\frac{q_2^2L^3}{45}$	–
٦		$\frac{P^2(L-a)a}{L}$	–
٧		$\frac{q^2L^3}{12}[12\alpha\gamma_1(1-\alpha)(1+\gamma_1)+1]$	$\gamma_1=\frac{P}{qL}$ $\alpha=\frac{a}{L}$

واذا رمزنا بالرمز F_h ، الى الدفع الكلي ، الناشئ في الكبل عند التأثير الاني لكل من الاجهاد المسبق ، الذي تسببه القوة F_{ps} ، والحمل الرأسي (اي ان القوة F_{ps} ، ستشكل جزءا من رد فعل الارتكاز) ، عندئذ سوف يكون في استطاعتنا ، ايجاد الدفع F_h ، من المعادلة التالية :

$$F_h^3 - F_{ps}F_h^2 = \frac{DEA}{2L} \qquad (10-38)$$

وفي الحالة الخاصة ، التي فيها طول الكبل يساوي طول الباع ، ولا يوجد هناك اجهاد شد مسبق ، اي : $S=L$ و $r_s=1$ و $r_0=\infty$ (حساب السلك) ، نحصل على ما يلي :

$$F_h = \sqrt[3]{\frac{DEA}{2L}} = \sqrt[3]{\frac{q^2L^2EA}{24}} \qquad (10-39)$$

مثال ١٠ — ١ : كبل فولاذي يمتد على باع طوله $L=100$ م ، ويزن $g=10$ كجم/م ، ومساحة مقطعه العرضي تساوي $A=12$ سم^2 ، ومعامل مرونته يساوي $E=16\times10^6$ طن/م^2 . ويؤثر على الكبل المذكور ، حمل قدره $P=1$ طن ، مسلط في وسط او منتصف الباع .
المطلوب ايجاد القوة في الكبل ، ومقدار انحرافه او انحنائه ، اذا كان الانحراف الابتدائي يساوي $\delta=5$ م .

الحل : نبدأ بتحديد خواص الكبل ، كما يلي :

$$EA = 16\times10^6\times12\times10^{-4} = 19200\ t$$

$$D = \frac{10^2\times10^{-4}\times100^3}{12}[12\times0.5\times1(1-0.5)(1+1)+1] = 58.3\ t^2/m$$

(راجع الحقل ٧ من الجدول ١٠ — ٢ ، حيث $\alpha=0.5$ و $\gamma_1=1$) :

$$r_0 = \frac{L}{\delta} = \frac{100}{5} = 20$$

وبعد ذلك ، نجد من الصيغة (10—35) الطول الابتدائي للكبل (طول القسم المدلفن او الغفل)

$$S = \sqrt{100^2+\frac{16}{3}\times5^2} = 100.665\ m$$

ومنها نجد بان :

$$r_s = \frac{S}{L} = 1.00665;\quad r_s^3 = 1.02$$

وبتعويض القيم التي حصلنا عليها ، في المعادلة (10—36) ، نحصل على ما يلي :

$$F_h^3 + 125.49\,F_h^2 = 5487\ t$$

ومنها نجد بان :

$$F_h = 6.45\ t$$

ونستخرج القوة القصوى في الكبل ، من المعادلة (10—30) :

$$F_{l.\max} = \sqrt{1^2+6.45^2} = 6.53\ t$$

والعزم الاقصى في وسط الباع ، يساوي :

$$M_{\max} = \frac{0.01\times100^2}{8} + \frac{1\times100}{4} = 37.5\ t/m$$

والاحداثي الرأسي لخط توازن الكبل في وسط الباع ، سيساوى ما يلى :

$$y_{max} = \delta = \frac{M_{max}}{F_h} = \frac{37.5}{6.45} = 5.81\ m$$

مثال ١٠ — ٢ : يطلب ايجاد مقدار القوة اللازمة للاجهاد (الشد) المسبق ، للكبل الذى جرى بحثه فى المثال السابق ، لكى يصبح انحرافه او انحناءه فى وسط الباع ، مساويا لـ ١ م .

الحل :

$$F_h = \frac{M_{max}}{y_{max}} = \frac{37.5}{1} = 37.5\ t$$

ونوجد قوة الاجهاد (الشد) المسبق ، من المعادلة (38—10) :

$$F_{ps} = 37.5 - \frac{58.3 \times 19200}{2 \times 100 \times 37.5^2} = 33.52\ t$$

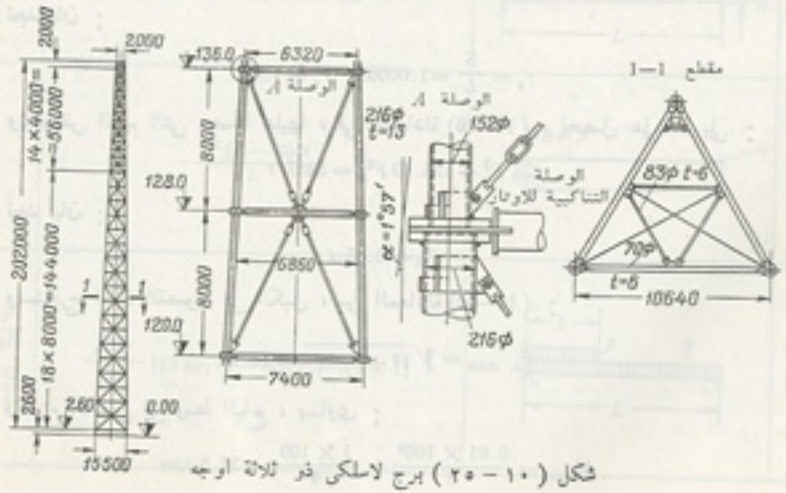
البند الحادى والخمسون — الابراج والصوارى

١ — معلومات عامة

ان الانشاءآت المرتفعة ، ذات المقطع العرضى الصغير نسبيا ، والنسبة الكبيرة بين الارتفاع والعرض الاقصى ، تسمى بالابراج او الصوارى .

والبرج هو عبارة عن انشاء وحيد الكابول (single cantiliver) ، قائم ذاتيا بحرية ، ومثبت من قاعدته فى الاساس . اما الصارية ، فهى عبارة عن انشاء ، مثبت تثبيتا مفصليا فى الاساس ، ومربوط او مكتف بشدادات او قطع اخرى .

وحدة البرج من مستوى يتراوح ارتفاعه بين ١٢٠,٠ و ١٣٦,٠



شكل (١٠ — ٢٥) برج لاسلكى ذو ثلاثة اوجه

ومن امثلة الانشاءآت التى على هيئة ابراج ، هى ابراج الماء وابراج اللاسلكى والتلفزيون ، وابراج خطوط نقل القدرة الكهربائية ، وابراج انظمة الارحال اللاسلكى (radio-relay systems) ، وهلم جرا . ويبين الشكل (١٠ — ٢٥) برج لاسلكى مثلث الشكل ، مصنوعا من مواسير يبلغ ارتفاعها ٢٠٢ م . ومن امثلة الانشاءآت التى على هيئة الصوارى ، هى صوارى اللاسلكى (شكل ١٠ — ٢٧) ، وصوارى التلفزيون (شكل ١٠ — ٢٨) وغير ذلك .

ونظرا للارتفاع الكبير ، للانشاءآت التى على هيئة الابراج والصوارى ، يعتبر الحمل الرئيسى ، الذى يحدد الشكل التصميمى للانشاء ، الى درجة ما ، هو حمل الريح (المواصفات القياسية للبناء فى الاتحاد السوفييتى) .

اما الاحمال الرأسية ، فلا تلعب دورا الا فى بعض الانشاءآت المعينة ، مثل ابراج المياه ، او فى الانشاءات التى على هيئة الصوارى ، التى تتعرض لتأثير المركبة العمودية لقوة شد الشدادات .

ان حمل الريح التصميمى ، الموزع بانتظام ، يحدد بواسطة الصيغة التالية :

$$q = QC_eC_\omega A \qquad (10—40)$$

حيث $Q = q_0 n$ — تمثل معدل علو سرعة الريح (كجم/م^2) ، عند الارتفاع المعين ، مضروبا فى عامل تحميل قدره $n = 1{,}3$ ،

C_e — معامل ايروديناميى ، يساوى ١,٤ للمقاطع الزاوية ، ويتراوح بين ٠,٤٥ — ١,٢ للقضبان الاسطوانية ،

C_ω — معامل زيادة علو سرعة الريح ، ويأخذ فى الاعتبار طبيعة الريح الديناميكية والهبابة ويتراوح عادة بين ١,١ — ٢ ،

A — المساحة الصافية (م^2) لمسقط الانشاء المبحوث او جزء منه ، على المستوى العمودى على اتجاه الريح .

٢ — الابراج

ان لابراج اللاسلكى ، فى اكثر الحالات ، مقطعا مثلثا او مربعا ، فى المستوى الافقى ، ولها على طول الارتفاع ، بصورة عامة ، شكل هرمى .

ويحدد عرض البرج ، فى حدود تتراوح بين $\frac{1}{8}$ و $\frac{1}{15}$ من ارتفاعه ، اما ميل اضلاعه او حافاته فيتراوح بين $\frac{1}{12}$ و $\frac{1}{40}$. وبما ان للمقطع الانبوبى ، بالمقارنة مع بقية المقاطع ، شكلا انسيابيا جيدا ، ومعاملا ايروديناميا منخفضا نوعا ما C_e ، تصنع قطع اوتار البرج عادة ، من انابيب (مواسير) مع شفهات ملحومة مع اطرافها ، لتشكل وصلة مربوطة بمسامير ، ملائمة لعملية التجميع او التركيب (انظر الشكل ١٠ — ٢٥) . وتتألف شبكة الابراج ، من اضلاع قطرية متقاطعة ، مصنوعة من الفولاذ المبروم ، مع تبيطة شد وقطع تكثيف او قوائم تكثيف جاسئة ، ذات مقطع انبوبى ايضا .

ان وزن ابراج اللاسلكى ، التى يصل ارتفاعها من ١٠٠ الى ٢٠٠ م ، يتراوح على التوالى بين ٠,٢ — ٠,٣ طن/م ، بالنسبة للابراج المثلثة ، وبين ٠,٤ — ٠,٥ طن/م تقريبا ، بالنسبة للابراج المربعة ، المصنوعة او المقامة من الانابيب (المواسير) .

وتصمم ابراج الماء ، على هيئة قوائم ، موضوعة فى المستوى الافقى ، عند زوايا او اركان المربع او المضلع المرسوم داخل الدائرة . وتتألف مقاطع الاضلاع القائمة (القوائم) من مقاطع شكل — I او مجارى (ـــ) ، ويمكن ان تكون مقاطع مجمعة .

ويجرى حساب وتصميم الابراج ، بنفس طريقة حساب وتصميم العتبات الجمالونية (التشابكية) ، المحصورة او المثبتة فى الاساس . ويتوزع الحمل الرأسى على الاضلاع القائمة (الاوتار) بالتساوى . ان القوة الكلية، فى الضلع القائم للبرج ، الناجمة عن الاحمال الرأسية والافقية ، تساوى ما يلى :

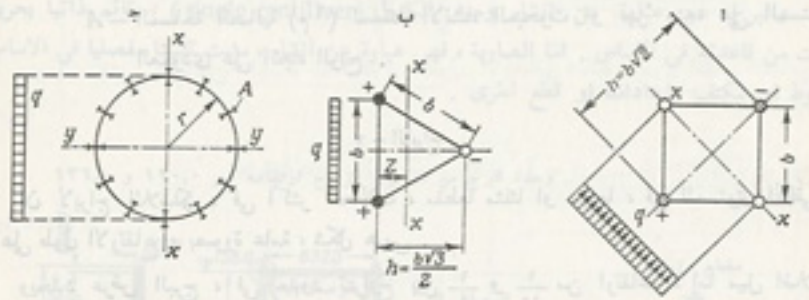
$$F = F_v \pm F_h \qquad (10-41)$$

حيث $F_v = \frac{P}{N \cos \alpha}$ — تمثل القوة الموجودة فى الضلع القائم ، الناجمة عن الاحمال الرأسية الموزعة بانتظام ، بين اضلاع البرج القائمة (قوائم البرج) التى يبلغ عددها N ، التى تصنع مع المحور الرأسى زاوية قدرها α (اذا كانت الاضلاع مائلة).

F_h — القوة الموجودة فى الضلع القائم ، الناجمة عن الاحمال الافقية، والناشئة نتيجة لتأثير عزم الاسالة .

وفى هذه الحالة ، تنشأ القوة القصوى فى وتر البرج المربع ، عندما يتجه الحمل الافقى (حمل الريح) باتجاه ضلع البرج ، ولا يشترك فى مقاومة الانحناء ، سوى وترين فقط (شكل ١٠ — ٢٦ ، أ) :

$$F_q = \frac{M}{b\sqrt{2}} \qquad (10-42)$$



شكل (١٠ — ٢٦) رسم توضيحى لحساب الابراج

اما القوة القصوى فى وتر البرج المثلث ، الناجمة عن الاحمال الافقية q ، فتساوى ما يلى (شكل ١٠ — ٢٦ ، ب) :

$$F_q = \frac{2M}{b\sqrt{3}} \qquad (10-43)$$

وفى البرج المتعدد القوائم ، تحدد القوة F_h ، فى الضلع القائم ، الذى مساحة مقطعه A ، بواسطة عزم الاسالة ، المأخوذ حول المحور $x-x$ (شكل ١٠ — ٢٦، د) ، من الصيغة التالية :

$$F_h = \sigma A = \frac{M}{W_x} A = \frac{M_r A}{I_x} = \frac{2M}{Nr} \qquad (10-44)$$

حيث يكون عزم القصور الذاتى الاستوائى I_x — (equatorial moment of inertia) ، فى المقاطع المتماثلة، مساويا لنصف عزم القصور الذاتى القطبى J — (polar moment of inertia) :

$$I_x = \frac{J}{2} = \frac{Nr^2A}{2} \qquad (10-45)$$

وكقاعدة عامة ، يوضع مستوى نصف قطر الحركة التدويمية لمقاطع القوائم ، على امتداد انصاف اقطار البرج . وعند حساب مقاومة القوائم (الاضلاع القائمة) للانضغاط ، يؤخذ طولها الفعال ، فى مستوى ضلع او حافة البرج ، مساويا للمسافة بين الحلقات الافقية للشبيكة ، ومفاصلها او وصلاتها . وفى الابراج ذات القوائم التى يصل عددها الى اربعة او ستة ، يؤخذ الطول الفعال للقوائم ، عند التحدب فى اتجاه انصاف الاقطار ، مساويا للمسافة بين وصلات (مفاصل) الشبيكة ، بينما فى الابراج ذات القوائم التى يصل عددها الى ثمانية او اكثر ، يؤخذ هذا الطول ، مساويا للطول الكلى (ارتفاع البرج) ، اذا لم تكن هناك ، فى المستوى الافقى ، اية حواجز جاسئة التثبيت ، ذات جسؤة كافية فى المستوى الرأسى .

ان شبيكة الابراج، تتعرض لقوة القص ، وتصمم على فرض ان قوة القص هذه تقاوم من قبل جمالونين مستويين رأسيين .

٣ — الصوارى

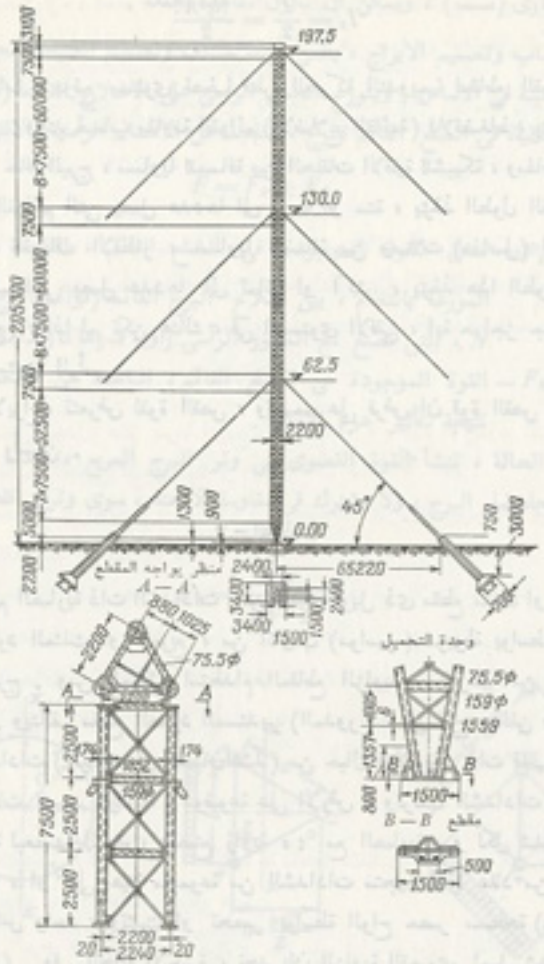
يتألف تصميم الصارية ذات الشدادات ، من عمود طويل ذى مقطع مثلث او مربع او مستدير . وتصنع اوتار العمود المثلث او المربع ، من انابيب (مواسير) مربوطة بواسطة الشفهات ، بنفس طريقة ربط قطع البرج . ومن الممكن استخدام المقاطع الزاوية ، بالرغم من ان ذلك اقل نفعا من الناحية العملية . ويتألف مقطع العمود المستدير (المدور) ، من لوح مدلفن وملحوم .

وتصنع الشدادات (كبلات او قضبان‌الشد) من حبال فولاذية ، ذات قلب فولاذى . وتطمر او تحشر فى بلاطات تثبيت خرسانية ، موضوعة على الارض . وترتب الشدادات على امتداد ارتفاع الصارية، اما موازية لبعضها البعض، وتصنع زاوية ٤٥° مع الصارية ، و لكل شدادة اساسها الخاص (شكل ١٠ — ٢٧) ، او على هيئة مجموعة من الشدادات متجهة نحو عدد من صفوف او طبقات الصارية ، من اساس واحد ، وتثبت او تحصر بواسطة الواح حصر مسطحة (yards) ، كما فى الشكل (١٠ — ٢٨) . وفى الحالة الاخيرة ، نجد بان الزاوية القصوى لميل شدادة الطبقة العليا ، مع الافق ، تساوى ٦٠° . وتوضع او ترتب الشدادات ، فى المستوى الافقى ، فى اتجاهات انصاف الاقطار ، بالنسبة لمحور عمود الصارية ، وتستخدم ثلاث شدادات مع المقطع المثلث او المدور للعمود ، واربع شدادات ، مع المقطع المربع او المستطيل . وتطمر اطراف كبلات الشدادة ، فى جلب فولاذية ، باستخدام الزنك او اية سبيكة اخرى .

ان صوارى اللاسلكى أخف وارخص ثمنا من ابراج اللاسلكى ، ولكنها تحتاج الى مساحة اوسع ، لوضع وتثبيت الشدادات (الكبلات) .

وتحسب صارية اللاسلكى ، بالدرجة الرئيسية ، تبعا لتأثير حمل الريح ، وللمركبة الرأسية الناجمة عن قوى شد الشدادات ، عند مختلف النسب بين درجات الحرارة ، وقيم علو سرعة الريح (طبقا للمواصفات القياسية للبناء) . وعند وجود هوائيات سلكية بين الصوارى ، يؤخذ فى الاعتبار ،

احتمال انقطاعها كليا او جزئيا . ويؤخذ في الاعتبار ايضا ، احتمال تشوه قشرة جليدية ، على كافة القطع الانشائية للصارية .



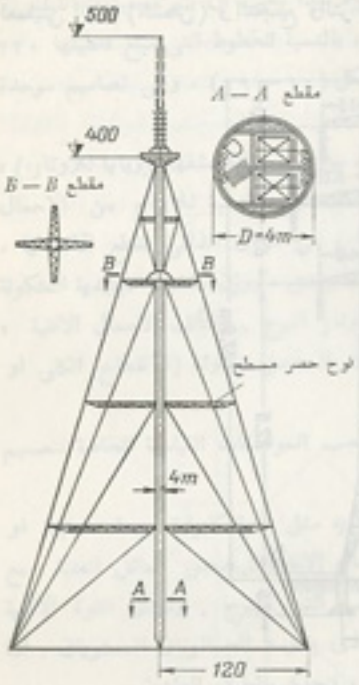
شكل (١٠ — ٢٧) صارية لاسلكية ذات ثلاثة اوجه

ان الازاحة المرنة القصوى (الانحراف الناجم عن الانحناء) لعمود الصارية في مواضع تثبيت او حصر الشدادات ، لا يجب ان تزيد على $\frac{1}{100}$ من ارتفاع مواضع التثبيت المذكورة ، عن الاساس . ويجب ان لا تنحنى قمة الصارية ايضا ، بما يزيد على $\frac{1}{100}$ من طول الكابول .

ويتم حساب الصواري على مرحلتين . في المرحلة الاولى ، يعتبر عمود الصارية ، بمثابة قضيب معرض للانضغاط والانحناء ، محمول على مساند جاسئة (الشدادات) . وتحدد القوة الطولية هنا ، كمجموع الوزن الذاتي للقطع الانشائية ، والمعدات الموضوعة على الصارية ، والمركبات الرأسية او العمودية لقوى رد فعل الشدادات . وتستخدم هذه القوى ، لاختيار مقاطع عمود الصارية

والشدادات ، وبعد ذلك ، تجرى المرحلة الثانية من الحساب ، وهي مرحلة ضبط الحساب . وفي هذه المرحلة ، تحسب الشدادة ، باعتبارها مثل الكبل القابل للانثناء المشدود ، بشد ابتدائي معين (او بارتخاء معين سابقا) ، ثم تحدد الازاحات الافقية المحتملة لمواضع تثبيت الشدادات (الكبلات) . وبعد ذلك ، يتم حساب عمود الصارية ، باعتباره مثل قضيب معرض للانضغاط والانحناء ، محمول على مساند مطاوعة مرنة .

ويرتكز عمود الصارية ، على محمل او مسند مركزي . وفي الصواري المعزولة ، يصنع المحمل او المسند ، من عوازل من الصيني (الفخار) ، توضع عليها الصبة الفولاذية لحمل الموازنة .



شكل (١٠ — ٢٨) صارية تلفزيونية تحتوي على الواح حصر مسطحة لتثبيت الشدادات (كبلات الشد)

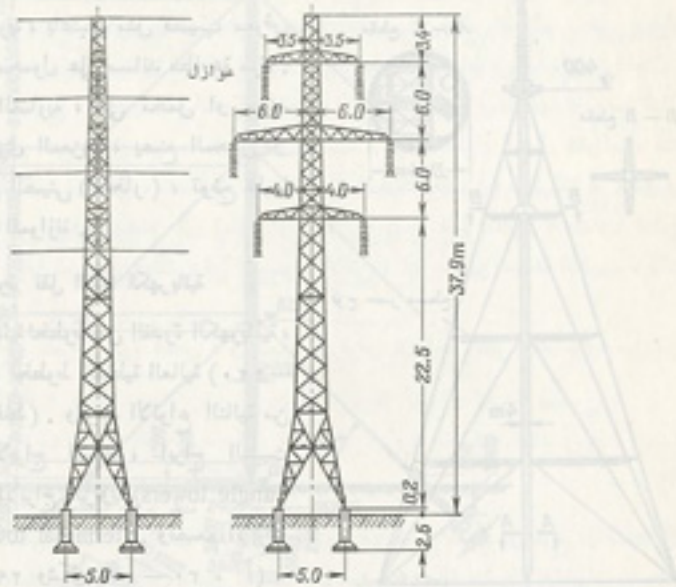
٤ — ابراج خطوط نقل القدرة الكهربائية

ان الابراج المعدنية لخطوط نقل القدرة الكهربائية ، تستخدم في الغالب ، لخطوط الفلطية العالية (٢٢٠ — ٣٣٠ — ٥٠٠ كيلوفلط) . وتوجد الانواع التالية من الابراج المذكورة : الابراج المعلقة ، ابراج التثبيت (anchor towers) ، الابراج الزاوية (angle towers) والابراج الطرفية (terminal towers) . وتصمم الابراج المعلقة (شكل ١٠ — ٢٩ وشكل ١٠ — ٣٠ ، أ) ، بالدوجة الاساسية ، لاسناد الكبلات المشدودة . وتنصب هذه الابراج ، وفقا للتضاريس الارضية ، على مسافات تتراوح بين ٢٠٠ — ٤٠٠ م ، بالنسبة للخطوط التي تتراوح فلطيتها بين ٢٢٠ — ٣٣٠ كيلوفلط ، وعلى مسافات تتراوح بين ٤٠٠ — ٦٠٠ م ، بالنسبة للخطوط العالية الفلطية . ويحدد ارتفاع تعليق الاسلاك الكهربائية ، بحيث يبقى فراغ لا يقل عن ٦ — ١٠ م ، بين مستوى سطح الارض وموضع الارتخاء الاقصى . وهذا يتطلب وجود ابراج يتراوح ارتفاعها بين ٢٠ — ٤٠ م . ويتراوح وزن الابراج المعلقة للخطوط التي تتراوح فلطيتها بين ٢٢٠ — ٥٠٠ كيلوفلط في حدود ٤ — ٨ اطنان .

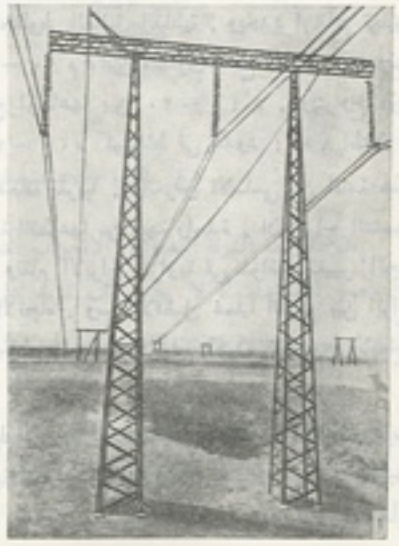
وتقام ابراج التثبيت بعد كل ٥ او ٧ ابراج معلقة تقريبا . والغرض الاساسي من اقامة هذه الابراج هو مقاومة (تحمل) شد الاوتار كليا ، في حالة انقطاعها من جهة واحدة . ان ابراج التثبيت اثقل من الابراج المعلقة بمقدار ١,٥ مرة تقريبا . وتقام الابراج الزاوية في مواضع تغيير اتجاه الخطوط لغرض مقاومة مركبة الشد الناجمة عن تغيير الاتجاه . ومن الافضل عمليا الجمع بين ابراج التثبيت والابراج الزاوية (شكل ١٠ — ٣٠ ، ب) . ان مثل هذه الابراج تكون اثقل من الابراج المعلقة بمقدار يتراوح بين ٢ — ٢,٥ مرة .

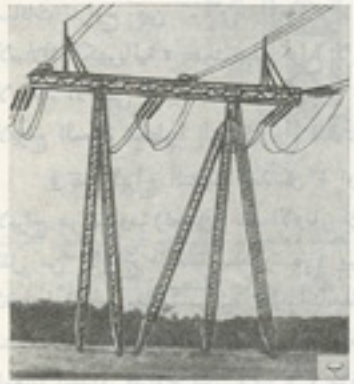
وتستخدم تصاميم متنوعة جدا للابراج ، ومنها الابراج ذات العمود الواحد ، والابراج ذات الدائرة الواحدة وذات الدائرتين (شكل ١٠ — ٢٩) والابراج البوابية (شكل ١٠ — ٣٠) . وتعتبر الابراج ذات الشدادات من اكثر الابراج اقتصادية .

و غالبا ما يتحتم وضع او نصب ابراج خطوط نقل القدرة الكهربائية فى ارض وعرة التضاريس . ولذلك من المهم جدا ان يكون وزن القطع الانشائية للبرج خفيفا ، وان تكون القطع المذكورة ملائمة لعمليتى النقل (الشحن) و التجميع والتركيب . وطبقا لذلك و بالاضافة الى الاستخدام الواسع النطاق



شكل (١٠ – ٢٩) صارية متوسطة مؤلفة من عمود واحد ، تستخدم للخطوط المزدوجة لنقل القدرة الكهربائية (٢٢٠ كيلوفلط)





شكل (١٠ – ٣٠) المنظر العام للابراج القطرية لخطوط نقل القدرة الكهربائية : أ – برج متوسط معلق ، ب – برج تثبيت طرفى

للفولاذ – ٣ ، فى هذه الابراج ، يستخدم كذلك الفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة . ومن المفهوم هنا ان السبائك الالومينيومية ، يمكن ان تستخدم على نطاق واسع فى هذا المجال .

ونظرا لاستخدام القطع الانشائية للابراج باعداد كبيرة جدا يجب ان يتم توحيدها القياسى . وقد تم ذلك بصورة جزئية ، فى الاتحاد السوفييتى ، بالنسبة للخطوط التى تبلغ فلطيتها ٢٢٠ و ٣٣٠ كيلوفلط ، وتصاميم هذه الابراج ، مبينة فى الشكل (١٠ – ٢٩) ، وهى تصاميم موحدة قياسيا (نموذجية او قياسية) .

وكقاعدة عامة يتألف تصميم البرج ذى العمود الواحد من اربع زوايا مشفهة (زويايا للاوتار) ، وشبيكات تكون اربعة جمالونات مستوية . وتتألف احمال التصميم بالنسبة للابراج من الاحمال الرأسية والاحمال الافقية . وتتألف الاحمال الرأسية بدورها ، من الوزن الذاتى للقطع الانشائية ، ووزن الاسلاك الكهربائية مع اسلاك العوازل ، وكبل مانعة الصواعق ، ووزن القشرة الجليدية المتكونة على الاسلاك وعلى الكبل . وتوزع الاحمال الرأسية على اوتار البرج . وتتألف الاحمال الافقية ، من حمل الريح ، ومن القوة الناجمة عن انقطاع الاسلاك المحتمل حدوثه (الانقطاع الكلى او الجزئى) ، فى جهة واحدة من البرج .

ان مجموعات الاحمال المختلفة تحدد او تقرر بموجب المواصفات القياسية الخاصة لتصميم خطوط نقل القدرة الكهربائية .

وعند تأثير الاحمال الافقية ، يحسب البرج ، باعتباره مثل عتبة كابولية مربعة ، مثبتة او محصورة فى الاساس . وفى هذه الحالة ، يمكن نقل الاحمال الافقية الى محور تماثل العتبة ، مع اضافة العزم M_t ، المؤثر فى المستوى الافقى والذى يسبب التواء البرج . وتزدى القوة الافقية المؤثرة على امتداد محور العتبة الى انحناء هذه العتبة ، الذى يقاومه الجمالونان المستويان . اما القوى الموجودة فى اوتار و شبيكة الجمالونين المذكورين ، فتحدد بالطرق العادية .

ان عزم الالتواء M_t يؤدى الى حدوث قوى قص ، تقاومها شبيكات الجمالونين المستويين .

وفى كل مقطع عرضى من مقاطع البرج المستطيل ، يؤدى عزم الالتواء ، الى نشوء زوجين من القوى (شكل ١٠ – ٣١ ، أ) :

$$Q_1 b + Q_2 a = M_t \qquad (10-46)$$

واذا كان البرج ذو المقطع العرضى المستطيل ، عبارة عن قطعة مصمتة مقفلة ، رقيقة الجدران (على هيئة انبوب مستطيل المقطع) لكان عزم الالتواء ، سيؤدى الى نشوء اجهادات قص τ على امتداد المحيط باكمله . والمعروف انه فى المقطع المقفل الرقيق الجدران ، تكون اجهادات القص ، والمضروبة فى ثخن المقطع ، عبارة عن قوى قص طولية ، اى موثرة فى وحدة الطول $f_{sh} = \tau t$. وهى ثابتة على امتداد المقطع باكمله ، وتساوى حاصل قسمة عزم الالتواء ، على ضعف المساحة المحاطة بالمحيط المقفل :

$$f_{sh} = \tau t \ \ kg/cm = \text{const} ; \quad f_{sh} = \frac{M_t}{2ab} \qquad (10-47)$$

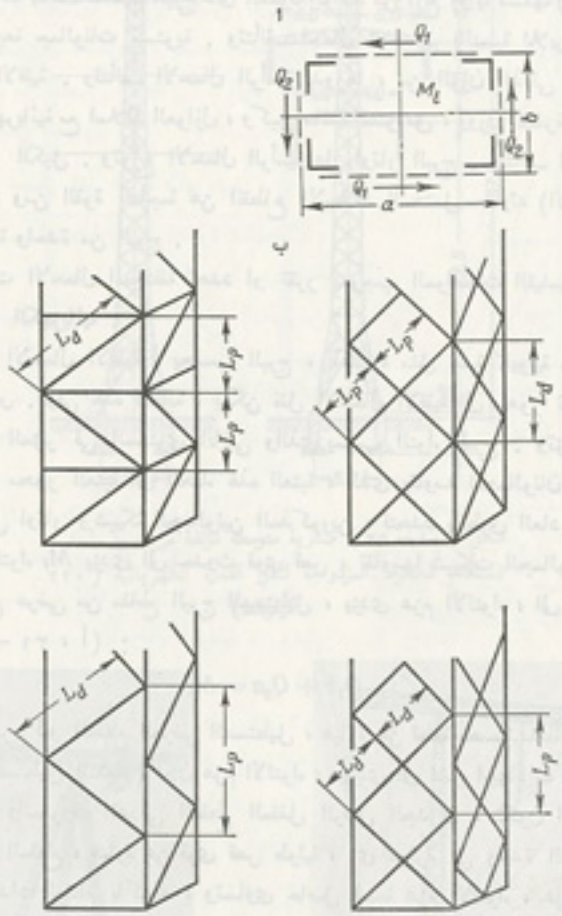
ويمكن ان نعتبر بان قوة القص ، هى عبارة عن مجموع اجهادات القص ، المارة بكل حافة او ضلع من اضلاع المستطيل ، وبالتالى نجد بان :

$$Q_1 = f_{sh} = \frac{M_t}{2b} ; \quad Q_2 = f_{sh} = \frac{M_t}{2a} \qquad (10-48)$$

ويجب ان تضاف الى هذه القوى ، قوى القص الناجمة عن انحناء البرج .

ويعد تحديد قوى القص ، يصبح من السهل ايجاد القوى الموجودة فى قطع الشبيكة (راجع الفصل الثامن) .

وقد تكون شبيكات حافات (سطوح) البرج مثلثة او مثلثة ذات قطع تكتيف ، او تصالبية بدون قطع تكتيف (باستثناء قطع التكتيف الطرفية ، التى تضمن جسوءة الشبيكة) . ان نقاط تقاطع الاضلاع القطرية للسطوح (الحافات) المتجاورة ، يمكن ان تنطبق عند الوتر (شكل ١٠ — ٣١ ،



شكل (١٠ — ٣١) رسم توضيحى لحساب ابراج خطوط نقل القدرة الكهربائية

ب) ، او تكون مزاحة بمقدار نصف طول الجزء الهيكلى (كترتيب عظام السمكة ، شكل ١٠ — ٣١ ، ح) . ويؤثر تصميم الشبيكة على تحديد الطول الفعال للوتر المؤلف من زاوية واحدة .

وبالنسبة للابراج ، التى تنطبق وصلات شبيكتها ، عند الحافات او الاضلاع المتجاورة (شكل ١٠ — ٣١ ، ب) ، يؤخذ الطول الفعال للوتر ، عند تحديد نسبة القضافة ، مساويا لطول

الجزء الهيكلى (اللوح) L_p . وعندئذ يؤخذ نصف قطر الحركة التدويمية للزاوية ، باصغر قيمة ممكنة (حول المحور المائل على اضلاع الزاوية) .

وبالنسبة للابراج ، التى لا تنطبق فيها وصلات الحافات او الاضلاع المتجاورة (شكل ١٠ — ٣١ ، ح) ، يؤخذ الطول الفعال للوتر ، مساويا لطول الجزء الهيكلى L_p ، مضروبا فى العامل k_p ، اى $L_{p.e}=k_pL_p$.

ويحدد العامل k_p ، وفقا للمواصفات القياسية للبناء ، اعتمادا على النسبة بين الجسوءة الطولية للوتر والجسوءة الطولية للضلع القطرى ، ويتراوح بين ١ و ١,١٣ . وتلحم الاضلاع القطرية مع الاوتار ، اما مباشرة او باستخدام الواح تقوية . ويمكن انجاز كافة الوصلات التركيبية (فى موقع العمل) ، باستخدام المسامير غير المتجزة ، ويمكن استخدام مسمار واحد لكل وصلة . ويؤخذ نوع الوصلة فى الاعتبار ، باستخدام عوامل الخدمة المناظرة ، وكذلك باستخدام عوامل الطول للاضلاع القطرية .

الفصل الحادى عشر

الانشاءآت القشرية الفولاذية

البند الثانى والخمسون — معلومات عامة

١ — مسميات الانشاءآت القشرية

يطلق اسم الانشاءآت القشرية ، على الانشاءآت التى تؤلف فيها الالواح (الصفائح) الفولاذية ، القسم الاساسى من هذه الانشاءآت ، مكونة بذلك انشاءآت قشرية فولاذية . وتصمم هذه الانشاءات لغرض حفظ او معاملة الغازات والسوائل والمواد السائبة . وتبعا لذلك ، توجد الانواع التالية من الانشاءات القشرية ، وهى :

١) مستودعات الغاز — وتستخدم لحفظ وتوزيع الغازات المختلفة ؛

٢) خزانات او صهاريج لخزن الماء او المنتجات البترولية وغيرها من السوائل الاخرى ؛

٣) صوامع لحفظ او خزن المواد السائبة (الخامات ، الفحم الجرى ، الاسمنت ، وهلم جرا) ؛

٤) انشاءآت خاصة بالصناعات الميتالورجية والكيميائية وغيرها من الفروع الصناعية الاخرى (الافران العالية ، مسخنات الهواء ، المعاقيم (الاوتوكلافات) ، والاجهزة الكيميائية الضخمة المختلفة ، وهلم جرا) ؛

٥) الانابيب وخطوط الانابيب الكبيرة الاقطار ، المستخدمة فى المصانع الميتالورجية والكيميائية وغيرها ، وفى المحطات الكهرومائية ، وكذلك فى خطوط انابيب نقل البترول والغاز وغير ذلك .

٢ — خصائص الانشاءآت القشرية الفولاذية

ان الانشاءآت القشرية الفولاذية ، لا تستخدم بمثابة قطع انشائية لمقاومة الاحمال المختلفة فحسب ، بل تستخدم كذلك ، بمثابة اوعية ، نظرا لكثافة الفولاذ المرتفعة ، وسدوديته للماء . ولهذا السبب، يجب ان تكون وصلات الالواح والصفائح فى الانشاءآت القشرية ، ليست قوية فحسب ، بل ومحكمة السد ايضا .

والانشاءآت القشرية ، تكون فى معظم الحالات عبارة عن انشاءآت مجوفة دورانية (اسطوانية ، كروية ، مخروطية وهلم جرا) ، اى يكون لها افضل شكل ملائم ، لمقاومة الاحمال الناجمة عن الغازات والسوائل .

وغالبا ما تكون ابعاد الانشاءآت القشرية ، اكبر من الابعاد القياسية لخطوط السكك الحديدية ، ولهذا يكون العمل فى المصانع ، مقصورا على انتاج القطع الانشائية ، نصف المنجزة

(تجهيز واعداد الالواح او الصفائح ، وقطع الغيار وغير ذلك) ؛ ويتم انجاز العمل الباقى ، فى الموقع . وهذا يؤدى الى زيادة حجم العمل المصروف فى انتاج وتركيب (تجميع) الانشاءآت القشرية . وبالاضافة الى ذلك ، نرى بأن ضرورة دلفنة الالواح لتشكيل سطوح كروية وغيرها ، من السطوح المنحنية او المقوسة فى اتجاهين ، تؤدى الى خلق صعوبات فى الانتاج ، تجعل القطع الانشائية مرتفعة التكاليف . ان الخاصية المميزة للانشاءات القشرية ، التى تنجز بواسطة اللحامات ، بصورة مطلقة تقريبا ، هى طول اللحامات الكلى ، الكبير جدا ايضا ، الناجم عن الثخن الصغير نسبيا ، للالواح او الصفائح المدلفنة ، ذات الابعاد القياسية (من ١٤٠٠ الى ١٥٠٠ مم) . وهذا بدوره ، يؤدى الى صرف عمل كثير لتشكيل حافات الالواح بالمكنات ، لاستخدامها فى القطع الانشائية الملحومة .

وقد تم فى الوقت الحاضر ، تطوير طريقة حديثة لصنع واقامة الخزانات والصهاريج الكبيرة ، وقد رفعت هذه الطريقة ، درجة تصنيع عملية البناء وتجهيزها بالمعدات الميكانيكية اللازمة ، وذلك بنقل الجزء الاكبر من العمل ، الى المصنع او الورشة — طريقة اللف (راجع الشكل ١١ — ١٤) . وتتلخص هذه الطريقة ، فى لحم جدران الخزان وقاعدته او قاعه ، فى داخل المصنع ، وتكوين الواح كبيرة منفردة ، بواسطة اللحام الاوتوماتى ، ثم تلف هذه الالواح الكبيرة ، على هيئة لفائف يتراوح قطرها بين ٢,٥ — ٣ م تقريبا ، ويمكن نقلها بواسطة عربات السكك الحديدية . وفى موقع العمل ، تنشر هذه اللفائف ، ثم تقام فى اماكنها الخاصة ، وذلك باستخدام اللحامات التركيبية فقط .

البند الثالث والخمسون — نظرية حساب الانشاءآت القشرية الدورانية

يحتوى سطح الانشاء القشرى الدورانى ، على محور تماثل ونصفى قطرين للانحناء ، عموديين على السطح المذكور ، وهما : R_1 — نصف قطر الزوال الرأسى ، الذى يشكل المنحنى الدورانى او منحنى الدوران ؛ R_2 — نصف القطر الحلقى الدورانى ، الذى يبدأ من محور التماثل (شكل ١١ — ١ ، أ) . ان الزاويتين φ (زاوية الاتساع) و α (زاوية الطول) ، تبينان على التوالى ، خصائص موقع نصفى القطرين المذكورين .

ويتميز السطح الكروى ، بالعلاقة التالية $R_1 = R_2$ ؛ والاسطوانى بالعلاقات : $R_1 = \infty$ ، $R_2 = r$ و $\varphi = \frac{\pi}{2}$ ؛ اما السطح المخروطى فيتميز بالعلاقات : $R_1 = \infty$ ، $R_2 \sin\varphi = r$ و $\varphi = \text{const}$ (زاوية ثابتة) .

ولنبحث الآن قطعة مقصوصة من الانشاء القشرى (مقصوصة من الاطراف) ، ثخنها t واضلاعها او جوانبها dS_1 و dS_2 (شكل ١١ — ١ ، ب) ، ويؤثر على مساحتها ، حمل موزع بانتظام p . ومن المعروف انه فى الانشاءآت القشرية الرقيقة ، التى تتميز بالنسبة الصغيرة بين ثخنها ونصف قطرها R $\left(\frac{t}{R} < \frac{1}{30}\right)$ ، يمكن مراعاة شروط التوازن ، عند وجود القوى المحورية فقط ، اى القوى المتجهة باتجاه خطوط التقعير الرأسية T_1 والقوى الحلقية T_2 ، المتجهة باتجاه مماس السطح الوسطى للانشاء القشرى . وهذه القوى ، عبارة عن محصلات الاجهادات المتعامدة ، المؤثرة على اضلاع او حافات القطعة المذكورة :

$$T_1 = \sigma_1 dS_2 t; \quad T_2 = \sigma_2 dS_1 t$$

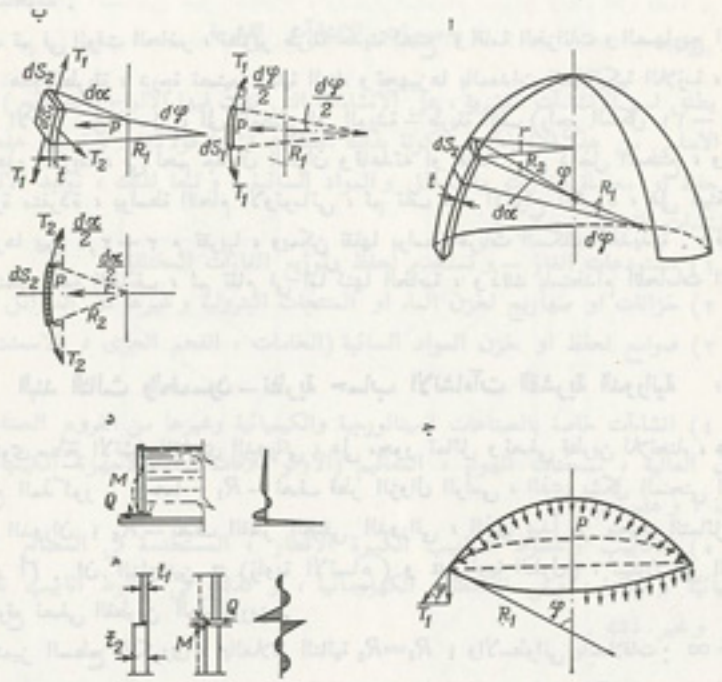
والآن نأخذ مجموع مسافط كافة القوى ، على اتجاه نصف قطر الانحناء . و هذا المجموع ، طبقا لشرط التوازن ، يجب ان يساوى صفرا (شكل ١١ — ١ ، ب) :

$$2T_1 \sin\frac{d\varphi}{2} + 2T_2 \sin\frac{d\alpha}{2} - p\,dA = 0$$

و بما انه عند وجود زوايا صغيرة ، يكون لدينا :

$$\sin\frac{d\varphi}{2} = \frac{d\varphi}{2}\ ;\quad \sin\frac{d\alpha}{2} = \frac{d\alpha}{2}\ ;\quad d\varphi = \frac{dS_1}{R_1}$$

$$d\alpha = \frac{dS_2}{R_2}\ ;\quad dA = dS_1\,dS_2$$



شكل (١١ — ١) رسم توضيحى لحساب الانشاءات القشرية .

اذن عند تقسيم كلا طرفى المعادلة ، على المقدار $dS_1\,dS_2$ ، نحصل على ما يلى :

$$\frac{T_1}{R_1\,dS_2} + \frac{T_2}{R_2\,dS_1} = p$$

واذا عبرنا عن T_1 و T_2 بواسطة الاجهاد ، نحصل على المعادلة الاساسية للانشاءآت القشرية القابلة للانثناء :

$$\frac{\sigma_1}{R_1} + \frac{\sigma_2}{R_2} = \frac{p}{t} \qquad (11-1)$$

حيث σ_1 — الاجهاد على امتداد راسم السطح المولد (خط الزوال الرأسى) ؛

σ_2 — الاجهاد الحلقى .

والاجهاد الحلقى ، فى الانشاء القشرى الاسطوانى ، الذى فيه $R_1 = \infty$ ، يساوى ما يلى :

$$\sigma_2 = \frac{pR_2}{t} \qquad (11-2)$$

و هكذا ، فبالنسبة للانشاء القشرى الكروى ، الذى يكون فيه نصف القطر متساويا فى جميع الاتجاهات ($R_1 = R_2 = R$) ، تكون شروط الاجهاد لكل قطعة من قطع الانشاء القشرى ، متساوية فى جميع الاتجاهات ايضا ، ولذا نرى بأن :

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{pR}{2t} \qquad (11-3)$$

و هكذا ، عند تساوى نصف القطر ، يتحمل الانشاء القشرى الكروى ، نصف الاجهاد الذى يتحمله الانشاء القشرى الاسطوانى .

و تحتوى الصيغة العامة (11—1) ، على مجهولين هما σ_1 و σ_2 ، ولذلك لأجل حل المسألة ، يجب ان تكون لدينا معادلة ثانية ، و يمكن الحصول على هذه المعادلة ، ببحث احد مقاطع الانشاء القشرى ، على امتداد دائرة متوازية ، و بجعل مجموع مسافط كافة القوى ، على محور التماثل ، مساويا للصفر (شكل ١١ — ١ ، هـ) :

$$\frac{T_1}{dS_2}\sin\varphi\, 2\pi r - p\pi r^2 = 0$$

و بما ان $R_2 \sin\varphi = r$ (شكل ١١ — ١ ، أ) ، و $T_1 = \sigma_1 dS_2 t$ ، اذن نحصل على ما يلى :

$$\sigma_1 = \frac{pR_2}{2t} \qquad (11-4)$$

وبتعويض المعادلة (11—4) فى المعادلة (11—1)، نحصل على العلاقة بين الاجهادات الحلقية والاجهادات المؤثرة باتجاه خط الزوال الرأسى :

$$\sigma_2 = \sigma_1\left(2 - \frac{R_2}{R_1}\right) \qquad (11-5)$$

ان معادلات الانشاءآت القشرية الرقيقة ، التى حصلنا عليها اعلاه ، المشتقة من شروط التوازن ، عند وجود القوى المحورية فقط (القوى المؤثرة باتجاه خط الزوال الرأسى ، والقوى الحلقية) تفترض بأن الانشاء القشرى ، قابل للانثناء تماما ، اى ان جسوءته بالنسبة للانحناء والالتواء ، تساوى صفرا . والاجهادات فى مثل هذا الانشاء القشرى ، الخالى من العزوم ، تكون موزعة بانتظام على مساحة المقطع . و هناك ايضا حرية تامة لحدوث الانفعالات المحورية . ان هذه الفرضيات الخاصة بسلوك الانشاء القشرى ، صحيحة بالنسبة للاجزاء او الاقسام ، الواقعة على بعد معين من وصلات الارتكاز (وصلات التحميل) ، او مواضع انحناء الانشاء القشرى ، اى بعيدة عن المواضع التى يتغير فيها بتقطع ، مركز نصف قطر الانحناء R_1 ، او يتغير فيها ثخن الانشاء القشرى ، و بعبارة اخرى ، بعيدة عن جميع المواضع التى تتغير عندها شروط الانفعالات المحورية . و تظهر فى هذه المواضع ، قوى دفعية ، وعزوم انحناء " طرفية " ، تؤدى الى انحناء الانشاء القشرى ، نتيجة لحصر الانفعالات ، فى شروط المقطع المتواصل (شكل ١١ — ١ ، د ، هـ) . و تتوزع عزوم الانحناء ، على منطقة او رقعة ضيقة نوعا ما من الانشاء القشرى، وتتضاءل بسرعة (" التأثير الطرفى ") وذلك نتيجة لوجوب تغلب انفعالات الانشاء القشرى ، على المقاومة المرنة للاجزاء المجاورة (كما فى العتبة المحمولة على

اساس مرن) . ان تحديد هذه العزوم وقوى القص ، من شرط المقطع المتواصل للانشاءآت القشرية المرتبطة ، يصبح عبارة عن حل مسألة تحتوى على مجهولين غير محددين استاتيكيا .

و بزيادة حدة الاخلال بسطح الانشاء القشرى الاملس ، تزداد عزوم الانحناء وقوى القص الاضافية . و لهذا السبب ، يجب عند تصميم الانشاءات القشرية ، تجنب الانحناءآت الحادة فى مواضع اتصالها او ارتباطها . وعندما تكون هذه الاتصالات ، ضرورية لاعتبارات تصميمية معينة ، يجب عندئذ مراجعتها و تقويتها اذا دعت الضرورة لذلك . وعادة تتلخص التقوية فى زيادة ثخن الجدار فى موضع الانحناء او بوضع حلقة دفعية .

وعند تعرض الانشاء القشرى الاسطوانى او الكروى للانضغاط من جميع الجهات (مثلا ، عند وجود فراغ) ، يجب ان يراجع استقرار ذلك الانشاء . وغرض هذه المراجعة التأكد من عدم زيادة الاجهادات التصميمية فى الانشاء القشرى (مع اخذ عامل التحميل فى الاعتبار) على الاجهادات الحرجة ، مضروبة فى عامل ظروف الخدمة :

$$\sigma \leqslant \sigma_{cr} k_s \qquad (11-6)$$

وعند تاثير ضغط خارجى موزع بانتظام p ، بصورة عمودية على السطح ، يحدد الاجهاد الحرج فى الانشاء القشرى الكروى ، بواسطة الصيغة التالية (للانشاءآت القشرية المصنوعة من الفولاذ — ٣ ، عندما تتراوح قيمة النسبة $\frac{r}{t}$ بين ٢٠٠ الى ٥٠٠) :

$$\sigma_{cr} = 0.1 \frac{Et}{r} \qquad (11-7)$$

ويمكن ايجاد الاجهادات المتعامدة الحرجة ، فى الانشاء القشرى الاسطوانى ، عند وجود ضغط منتظم ، مواز لراسم السطح المولد (على امتداد السطح الدائرى) ، من المعادلة التالية (عندما تكون $\frac{r}{t} > \frac{525}{R}$) :

$$\sigma_{cr} = \frac{C_{sh} E_t}{r} \qquad (11-8)$$

حيث E — معامل المرونة ؛

t — ثخن الانشاء القشرى ؛

r — نصف قطر السطح المتوسط للانشاء القشرى ؛

C_{sh} — معامل مأخوذ من الجدول (١١—١) ؛

R — المقاومة التصميمية للفولاذ ، طن/سم٢ ،

جدول ١١ — ١

قيم المعامل C_{sh}

r/t	$\leqslant 500$	٧٥٠	١٠٠٠	١٥٠٠
C_{sh}	٠,١٢	٠,١٠	٠,٠٨	٠,٠٧

وعند $\frac{r}{t} \leqslant \frac{525}{R}$ ، يحدد الاجهاد الحرج ، من المعادلة التالية :

$$\sigma_{cr} = \varphi_{sh} R \qquad (11-9)$$

حيث φ_{sh} — معامل تؤخذ قيمته من الجدول ١١ — ٢ (للفولاذ — ٣) .

جدول ١١ — ٢

• قيم المعامل φ_{sh}

r/t	٢٥٠	٢٠٠	١٥٠	١٠٠	٥٠
φ_{sh}	٠,٤٧	٠,٥٣	٠,٦	٠,٧١	٠,٨٥

وعند الانضغاط اللامحورى (اللامركزى) للانشاء القشرى الاسطوانى ، بصورة موازية لراسم السطح المولد ، او عند الانحناء البحت لذلك الانشاء ، تزاد قيمة الاجهادات المتعامدة الحرجة ، المستخرجة من الصيغتين (9—11) و (8—11) ، بمقدار $(1+0.1d)$ مرة .

و هنا $\alpha = 1 - \frac{\sigma'}{\sigma}$ ، حيث σ تمثل اجهاد الانضغاط التصميمى الاقصى (على فرض ان $\sigma > 0$) ، و σ' تمثل الاجهاد المناظر عند الطرف المقابل ، لقطر راسم السطح المولد .

وبالنسبة للانشاء القشرى الاسطوانى ، المعرض لتأثير الاحمال الخارجية الموزعة بانتظام ، او للضغط المنتظم p (عند وجود الفراغ) ، تحدد الاجهادات الحرجة ، عندما تكون $10 \leqslant \frac{L}{r} \leqslant 0.5$ ، من الصيغة التالية :

$$\sigma_{qcr} = 0.55 E \left(\frac{r}{L}\right) \left(\frac{t}{r}\right)^{3/4} \qquad (11-10a)$$

وعندما تكون $\frac{L}{r} > 20$ ، من الصيغة التالية :

$$\sigma_{qcr} = 0.17 E \left(\frac{t}{r}\right)^2 \qquad (11-10b)$$

حيث L — طول الانشاء القشرى الاسطوانى ، الواقع بين المحامل او حلقات التقوية .

البند الرابع والخمسون — مستودعات الغاز

ان مستودعات الغاز تستخدم لحفظ او خزن و تنظيم ضغط الغاز ، اثناء عملية استهلاكه . وتقسم مستودعات الغاز ، تبعا للضغط الداخلى والتصميم الى فئتين ، وهما :

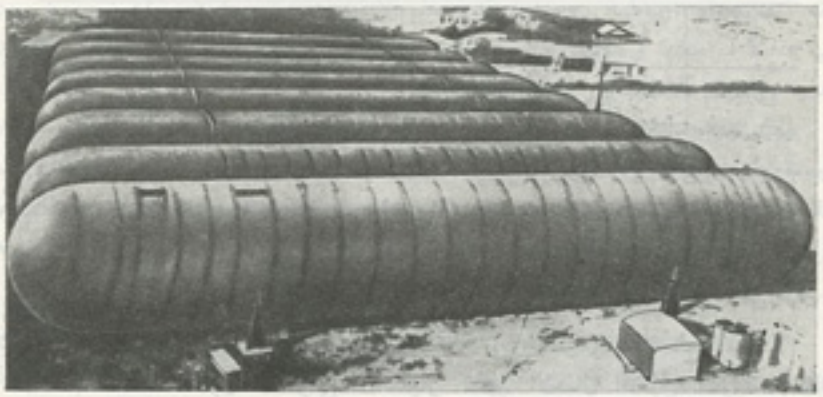
١) مستودعات الغاز الثابتة الحجم ، التى تشتغل عند وجود ضغوط عالية للغاز ، تتراوح بين ٢ — ٢٠ ضغط جوى (الضغط الجوى الواحد ، يعادل ١ كجم/سم٢) ؛

٢) مستودعات الغاز المتغيرة الحجم (الجافة والرطبة) التى تشتغل عند وجود ضغط منخفض ، لا يزيد على ٥٠٠ مم من عمود الماء (٠,٠٥ ضغط جوى) .

١ — مستودعات الغاز الثابتة الحجم (ذات الضغط العالى)

تتألف وحدات مستودعات الغاز ذات السعة العالية ، من عدة عشرات او مئات من مستودعات الغاز المتشابهة ، الثابتة الحجم . وقد يتراوح حجم مستودع الغاز ، فى حدود واسعة (من ١٠٠

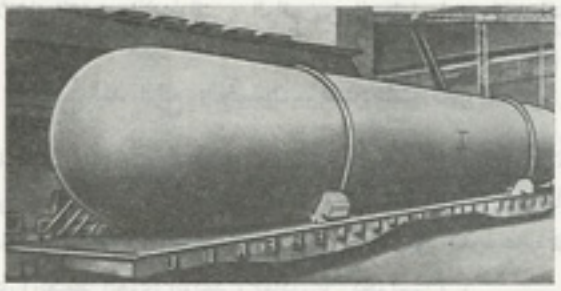
الى ٥٠٠٠ م٣) . ويمكن ان تكون مستودعات الغاز الثابتة الحجم ، اما كروية الشكل او اسطوانية . وتقل كمية المعدن المستهلك فى مستودعات الغاز الكروية ، بمقدار ٢٠٪ تقريبا ، عما هى عليه فى مستودعات الغاز الاسطوانية . ولكن المستودعات الكروية ، اقل انتشارا ، نظرا



شكل (١١ – ٢) مستودعات غاز افقية واسعة الحجوم

لصعوبة انتاج الالواح ذات الانحنائين ، وكذلك بسبب حجمها الكبير ، الذى يزيد على مقياس السكك الحديدية كثيرا .

وقد تكون مستودعات الغاز ، من حيث حجمها ، اما عادية الحجم ، او زائدة الحجم (بالنسبة لمقاس خطوط السكك الحديدية) . والمعروف ان تكاليف استثمار او تشغيل وحدة مستودعات الغاز ، تقل عند زيادة حجم المستودعات ، وتقليل عددها . ولذلك من الافضل عمليا ، استخدام

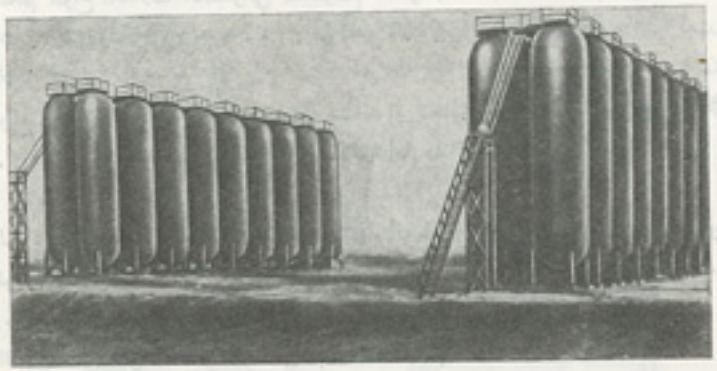


شكل (١١ – ٣) مستودع غاز عادى الحجم مقام على عربة لسكك الحديد

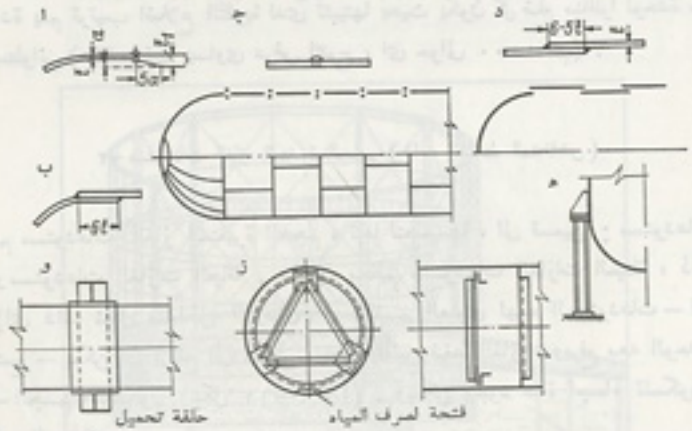
مستودعات غاز اسطوانية زائدة الحجم ، كبيرة القطر (شكل ١١ – ٢) ، موضوعة على محملين او مسندين . ولكن فى هذه الحالة ، يجب ان يتم القسم الاكبر من عملية اقامة هذه المستودعات ، فى موضع العمل بالذات ، الامر الذى يؤدى إلى ارتفاع تكاليفها .

وتنتج مستودعات الغاز العادية الحجم ، التى يمكن نقلها وهى جاهزة ، بواسطة السكك الحديدية (شكل ١١ – ٣) ، بقطر قدره ٣,٢٥ م (وهذا القطر مناظر لمقاس حجم السكك الحديدية ،

من الدرجة الاولى ، الذى يزيد قليلا على الحجم القياسى المقرر فى المواصفات القياسية – ١٥٢٤ مم) . وهذا يساعد على انتاجها بصورة كاملة ، فى داخل المصانع ، مع استخدام اللحام الاوتوماتى .



شكل (١١ – ٤) بطاريتان من مستودعات الغاز الرأسية



شكل (١١ – ٥) الاجزاء التفصيلية لتصميم مستودعات الغاز الاسطوانية الثابتة الحجم

ويمكن وضع مستودعات الغاز ، فى وحدة المستودعات ، بصورة عمودية (شكل ١١ – ٤) ، او افقية .

ويتألف مستودع الغاز الاسطوانى ، من غلاف اسطوانى الشكل ، ونصفى كرة . وعادة يلحم نصفا الكرة ، مع الغلاف الاسطوانى ، بلحامات تناكبية ، يمكن انجازها بسهولة ، نظرا لوجود مماس مشترك فى موضع الاتصال (شكل ١١ – ٥ ، أ) . ولكن نظرا لاختلاف ثخن الغلاف الاسطوانى ونصفى الكرة ، تتطور فى موضع الاتصال ، اجهادات اضافية ، ناجمة عن التأثير الطرفى . ولذلك

يجب ان يكون اللحام عالى الجودة ، مع حتمية وجود لحام خلفى ساند من الجهة المقابلة . وعند وصل نصفى الكرة مع الغلاف الاسطوانى ، بوصلة تراكب ، يتراوح مقدار تراكب الالواح بين $5t$ و $6t$ ، اى من خمسة اضعاف الى ستة اضعاف ثخن الالواح (شكل ١١ — ٥ ، ب) .

وتلحم الواح الغلاف الاسطوانى لمستودع الغاز بلحامات تناكب (شكل ١١ — ٥ ، هـ) او بلحامات تراكب (شكل ١١ — ٥ ، د) . ان لحام التناكب ، افضل من لحام التراكب ، واكثر منه اقتصادية .

وتوضع مستودعات الغاز العمودية ، على مساند او محامل خاصة ، كما مبين فى الشكل (١١ — ٥ ، هـ) . وتنشأ على مساند مستودعات الغاز الافقية اما حلقة تحميل خارجية (شكل ١١ — ٥ ، و) ، او مثلث تقوية داخلى (شكل ١١ — ٥ ، ز) .

ولزيادة جسوءة الانشاء القشرى ، فى الاتجاه الحلقى (عند تأثير القوى الحلقية) توضع احيانا اضلاع تقوية . وفى هذه الحالة ، يراجع استقرار الحلقة ، التى تتألف مساحة مقطعها A ، من زاوية تقوية ، وجزء من جدار الغلاف ، الذى يساوى المسافة بين الحلقات (شكل ١١ — ٥ ، ز) . ويحدد الاجهاد الحرج ، فى مثل هذه الحلقة ، من الصيغة التالية :

$$\sigma_{cr} = \frac{3EI_r}{Ar^3} \qquad (11-11)$$

حيث I_r — عزم القصور الذاتى الكلى ، لجزء الانشاء القشرى وزاوية التقوية (ضلع التقوية) .

وعادة يتم ترتيب اضلاع التقوية لدى تثبيتها بحيث يكون كل ضلع مناظرا لوحدة من وحدات الغلاف الاسطوانى (حلقة عرضها يساوى عرض اللوح ، اى حوالى ١٥٠٠ مم) .

٢ — مستودعات الغاز المتغيرة الحجم (ذات الضغط المنخفض)

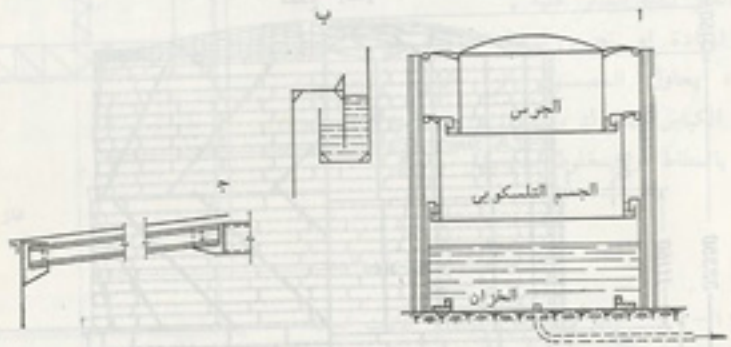
تقسم مستودعات الغاز المتغيرة الحجم ، تبعا لتصميمها ، الى قسمين : مستودعات الغازات المبتلة ، ومستودعات الغازات الجافة . وتكون معظم مستودعات الغازات المبتلة ، ذات تصميم تلسكوبى (اى ذات شكل متداخل الاوصال) . والقسم العلوى لهذه المستودعات — الجرس او الطرف المتسع — يمكن ان يرتفع الى الاعلى ، تحت تأثير ضغط الغاز ، ويرفع معه الوحدات الحلقية المتوسطة — الجسم التلسكوبى (شكل ١١ — ٦ ، أ) . ويمكن وجود عدة اجسام تلسكوبية من هذا النوع ، فى المستودع .

والقسم السفلى لمستودع الغاز المبتل ، اى خزان المستودع ، مملوء بالماء . ويغذى الغاز من الاسفل ، ويملاء المستودع باكمله . وبارتفاع الجرس والجسم التلسكوبى معه ، يسحبان معهما الماء ، بواسطة جيوبهما الحوضية (trough-shaped pockets)، الواقعة عند الاطراف ، والماء الموجود فى داخل الجيب ، يقوم مقام مانع تسرب ايدرولى ، يمنع الغاز من التسرب الى الخارج (شكل ١١ — ٦ ، ب) .

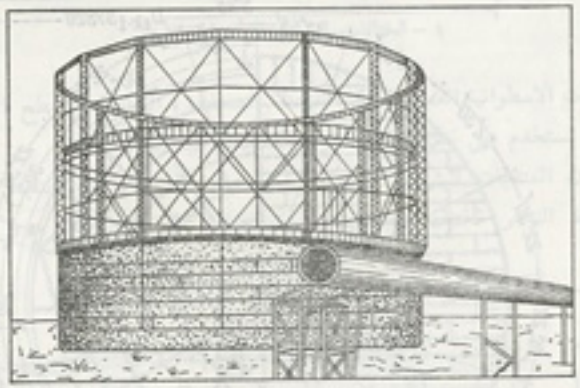
ولتأمين الحركة الناعمة لكل من الجرس والجسم التلسكوبى ، وتجنب اختلاف المحاذاة (misalignment) ، تنشأ او تستخدم قطع دليلة رأسية ، مؤلفة من قوائم الضغاط على شكل — I ، تربط بواسطة قطع تكثيف تعالبية ، وتتحول الى انشاء قرافى جاسئ (شكل ١١ — ٧) . وتتحرك

على امتداد هذه القوائم ، دحاريج او اسطينات محمولة على اذرع (كوابيل) ، مثبتة مع الاقسام الصاعدة من مستودع الغاز .

وعند الهبوط الى القاع ، تستند الاقسام المتحركة ، على مقاعد (محامل) خاصة . ويحسب الخزان تبعا لتأثير ضغط الماء ، ولهذا يكون ثخن جدرانه ، اكبر قليلا من ثخن جدران الجسم التلسكوبى . ويؤخذ الثخن الاصغر للجدران ، مساويا ٤ مم ، ولغطاء الجرس ، مساويا لما يتراوح بين ٢,٥ — ٣ مم . ويصنع غطاء (سقف) الجرس ، من الواح محمولة على روافد سقفية مائلة ،



شكل (١١ — ٦) الرسم التخطيطى لمستودع الغازات المبتلة

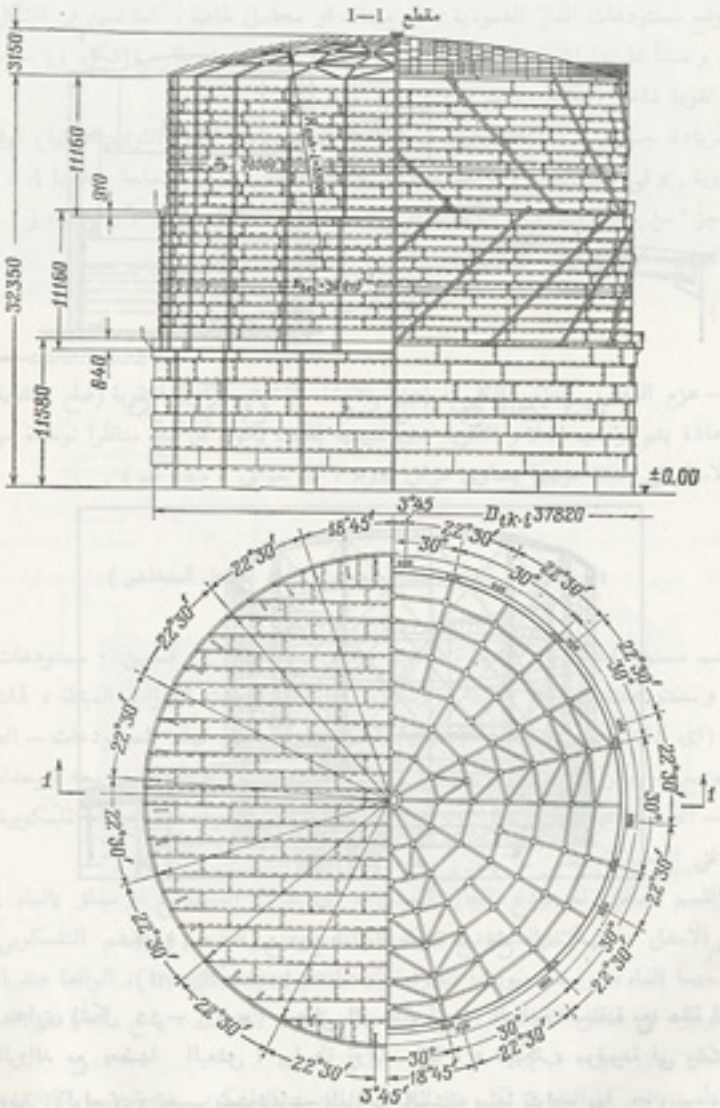


شكل (١١ — ٧) مستودع للغازات المبتلة ذو قطع دليلة رأسية

مؤلفة من مجارى (شكل ١١ — ٦ ، هـ) . وفى الوسط ، تتصل الرافدة السقفية مع حلقة المجرى . وترتبط الروافد مع بعضها البعض ، بواسطة زوايا حلقية ، وشبيكة ، موضوعة فى مستوى واحد (لتسهيل وضع الالواح) . وتصمم مستودعات الغازات المبتلة، بسعة تتراوح بين ١٠٠ — ٣٠٠٠٠ م٣.

وقد تم فى السنوات الاخيرة، تصميم مستودعات للغازات المبتلة ، تحتوى على قطع دليلية لولبية ، كما مبين فى الشكل (١١ — ٨) . وفى مستودعات الغازات هذه ، الحقت بالسطح الخارجى

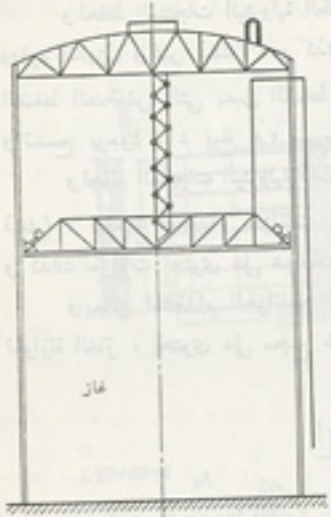
للاجسام التلسكوبية المتحركة و الجرس سكة حديدية موضوعة على امتداد الخط القولبى ، بزاوية قدرها ٥°٤. وقد ثبتت دحاريج او اسيطينات (مزدوجة الشفة) ، مع الحلقة العليا للخزان ، و كذلك على الطرف العلوى لكل جسم تلسكوبى . و نظرا لعدم وجود هيكل فراغى خاص، يكون وزن مستودع الغاز القولبى ، اقل من غيره بمقدار يتراوح بين ١٠ — ١٥ ٪ (شكل ١١ — ٨) .



شكل (١١ — ٨) مستودع للغازات المبتلة ذو قطع دليلية لولبية

اما مستودع الغاز الجاف فهو عبارة عن غلاف ثابت ، يحتوى على قاع وسقف ، يتحرك فى داخله كباس (شكل ١١ — ٩) . و تصمم مستودعات الغازات الجافة، بسعة تتراوح بين ١٠٠٠٠ — ١٠٠٠٠٠م٣ . وعند امتلاء مستودع الغاز من الاسفل ، يتغلب الغاز ، بعد وصوله الى حد معين من الضغط ، على وزن الكباس ، و يرفعه الى الاعلى . وعند استخدام جزء من الغاز المذكور ، يهبط الكباس الى الاسفل ، و يطرد الغاز بثقله المؤثر عليه .

ولزيادة او تحسين نوعية عمل مستودع الغاز الجاف ، يحاول المصممون فى الوقت الحاضر ، استبدال الكباس المتحرك ، بقطعة من النسيج المطلى او المشرب بالمطاط او بمخلوط مستحضر منه .



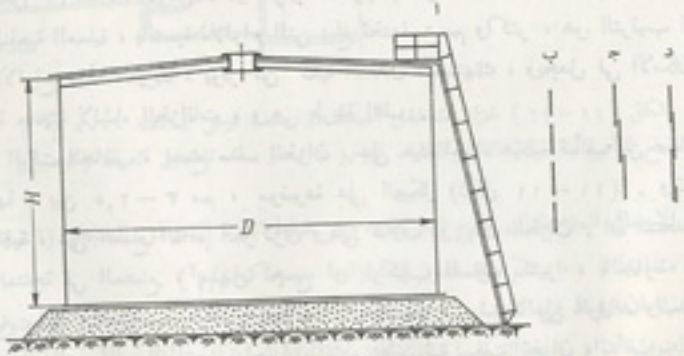
شكل (١١ — ٩) الرسم التخطيطى لمستودع الغازات الجافة

البند الخامس والخمسون — خزانات السوائل

١ — الخزانات المقامة على سطح الارض

ان الخزانات الاسطوانية العمودية ذات القاعدة المسطحة ، المقامة على سطح الارض و الموضوعة على فرشة رملية ، تستخدم على نطاق واسع لخزن المنتجات البترولية .

وعند خزن المنتجات البترولية ، تحدث فيها عملية التبخر (نتيجة لتجمع الغازات تحت السقف) ، ودرجة التبخر تختلف عند تغير درجة الحرارة " التنفس البطئ"، و كذلك عند الملء



شكل (١١ — ١٠) الرسم التخطيطى لخزان منخفض الضغط ، مقام على سطح الارض

والتفريغ "التنفس القوي" ، وتؤدي الى حدوث فقدان كبير في المنتجات البترولية . ولغرض تقليل هذا الفقدان ، تستخدم خزانات مختلفة الانواع والتصاميم .

ولحفظ المنتجات البترولية الخفيفة ، ذات الابخرة المنخفضة المرونة (الكيروسين والغازولين ووقود الديزل وغير ذلك) ، وكذلك لحفظ المنتجات النفطية والزيوت الثقيلة ، تستخدم خزانات الضغط المنخفض، التي يصل الضغط الداخلي فيها الى ٢٠٠ مم من عمود الماء (٠,٠٢ كجم/سم٢)، وتسمح بوجود فراغ يبلغ ٢٥ مم من عمود الماء (شكل ١١ — ١٠) .

ولحفظ المنتجات البترولية ذات الابخرة العالية المرونة (مختلف انواع البنزين والبترول وغير ذلك) ، يجب استخدام خزانات اسطوانية ، مرتفعة الضغط (من ٠,٢ الى ٠,٣ كجم/سم٢) ، وكذلك خزانات تحتوي على عوامات او على سقوف عائمة .

ويمكن استخدام الخزانات المنخفضة الضغط، ولكن مع توحيد عدة خزانات بنظام واحد لموازنة الغاز ، يحتوي على مجمع غازات .

أ) خزانات الضغط المنخفض

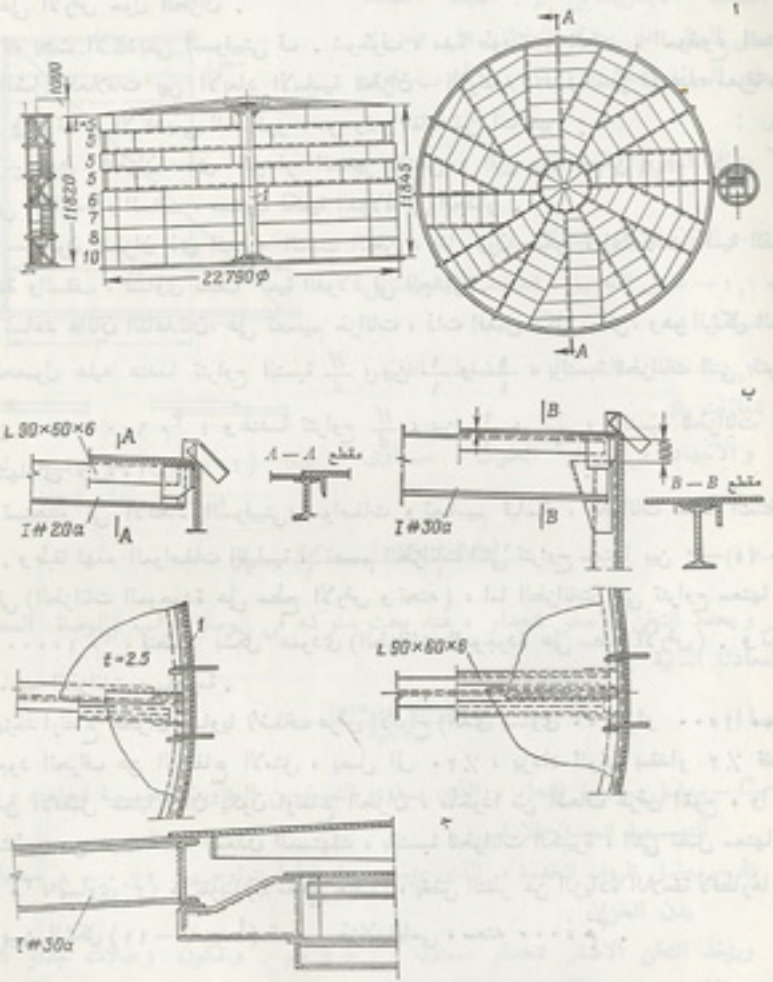
ينصح في الوقت الحاضر بتصميم خزانات الضغط المنخفض ، بحيث تحتوي على سقف لوحي ، وتتراوح سعتها الاسمية بين ١٠٠ — ٥٠٠٠ م٣ . وهناك تصاميم لخزانات تبلغ سعتها ١٠٠٠٠ و ١٥٠٠٠ و ٢٠٠٠٠ م٣ .

ان القطع الانشائية الاساسية لخزانات الضغط المنخفض ، هي القاعدة والجدار (الغلاف) والسقف . وتتعرض القاعدة المستقرة على اساس رملي ، الى الضغط الناجم عن السائل فقط . ويؤخذ ثخن القاعدة ، وفقا للاعتبارات التصميمية ، كما يلي : $t = 4$ مم عندما يقل قطر الخزان عن ١٨ م ؛ $t = 5$ مم عندما يتراوح قطر الخزان D بين ١٨ — ٢٥ م ؛ و $t = 6$ مم عندما يزيد قطر الخزان D على ٢٥ م . ويبلغ ثخن الالواح الطرفية للقاعدة ٨ مم . ويحدد ثخن غلاف الخزان بالطرق الحسابية ، ويتراوح بين ٤ — ٥ مم واكثر . ويمكن ان ترتب الالواح على طول ارتفاع الخزان ، ترتيبا تناكبيا ، اي طرف مقابل طرف (شكل ١١ — ١٠ ، ب) ، او ترتيبا تلسكوبيا (شكل ١١ — ١٠ ، ه) ، او ترتيبا متدرجا (شكل ١١ — ١٠ ، د) . واكثر ترتيب ملائم من الناحية العملية ، بالنسبة للالواح التي يبلغ ثخنها ٦ مم واكثر ، هو الترتيب التناكبي . ان ترتيب الالواح بهذه الطريقة ، يوفر من كمية المعدن المستهلك ، ويجعل في الامكان استخدام طريقة صناعية حديثة لانشاء الخزانات ، وهي طريقة اللف .

وفي الوقت الحاضر ، يصنع سقف الخزان ، على هيئة اجزاء هيكلية تتألف من صفائح رقيقة ، يتراوح ثخنها t بين ٢,٥ — ٣ مم ، موضوعة على الهيكل (شكل ١١ — ١١) . وترتكز هذه الاجزاء الهيكلية ، على الضلع القائم المركزي وعلى غلاف او بدن الخزان . ان استخدام الاجزاء الهيكلية ، المنتجة في المصنع ، يسهل تجميع او تركيب السقف كثيرا ، بالمقارنة مع تصميم السقف المتبع سابقا ، المؤلف من الواح او صفائح منفردة ، موضوعة على الروافد والمدادات .

ان احمال التصميم ، المستخدمة لحساب القطع الانشائية لسقف الخزان ، تتألف من مجموعتين من الاحمال ، هما :

أ) الاحمال المتجهة الى داخل الخزان — وهي الثلج، والوزن الذاتي للقطع والفراغ الذي يمكن ان يتكون نتيجة التبريد السريع للابخرة . ويؤخذ هذا الفراغ ، مساويا لـ ٢٥ مم من عمود الماء ، اي يساوي ٢٥ كجم/م٢ ،



شكل (١١ — ١١) خزان منخفض الضغط ذو سقف لوحي ، سعته ٥٠٠٠ م٣ :
أ — المقطع الرأسي والمسقط الافقي للسقف اللوحي ، ب و ج — تفاصيل اتصال (توصيل) الالواح

ب) الاحمال المتجهة الى خارج الخزان — وهي ضغط ابخرة السوائل المتبخرة (الضغط الفائض)، الذي يؤخذ مساويا لـ ٢٠٠ مم من عمود الماء (او ٢٠٠ كجم/م٢) .

ويجب ان يؤخذ في الاعتبار ، بأن الضغط الفائض في الخزان ، يمكن ان يتولد عند ملئه بالمنتجات البترولية ، او نتيجة للتبخر عند وجود كمية قليلة من السوائل ، الامر الذي قد يؤدي الى عدم توازن او تعادل الضغط الكبير ، المؤثر على السقف من الاسفل الى الاعلى ، ليس مع وزن

السقف الذاتى فحسب ، بل ومع وزن الغلاف (البدن) ايضا . ولذلك فلموازنة او معادلة القوى السالبة ، يتم ملء العمود الوسطى ، اذا كان على هيئة ماسورة ، بالخرسانة او الرمل ، واذا كانت الاعمدة تشابكية ، تطمر قواعدها فى الخرسانة . اما جدار الخزان ، فيثبت بربطه مع بلاطات خرسانية ، موضوعة على الارض حول الخزان .

وقد بحث الاكاديمى السوفييتى ف . شوخوف ، مدة طويلة من الوقت ، الموضوع المتعلق بتحديد افضل العلاقات بين الابعاد الاساسية للخزان — الارتفاع H والقطر D عند، معرفة سعته المعينة . وقد تمكن الاكاديمى المذكور ، من وضع القاعدتين التاليتين :

١ — يكون للخزان ذى الجدار المتغير الثخن ، اقل وزن ممكن ، اذا كانت كمية الفولاذ فى القاعدة والسقف ، مساوية لكمية الفولاذ فى الجدار .

٢ — يكون للخزان ذى الجدار الثابت الثخن ، اقل وزن ممكن ، اذا كانت كمية الفولاذ فى القاعدة والسقف ، تساوى نصف كمية الفولاذ فى الجدار .

وتساعد هاتان القاعدتان، على تصميم خزانات ، ذات افضل شكل ممكن، وهو الشكل الذى يمكن الحصول عليه عندما تتراوح النسبة $\frac{H}{d}$ ، بين $\frac{1}{1}$ و $\frac{1}{4}$ ، بالنسبة للخزانات التى تتراوح سعتها بين ١٠٠ — ٦٠٠ م^3 ؛ وعندما تتراوح $\frac{H}{d}$ ، بين $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{5}$ ، بالنسبة للخزانات التى تصل سعتها الى ١٠٠٠٠ م^3 .

وتستخدم فى الاتحاد السوفييتى، مواصفات وتصاميم قياسية ، لخزانات حفظ المنتجات البترولية . وطبقا لهذه المواصفات القياسية ، تصمم الخزانات التى تتراوح سعتها بين ٣ — ٧٥ م^3 ، بشكل افقى (الخزانات الموجودة على سطح الارض وتحته) ، اما الخزانات التى تتراوح سعتها بين ١٠٠ — ١٠٠٠٠ م^3 ، فتصمم بشكل عمودى (الخزانات الموجودة على سطح الارض) . وتكون جميع تصاميم الخزانات ، ملحومة .

ويؤخذ ارتفاع الخزان مساويا لأضعاف عرض الالواح (الذى يساوى ١٤٠٠ او ١٥٠٠ مم) . وعند وجود انحراف عن الارتفاع الامثل ، يصل الى ٢٠ ٪ ، يزداد الوزن بمقدار ٢ ٪ فقط ، ولذلك من الافضل عمليا ، ان يكون ارتفاع الخزان ، مأخوذا من اضعاف عرض اللوح ، واكبر ارتفاع مثالى ، من حيث كمية المعدن المستهلك ، بالنسبة للخزانات الكبيرة ، التى تصل سعتها الى ١٠٠٠٠ م^3 ، يساوى ١٢ م تقريبا (٨ مقاطع حلقية) ، بغض النظر عن الزيادة اللاحقة لاقطارها .

ويبين الشكل (١١ — ١١ ، أ) تصميم خزان قياسى ، سعته ٥٠٠٠ م^3 .

جدول ١١ — ٣

استهلاك الفولاذ فى الخزانات

السعة (م^3)	٢٠٠	٤٠٠	٧٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٣٠٠٠ و ٥٠٠٠
كمية الفولاذ المستهلك ، مقاسة بالكيلوجرام لكل م^3 من حجم الخزان	٣٨	٣٣	٢٥	٢٤	٢١	٢٠

وتبين الارقام المدرجة فى الجدول (١١ — ٣) خصائص استهلاك الفولاذ فى خزانات الضغط المنخفض ، ذات السقوف اللوحية .

ويتم حساب جدار الخزان ، مثل حساب الانشاء القشرى الاسطوانى ، المعرض للشد ، الناجم عن الضغط الايدروستاتى p . فقيمة الضغط التصميمى المؤثر على جدار الخزان على عمق x من سطح السائل (شكل ١١ — ١٢ ، أ) ، تساوى ما يلى :

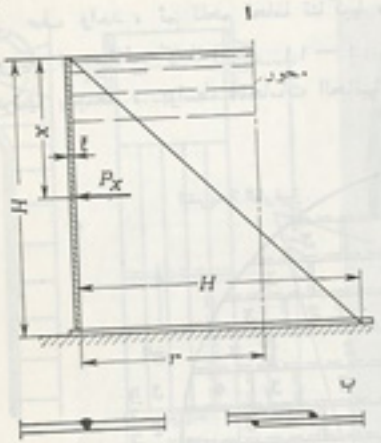
$$p_x = \gamma x n_1 + p_g n_2$$

حيث γ — الوزن النوعى للسائل ؛

$n_1 = ١{,}١$ — عامل التحميل ، للضغط الايدروستاتى للسائل ؛

$n_2 = ١{,}٢$ — عامل التحميل ، للضغط الفائض للغازات p_g .

والاجهاد فى جدار الخزان ، سيساوى ما يلى :



شكل (١١ — ١٢) رسم توضيحى لحساب وتصميم جدار الخزان

$$\sigma_2 = \frac{p_x r}{t} = \frac{(\gamma x n_1 + p_g n_2) r}{t} \qquad (11—12)$$

ويحدد الثخن الاصغر للجدار ، عند بحث سلوكه فى الوصلة الرأسية (الوصلة المصممة) ، من المعادلة التالية :

$$t = \frac{(\gamma x n_1 + p_g n_2) r}{k_3 R C_{st}} \qquad (11—13)$$

حيث C_{st} — معامل مقاومة اللحام ، الذى يساوى النسبة بين المقاومة التصميمية للحام ، والمقاومة التصميمية للمعدن الاساسى ؛

k_3 — معامل ظروف الخدمة ، الذى يؤخذ مساويا لما يتراوح بين ٠,٧٢ — ٠,٨ ، لغلاف او بدن الخزان .

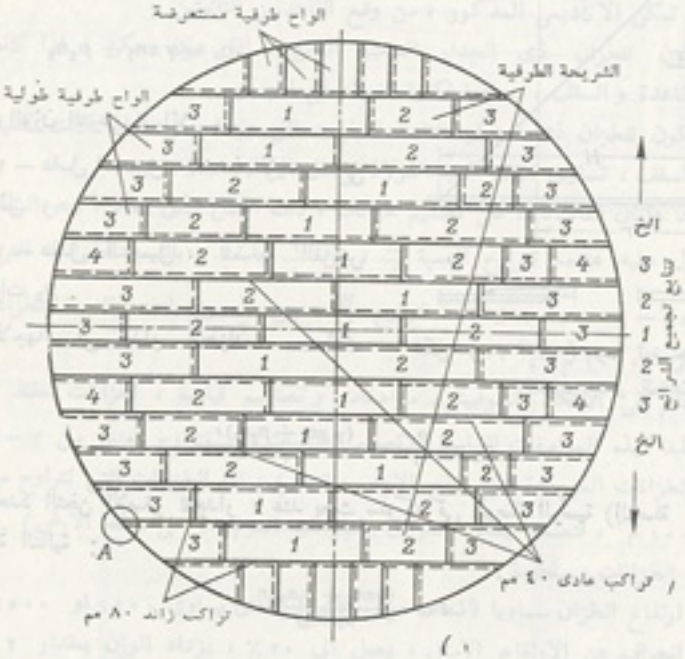
ويؤخذ الثخن الاصغر للجدار مساويا لـ $t = ٥$ مم . وتكون وصلات جدار الخزان (الرأسية والافقية) ، اما تناكبية او تراكبية (شكل ١١ — ١٢ ، ب) .

وتتألف القاعدة المستوية للخزان المقام على سطح الارض ، من الواح ملحومة من شرائط ، مربوطة مع بعضها البعض ، اما بوصلة تراكبية (شكل ١١ — ١٣ ، أ) ، او بوصلة تناكبية .

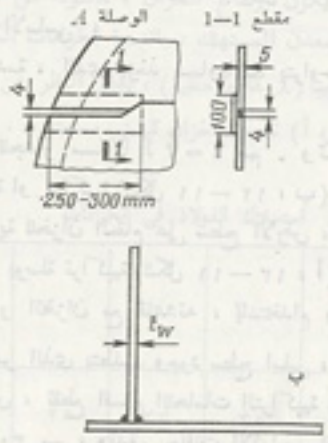
ويربط او يوصل جدار الخزان مع قاعدته ، باستخدام وصلة شكل — ⌋ او وصلة زاوية (شكل ١١ — ١٣ ، ب) ، الامر الذى يتطلب وجود سطح املس ، عند حافة القاعدة ، على امتداد المحيط باكمله . ولهذا الغرض ، تقطع اقسام اللحامات التراكبية ، الواقعة بين الالواح الطرفية ، بمسافة تتراوح بين ٢٥٠ — ٣٠٠ مم ، وتدق حافات الالواح الطرفية العليا بالمطرقة ، الى ان تنطبق مع حافات الالواح الطرفية السفلى ، وتوضع شريحة معدنية عند الطرف السفلى (شكل ١١ — ١٣ ،

أ، الوصلة) . وفى هذه الحالة، يجب ترك خلوص يساوى ٤ مم، ضرورى لانكماش اللحام . ويجب مراجعة هذا الموضع ، مراجعة دقيقة وشاملة للغاية ، بعد عملية اللحام .

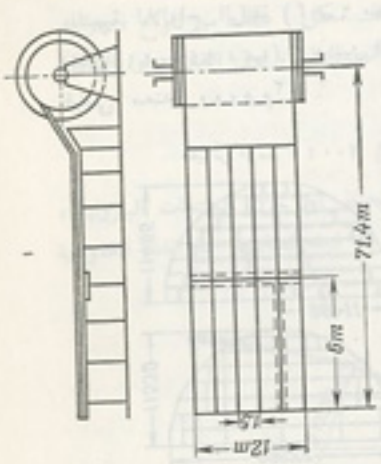
وعند صناعة او انشاء الخزانات ، بطريقة اللف ، توضع الالواح التى يبلغ عرضها ١,٥ م ، فى صف واحد ، ثم تلحم لحاما تناكبيا ، على امتداد حافتها الطولية ، فتصبح على هيئة شرائط لوحية او صفائح كاملة (شكل ١١ — ١٤ ، أ) . وبعد ذلك تلحم هذه القطاعات ، على امتداد عرضها بأجمعه ، بواسطة اللحامات الجانبية ، وبزيادة طول الشرائط المذكورة ، يتم لفها على

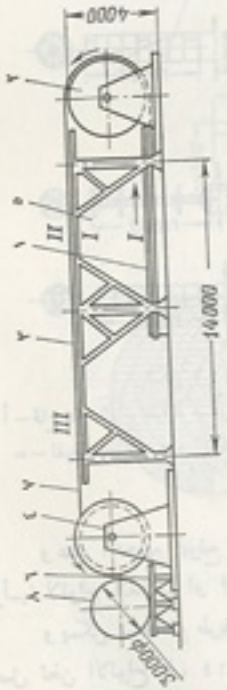


ب

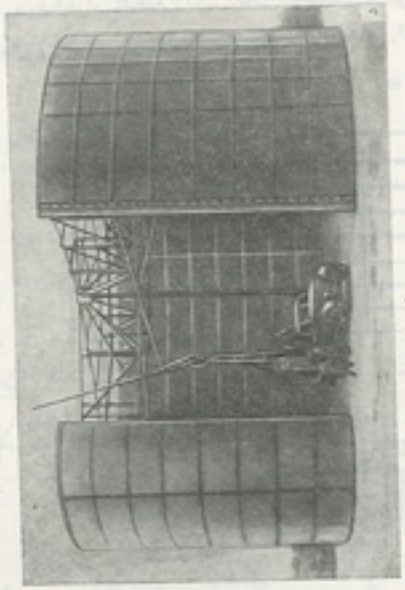


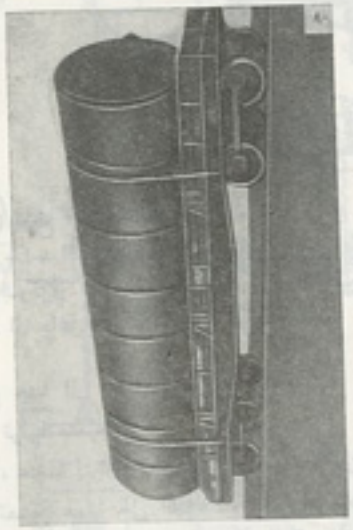
شكل (١١ — ١٣) قاع الخزان





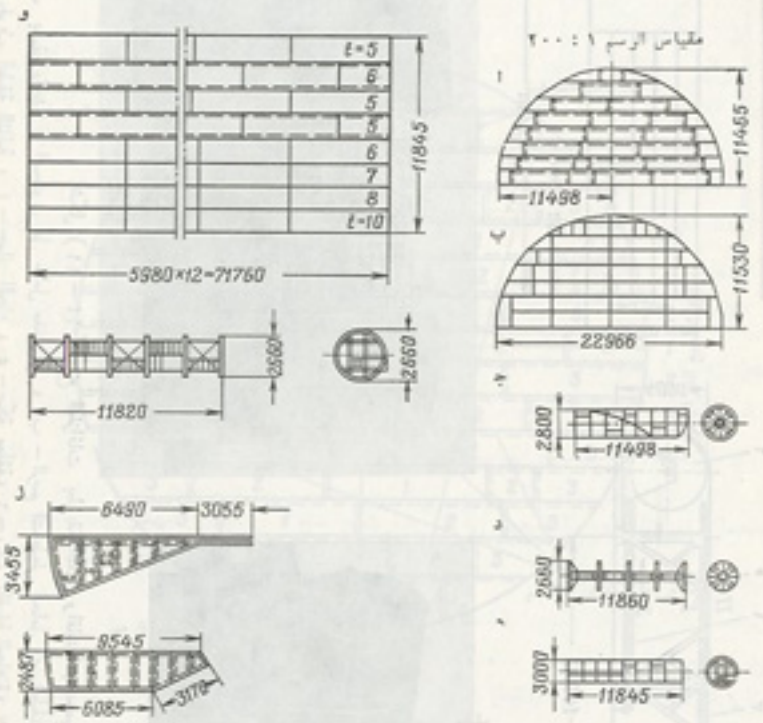
ب





شكل (١١ — ١٤) صنع الخزانات بطريقة اللف ولفائها بالمجموع :
أ — جهاز اللف بطبلة واحدة ، المحتوى على حامل مغطيى ، ب — الرسم التخطيطى لحامل ذى الطبلتين . ١ — رؤوف الطبقة الاولى ، ٢ — طبلة حاملة ، ٣ — رؤوف الطبقة الثانية ، ٤ — جهاز اللحام ، ٥ — سكة معلقة ، ٦ — رف القبة الجاهزة ، ٧ — صفيحة (لوح) القاع ، ٨ — لفيفة جاهزة ، I و II و III — محلات العمل لتجميع واللحام وفحص او اختبار الالواح (الصفائح) ، د — لفيفة موضوعة على عربة مسطحة ، د — تركيب او تجميع غلاف الخزان

هيئة لفائف . وهذه الطريقة ، تعوض عن طريقة تشكيل الالواح بالدلفنة . وباستخدام طريقة اللف ، يتم انتاج او صنع جدران وقواعد الخزانات . وفي الوقت الحاضر ، يتم انتاج الخزانات ، على مناصب ذات طبقتين ، مع لحام من الجانبين ، الامر الذى يساعد على استخدام الوصلات التراكبية ، بالنسبة للالواح الرقيقة ($t \leqslant 6$ مم) ، واجراء اللحام من كلا الجانبين ، فى الوضع السفلى (شكل ١١ — ١٤ ، ب) . ويبين الشكل (١١ — ١٥) قطع مشحونة ، منتجة فى المصنع ، لخزان قياسى سعته ٥٠٠٠ م٣ .



شكل (١١ — ١٥) القطع المشحونة لخزان سعته ٥٠٠٠ م٣ :
أ — قاع ذو الواح طرفية مستوية ، ب — احد انواع القاع المستخدم لعملية اللحام على الحامل المغنطيسى ، حـ — لفيفة القاع ، د — القطع القائم المركزى ، هـ — لفيفة الغلاف ، و — غلاف الخزان ، ز — سلم الهبوط الى داخل الخزان ، ح — الواح السقف

وعند التجميع بوضع الالواح جنبا الى جنب (الطريقة القديمة) ، ترتب جميع الوصلات الرأسية لالواح الغلاف او البدن ، ترتيبا متعرجا .

ويمكن استخدام طريقة اللف ، عندما يتراوح ثخن الالواح المعدنية بين ٤ — ١٢ مم (وعندما يصل ثخن الالواح الى ١٤ مم ، تصبح عملية حل اللفائف ، صعبة نوعا ما) . ويلف اللوح (او الصفيحة) الذى يصل عرضه الى ١٢ م (عرض المسند) ، بشكل لفافة يتراوح قطرها بين ٢,٣ — ٣,٢ م (شكل ١١ — ١٤ ، حـ) .

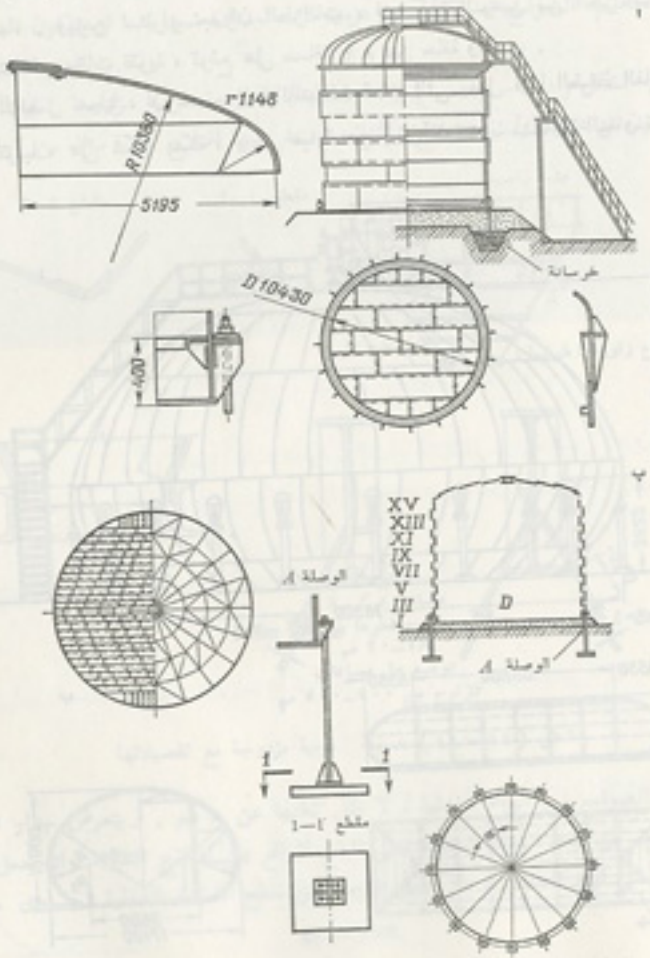
وعند التجميع او التركيب ، توضع لفافة الغلاف او البدن ، بصورة عمودية (رأسية) ، ويتم حلها او فكها (شكل ١١ — ١٤ ، د) . ويجب ان تكون وصلة الاطباق او القفل ، لغلاف الخزان ،

من النوع التراكبى ، اى وصلة تراكبية . وتوضع اللحامات من الخارج فقط ، بدون لحام خلفى ساند . ويتم التحكم فى هذه اللحامات ، او ضبطها ، ضبطا خاصا . ولوقاية او حماية القاعدة من الصدأ ، يغطى الاساس الرملى ، بطبقة من القير .

ويمكن بالنسبة لخزانات الضغط المنخفض ، استخدام سقف معلق ، مؤلف من الواح ، يتراوح ثخنها بين ٢,٥ — ٣ مم ، تعلق فى الاعمدة ، التى تبرز حافاتها العليا ، فوق الغلاف او البدن ، بمقدار يتراوح بين ١,٥ — ٢ م .

ب) خزانات الضغط المرتفع

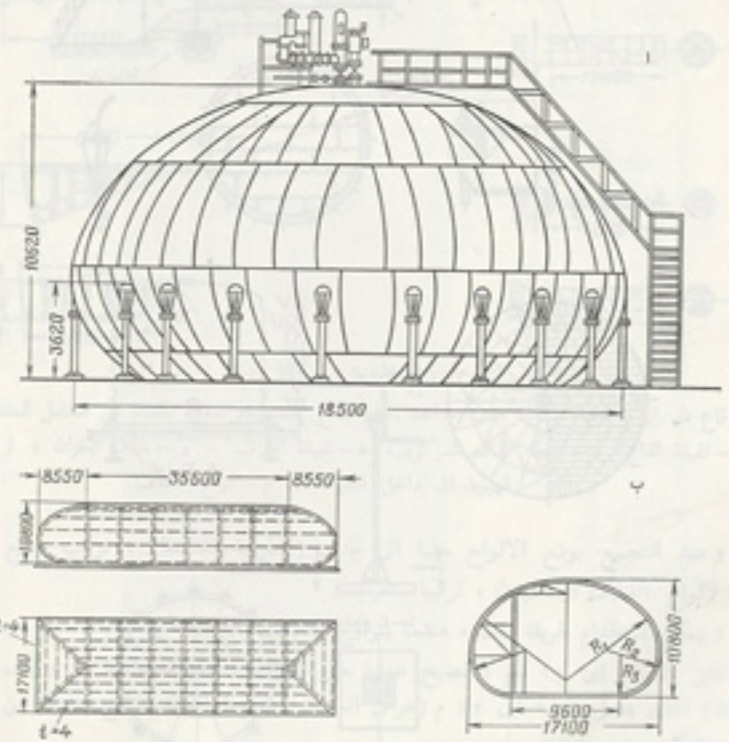
ذكرنا سابقا بأن خزانات الضغط المرتفع ، تستخدم لحفظ او خزن المنتجات البترولية ، السريعة التبخر او المتطايرة . ويبين الشكل (١١ — ١٦ ، أ) احد تصاميم الخزانات العمودية



شكل (١١ — ١٦) خزانات اسطوانية رأسية مرتفعة الضغط
أ — خزان بسطح اسطوانى كروى ، ب — خزان بسطح كروى

او الرأسية ، بسقف اسطوانى كروى . ان استخدام القطع الاسطوانية المنفردة ، التى يتراوح لخنها بين ٤ — ٦ مم ، ذات نصف قطر الانحناء المتساوى ، يسهل دلفنة الالواح ، و يجعل من الممكن فى الوقت نفسه ، الحصول على سقف ، على هيئة سطح دورانى . ويتصل او يرتبط السقف مع الغلاف او البدن ، عن طريق لوح معدنى . و تصمم هذه الخزانات ، تبعا للضغط الداخلى الفائض الذى يتراوح مقداره بين ١٦٠٠ — ٢٠٠٠ مم من عمود الماء ، و فراغ يساوى ٥٠ مم من عمود الماء . و يبين الشكل (١١ — ١٦ ، ب) ، تصميم خزان عمودى ذى سقف كروى ، وضعت فيه مواد او قطع التسقيف المستوية ، على هيئة قطع منفردة على هيكل السقف ، الذى هو عبارة عن قبة كروية من القضبان . و لجعل عملية التجميع سهلة ، و تجنب استخدام اللحامات العلوية ، يتم ربط السقف مع الغلاف او البدن ، عن طريق زوايا متباعدة جزئيا . و هذه الخزانات مصممة ، تبعا لضغط داخلى يساوى ١٠٠٠ — ١٥٠٠ — ٢٠٠٠ مم من عمود الماء ، و فراغ يساوى ١٠٠٠ مم من عمود الماء . ويؤمن استقرار جدران الخزانات ، فى كلا النوعين من الخزانات ، مع وجود الفراغ ، باستخدام حلقات تقوية ، توضع على مسافة ٢ م بين حلقة واخرى .

ومن الافضل عمليا ، ان تصمم الخزانات الضخمة ، التى يصل فيها الضغط الفائض الى ٠,٤ كجم/سم٢ تقريبا ، على شكل بصلة ، و هى عبارة عن انشاءآت قشرية متساوية المقاومة (شكل ١١ — ١٧) .



شكل (١١ — ١٧) خزانات على شكل بصلة

أ — خزان ذو قاعدة استناد استوائية ، ب — خزان ذو قاعدة استناد اسطوانية

٢ — الخزانات المحمولة على الابراج

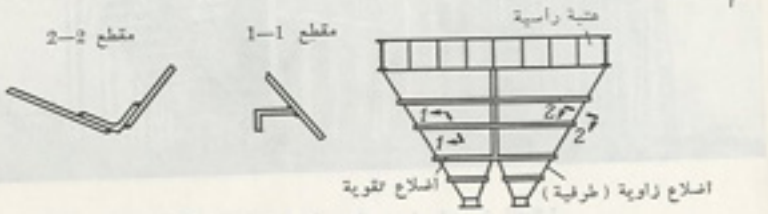
ان الخزانات المحمولة على الابراج ، تصمم بالدرجة الاساسية ، لغرض امداد الماء ، و يتراوح حجمها بين ١٠٠ و ٣٠٠٠ م٣ . و الخاصية التصميمية المميزة لهذه الخزانات ، هى انشاء قاعدة ، تكون بصورة عامة معلقة ، على هيئة انشاء قشرى دورانى واحد ، او على هيئة مجموعة من هذه الانشاءآت القشرية . ان انشاء قاعدة مستوية فى الخزانات المحمولة على الابراج، هو امر غير مجد من الناحية العملية ، و ذلك لأن مثل هذه القاعدة تتطلب انشاء شبيكة عتبية ثقيلة جدا ، لمقاومة الانحناء .

البند السادس والخمسون — الصوامع

ان تصاميم الصوامع قد تكون اما هرمية ذات جدران مستوية ، او تكون قابلة للانتناء او دائرية .

و يبين الشكل (١١ — ١٨ ، أ) رسما تخطيطيا لصومعة هرمية مزدوجة . و يتألف تصميمها من هيكل مكون من عتبات رأسية واضلاع ركنية ، تستند عليها اضلاع تقوية مؤلفة من زوايا ، وجدار .

أ



ب

شكل (١١ — ١٨) صومعة هرمية مزدوجة مع تفصيلاتها

و تصنع جدران الصوامع من الواح معدنية ، لا يقل لخنها عن ٨ مم . و يتعرض جدار الصومعة ، الى الانحناء الناجم عن ضغط المواد السائبة ، فى الباع الواقع بين اضلاع التقوية . ان حمل التصميم الرأسى ، المؤثر على لوح الجدار ، على عمق قدره x من سطح المادة السائبة ، يساوى ما يلى :

$$q_x = \gamma x n \qquad (11—14)$$

حيث γ — وحدة الوزن (الوزن الحجمى) للمادة السائبة عند تفريغها او سكبها فى الصومعة ؛ $n \geq 1{,}2$ — عامل التحميل .

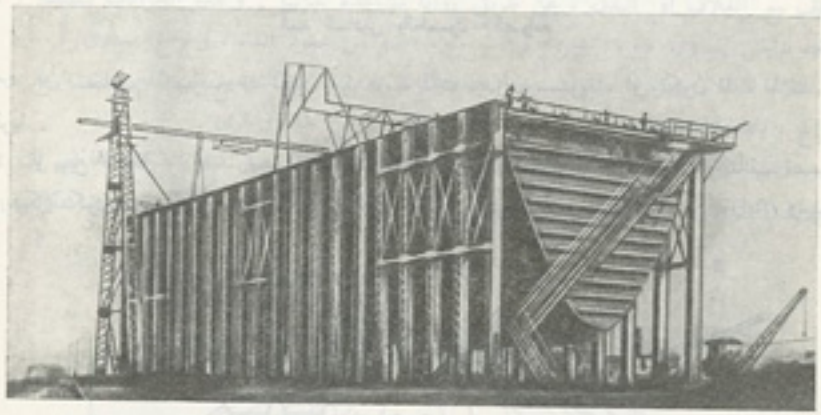
و الضغط او الحمل الافقى ، على نفس العمق المذكور ، سيساوى ما يلى :

$$q_p = \gamma x n \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \qquad (11-15)$$

حيث φ — زاوية الميل الطبيعى للمادة السائبة ، المأخوذة من المراجع الخاصة .

ان تصاميم اجزاء توصيلات الجدار مع العتبات و انشاء العنق ، مبينة فى الشكل (١١ — ١٨ ، ب) . و يتصل مع مجرى العنق (زاوية العنق) ، مانع تسرب .

و تخصص الصوامع القابلة للانثناء ، لحفظ او خزن كميات كبيرة من المواد السائبة . و هى عبارة عن انشاء قشرى معلق ، على شكل قطع مكافئ ، معرض بالدرجة الاساسية ، لتأثير الشد .



شكل (١١ — ١٩) منظر عام لصومعة اثنائية

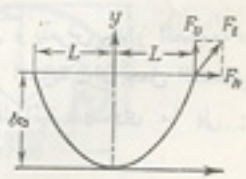
و يبين الشكل (١١ — ١٩) منظرا عاما للخزان القابل للانثناء ، المخصص لخزن المواد الخام (الخامات) ، سعته ١٠٠٠٠ طن ، ويبلغ كل من ارتفاعه و عرضه حوالى ١٧ م ، و يبلغ طوله حوالى ٦٠ م .

و تكون معادلة منحنى شكل الصومعة ، على الشكل التالى :

$$y = \frac{\delta}{2L^2}\left(3x^2 - \frac{x^3}{L}\right) \qquad (11-16)$$

و مساحة المقطع العرضى للصومعة (شكل ١١ — ٢٠) ، تساوى ما يلى :

$$A = \frac{5}{4} L \delta \qquad (11-17)$$



شكل (١١ — ٢٠) بيان تصميم الصومعة الدنة

و القيمة القصوى للاحداثى الرأسى للتحميل ، على امتداد محور التماثل ، تساوى ما يلى :

$$P_{max} = \frac{5}{4} \delta \gamma n \qquad (11-18)$$

حيث n — عامل التحميل .

و مركبتا قوة رد الفعل ، عند نقاط التعليق ، تساويان ما يلى :

$$F_h = \frac{P_{max} L^2}{3\delta} \quad \text{و} \quad F_v = \frac{P_{max} L}{2} \qquad (11-19)$$

وقوة الشد الاجمالية لكل وحدة طول من الصومعة ، فى موضع تثبيتها مع العتبات ، ستساوى ما يلى :

$$F_t = \sqrt{F_h^2 + F_v^2} = A\gamma n \sqrt{\frac{L^2}{9\delta^2} + \frac{1}{4}} \qquad (11-20)$$

و تستخدم هذه القوة المستخرجة الآن ، لتحديد لخن جدار الصومعة . و تلحم جميع الواح الصومعة ، لحاما تناكبيا . و عندما يكون طول الصومعة كبيرا ، يجب وضع حواجز جاسئة عرضية متوسطة ، و تقاوم المركبات الافقية لرد الفعل ، الموجودة بينها ، من قبل العتبة الافقية او الجمالون الافقى .

الملحق الاول

جدول ١

احمال التشغيل واحمال التصميم وعوامل التحميل

التسلسل	انواع الاحمال	احمال التشغيل (كجم/م٢)	عامل التحميل n	احمال التصميم (كجم/م٢)
١	الوزن الذاتي للقطع الانشائية	حسب التصميم	١,١ (٠,٩)	—
٢	المواد العازلة للحرارة والصوت (بلاطات مصنوعة من مواد خفيفة ومسامية ، مواد الحشو ، المواد الرابطة السقفية ، الملاط او الجص وغير ذلك)	كذلك	١,٢ (٠,٩)	—
	احمال الارضية			
٣	صالات محطات السكك الحديدية ، والمسارح ودور السينما ، مع الممرات (الدهاليز) والسلالم ، المدرجات المسقوفة وصالات التجارة والمعارض ، المتاحف ، لا تقل عن	٤٠٠	١,٣	٥٢٠
٤	خزانات المكتبات ، اماكن حفظ السجلات ، خشبة المسرح ، لا تقل عن	٥٠٠	١,٢	٦٠٠
٥	العليات (الطوابق العليا للبيوت) — بالاضافة الى وزن المعدات	٧٥	١,٤	١٠٥
٦	المباني الانتاجية :			
	أ) الاحمال الناتجة عن المعدات (لا تقل عن ٤٠٠ كجم/م٢ لحساب البلاطات ، و ٣٠٠ كجم/م٢ لحساب المساند والعوارض)	حسب التصميم	١,١ الى ١,٣	
	ب) الحمل الناتج عن وزن الاشخاص ، وقطع الغيار ومواد التصليح (لا تقل عن ٢٠٠ كجم/م٢)	كذلك	١,٢ الى ١,٤	—
	احمال منوعة			
٧	الوزن الذاتي للمعدات	كذلك	١,٢	—
٨	وزن السوائل	كذلك	١,١	—
٩	وزن المواد السائبة والكدارة ، وغيرها من المواد التي تملأ المعدات (الصوامع والخزانات)	كذلك	١,٢	—
١٠	الاحمال الناتجة عن عربات النقل والعربات الكهربائية وغيرها	كذلك	١,٣	—
١١	الاحمال الناتجة عن الاوناش الرحالة ، التي تقل حمولتها عن ٥ اطنان	كذلك	١,٣	—
١٢	الاحمال الناتجة عن بقية الاوناش الرحالة	كذلك	١,٢	—

وعند حساب العتبات الرئيسية والعوارض (عندما لا تقل المسافة بين واحدة واخرى عن ٥ م) ، تسمح المواصفات القياسية ، بتقليل قيمة الاحمال المتحركة ، وذلك بضربها في عامل مقداره ٠,٩ .

وكذلك يسمح بتقليل قيمة الاحمال المتحركة ، المؤثرة على الاعمدة ، في المباني المتعددة الطوابق ، بضربها في عامل يتراوح مقداره بين ٠,٩ و ٠,٥ ، تبعا لعدد الطوابق (من ١ الى ٩ فما فوق) .

جدول ٢

قيم عامل الخدمة k_s للقطع الانشائية الفولاذية

التسلسل	اسم القطعة الانشائية	k_s
١	العتبات المصمتة وقطع انضغاط الجمالونات السقفية ، تحت صالات المسارح والنوادي ودور السينما ، وتحت المدرجات المسقوفة ، وتحت مباني المحلات التجارية والمكتبات واماكن حفظ السجلات ، وغير ذلك ، عندما يكون وزن الارضية ، مساويا للاحمال المتحركة او اكبر منها	٠,٩
٢	القطع المنضغطة الاساسية (باستثناء القطع الساندة) لشبيكات الجمالونات السقفية والارضية ، عندما تكون نسبة قضافتها $\lambda \geq 60$	٠,٨
٣	اضلاع الانضغاط القائمة للقطع التشابكية القراغية ، المصنوعة من زوايا منفردة ملحومة على امتداد ساق واحدة :	
	أ) في الشبيكة المرتبة مثل اضلاع السمكة والشبيكة التصالبية ، ذات الوصلات التي لا تتطبق عند الاضلاع المتجاورة للشبيكة	٠,٨
	ب) في الشبيكة التصالبية ، التي تتطبق وصلاتها عند الاضلاع المتجاورة كالسابق ، عند وجود الوصلات المربوطة بالمسامير	٠,٩
		٠,٧٥

تتمة جدول ٢

التسلسل	اسم القطعة الانشائية	h_0
٤	عوارض الاونائش ، التي تحمل الاونائش التي تصل حمولتها الى ٥ اطنان فما فوق ، مع ظروف تشغيل صعبة ، وصعبة جدا ، وصعبة جدا ومتواصلة	٠,٩
٥	اعمدة المباني العدلية ومساند ابراج الماء	٠,٩
٦	الزوايا المنضغطة المنفردة ، المربوطة من جهة واحدة (من ساق واحدة) باستثناء الزوايا المذكورة في النقطة الثالثة اعلاه	٠,٧٥

ملحوظات : ١ — ان عوامل الخدمة ، المقررة بالنسبة للنقطتين ٢ و ٣ ، لا تتعلق بتوصيلات القطع الانشائية المناظرة ، في الوصلات .

٢ — ان عامل الخدمة للزوايا المربوطة او المثبتة من ساق واحدة ، قد حدد بالنسبة للزوايا المتساوية الساقين والمختلفة الساقين ايضا ، المربوطة او المثبتة على امتداد الساق القصيرة .

جدول ٣

الانحناءات او الانحرافات القصوى للقطع القابلة للانحناء

الرقم	اسم القطعة الانشائية	مقدار الانحناء او الانحراف ، مقاسا باجزاء من الباع $\frac{1}{r_5} = \frac{\delta}{L}$
١	عوارض وجمالونات الاونائش :	
	أ) في الاونائش اليدوية التشغيل	$\frac{1}{500}$
	ب) في الاونائش الكهربائية التي تصل حمولتها الى ٥٠ طن	$\frac{1}{600}$
	ج) في الاونائش الكهربائية التي تصل حمولتها الى ٥٠ طن فما فوق . . .	$\frac{1}{750}$
٢	سكك القطارات المعلقة	$\frac{1}{400}$
٣	عتبات ساحات العمل في المباني الصناعية :	
	أ) في حالة عدم وجود سكك حديدية :	
	العتبات والعوارض الرئيسية	$\frac{1}{400}$
	بقية العتبات والعوارض	$\frac{1}{250}$
	ب) في حالة وجود سكك حديدية من الخط العريض	$\frac{1}{600}$
٤	عتبات الارضيات الموجودة بين الطوابق :	
	أ) العتبات الرئيسية	$\frac{1}{400}$
	ب) بقية العتبات الاخرى	$\frac{1}{250}$

تتمة جدول ٣

الرقم	اسم القطعة الانشائية	مقدار الانحناء او الانحراف ، مقاسا باجزاء من الباع $\frac{1}{r_5} = \frac{\delta}{L}$
٥	عتبات السقوف والارضيات :	
	أ) العتبات الرئيسية	$\frac{1}{250}$
	ب) المدادات	$\frac{1}{200}$
٦	قطع الانشاء الهيكل :	
	أ) القوائم (الاضلاع القائمة) والعوارض	$\frac{1}{300}$
	ب) مدادات السطوح الزجاجية (في المستويين الرأسي والافقي) . . .	$\frac{1}{200}$

ملحوظات : ١) تحدد الانحناءات او الانحرافات بدون اخذ العامل الديناميكي في الاعتبار .

٢) عند وجود ملاط او جص ، يجب ان لا يزيد انحناء او انحراف العتبات السقفية (الارضية) ، الناجم عن الاحمال المتحركة فقط ، على $\frac{1}{350}$ من طول الباع .

جدول ٤

التشوهات الافقية القصوى لقطع المباني والاحمال المكشوفة ، الناجمة عن تأثير الاونائش

نوع التشوهات	مقدار وحدة التشوه
١ — ازاحة اعمدة المباني ، ذات ظروف الاشتغال الصعبة :	
أ) في الاتجاه الجانبي :	
عند وجود مخطط انشائي مستو	$1/2500\ H$
عند وجود مخطط انشائي فراغي (مجسم)	$1/4000\ H$
ب) في الاتجاه الطولي	$1/4000\ H$
٢ — ازاحة اعمدة حوامل الاونائش المكشوفة ، في الاتجاهين الجانبي والطولي . . .	$1/4000\ H$
٣ — الانحناء او الانحراف الافقي للقطع الفرملة او التكثيف (العتبات او الجمالونات) المستخدمة في التصميم ، عندما تكون من النوع البسيط	$1/2000\ L$

الرموز : H = ارتفاع العمود من اسفل القاعدة الى قمة سكة الونش .

L = طول قطعة الفرملة (خطوة الاعمدة) .

ملحوظة : ان ازاحات الاعمدة (عند مستوى ارتفاع الشفة العليا لعارضة الونش) ، وكذلك قيمة انحناء او انحراف قطع الفرملة ، تحدد تبعا لتأثير القوى الفرملية الجانبية ، المحسوبة بالنسبة للونش ذي قوة الرفع (السعة الحملية) القصوى ، من بين جميع الاونائش الموجودة في المبنى او على الحامل او الجسر . وفي هذه الحالة ، تحدد قيمة ازاحة الاعمدة ، من شروط الازاحات المتعادلة ، لكل عمودين متقابلين .

١ـ معطيات لحساب القطع المركزية (المحورية) التحميل

جدول ١

قيم عامل التحدب φ للقطع الفولاذية المركزية التحميل

نسبة القضافة λ	قيم عامل التحدب φ للفولاذ ٥ – الفولاذ ٣ والفولاذ ٤									
	صفر	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
صفر	١,٠٠٠	٠,٩٩٩	٠,٩٩٨	٠,٩٩٧	٠,٩٩٦	٠,٩٩٥	٠,٩٩٤	٠,٩٩٣	٠,٩٩٢	٠,٩٩١
١٠	٠,٩٩٠	٠,٩٨٨	٠,٩٨٦	٠,٩٨٤	٠,٩٨٢	٠,٩٨٠	٠,٩٧٨	٠,٩٧٦	٠,٩٧٤	٠,٩٧٢
٢٠	٠,٩٧٠	٠,٩٦٨	٠,٩٦٦	٠,٩٦٤	٠,٩٦٢	٠,٩٦٠	٠,٩٥٨	٠,٩٥٦	٠,٩٥٤	٠,٩٥٢
٣٠	٠,٩٥٠	٠,٩٤٧	٠,٩٤٤	٠,٩٤١	٠,٩٣٨	٠,٩٣٥	٠,٩٣٢	٠,٩٢٩	٠,٩٢٦	٠,٩٢٣
٤٠	٠,٩٢٠	٠,٩١٧	٠,٩١٤	٠,٩١١	٠,٩٠٨	٠,٩٠٥	٠,٩٠٢	٠,٨٩٩	٠,٨٩٦	٠,٨٩٣
٥٠	٠,٨٩٠	٠,٨٨٧	٠,٨٨٤	٠,٨٨١	٠,٨٧٨	٠,٨٧٥	٠,٨٧٢	٠,٨٦٩	٠,٨٦٦	٠,٨٦٣
٦٠	٠,٨٦٠	٠,٨٥٥	٠,٨٥٠	٠,٨٤٥	٠,٨٤٠	٠,٨٣٥	٠,٨٣٠	٠,٨٢٥	٠,٨٢٠	٠,٨١٥
٧٠	٠,٨١٠	٠,٨٠٤	٠,٧٩٨	٠,٧٩٢	٠,٧٨٦	٠,٧٨٠	٠,٧٧٤	٠,٧٦٨	٠,٧٦٢	٠,٧٥٦
٨٠	٠,٧٥٠	٠,٧٤٤	٠,٧٣٨	٠,٧٣٢	٠,٧٢٦	٠,٧٢٠	٠,٧١٤	٠,٧٠٨	٠,٧٠٢	٠,٦٩٦
٩٠	٠,٦٩٠	٠,٦٨١	٠,٦٧٢	٠,٦٦٣	٠,٦٥٤	٠,٦٤٥	٠,٦٣٦	٠,٦٢٧	٠,٦١٨	٠,٦٠٩
١٠٠	٠,٦٠٠	٠,٥٩٢	٠,٥٨٤	٠,٥٧٦	٠,٥٦٨	٠,٥٦٠	٠,٥٥٢	٠,٥٤٤	٠,٥٣٦	٠,٥٢٨
١١٠	٠,٥٢٠	٠,٥١٣	٠,٥٠٦	٠,٤٩٩	٠,٤٩٢	٠,٤٨٥	٠,٤٧٨	٠,٤٧١	٠,٤٦٤	٠,٤٥٧
١٢٠	٠,٤٥٠	٠,٤٤٥	٠,٤٤٠	٠,٤٣٥	٠,٤٣٠	٠,٤٢٥	٠,٤٢٠	٠,٤١٥	٠,٤١٠	٠,٤٠٥
١٣٠	٠,٤٠٠	٠,٣٩٦	٠,٣٩٢	٠,٣٨٨	٠,٣٨٤	٠,٣٨٠	٠,٣٧٦	٠,٣٧٢	٠,٣٦٨	٠,٣٦٤
١٤٠	٠,٣٦٠	٠,٣٥٦	٠,٣٥٢	٠,٣٤٨	٠,٣٤٤	٠,٣٤٠	٠,٣٣٦	٠,٣٣٢	٠,٣٢٨	٠,٣٢٤
١٥٠	٠,٣٢٠	٠,٣١٧	٠,٣١٤	٠,٣١١	٠,٣٠٨	٠,٣٠٥	٠,٣٠٢	٠,٢٩٩	٠,٢٩٦	٠,٢٩٣
١٦٠	٠,٢٩٠	٠,٢٨٧	٠,٢٨٤	٠,٢٨١	٠,٢٧٨	٠,٢٧٥	٠,٢٧٢	٠,٢٦٩	٠,٢٦٦	٠,٢٦٣
١٧٠	٠,٢٦٠	٠,٢٥٧	٠,٢٥٤	٠,٢٥١	٠,٢٤٨	٠,٢٤٥	٠,٢٤٢	٠,٢٣٩	٠,٢٣٦	٠,٢٣٣
١٨٠	٠,٢٣٠	٠,٢٢٨	٠,٢٢٦	٠,٢٢٤	٠,٢٢٢	٠,٢٢٠	٠,٢١٨	٠,٢١٦	٠,٢١٤	٠,٢١٢
١٩٠	٠,٢١٠	٠,٢٠٨	٠,٢٠٦	٠,٢٠٤	٠,٢٠٢	٠,٢٠٠	٠,١٩٨	٠,١٩٦	٠,١٩٤	٠,١٩٢
٢٠٠	٠,١٩٠	—	—	—	—	—	—	—	—	—
٢١٠	٠,١٧٠	—	—	—	—	—	—	—	—	—
٢٢٠	٠,١٦٠	—	—	—	—	—	—	—	—	—

تتمة جدول ١

نسبة القضافة λ	قيم عامل التحدب φ للفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة ، ماركة :		نسبة القضافة λ	قيم عامل التحدب φ للفولاذ السبائكى المنخفض الاشابة ، ماركة :	
	14Г2, 15ГС, 10Г2С, 10Г2СД, 15ХСНД	10ХСНД		14Г2, 15ГС, 10Г2С, 10Г2СД, 15ХСНД	10ХСНД
صفر	١,٠	١,٠	١٢٠	٠,٣٣	٠,٣١
١٠	٠,٩٨	٠,٩٨	١٣٠	٠,٢٩	٠,٢٧
٢٠	٠,٩٥	٠,٩٥	١٤٠	٠,٢٥	٠,٢٣
٣٠	٠,٩٢	٠,٩٢	١٥٠	٠,٢٣	٠,٢٠
٤٠	٠,٨٩	٠,٨٨	١٦٠	٠,٢١	٠,١٨
٥٠	٠,٨٤	٠,٨٢	١٧٠	٠,١٩	٠,١٦
٦٠	٠,٧٨	٠,٧٧	١٨٠	٠,١٧	٠,١٤
٧٠	٠,٧١	٠,٦٨	١٩٠	٠,١٥	٠,١٢
٨٠	٠,٦٣	٠,٥٩	٢٠٠	٠,١٣	٠,١١
٩٠	٠,٥٤	٠,٥٠	٢١٠	٠,١٢	٠,١٠
١٠٠	٠,٤٦	٠,٤٣	٢٢٠	٠,١١	٠,٠٩
١١٠	٠,٣٩	٠,٣٦			

جدول ٢

قيم عامل التحدب φ للقطع المركزية التحميل ، المصنوعة من السبائك الالومنيومية

نسبة القضافة λ	قيم عامل التحدب φ للسبائك ماركة :							
	АМц-М	АМг-М و АД31-Т	АВ-Т АД31-Т1 و АМц-П	АМг6-М و АМг-П	АД33-Т	АВ-Т1, АМг61 و В92 (لوح)	Д1-Т	Д16-Т و В92 (مقطع)
صفر	١	١	١	١	١	١	١	١
١٠	٠,٩٧٤	٠,٩٧٣	٠,٩٩٩	٠,٩٩٨	٠,٩٩٨	٠,٩٩٨	٠,٩٩٤	٠,٩٩٠
٢٠	٠,٩٤٧	٠,٩٤٥	٠,٩٩٨	٠,٩٩٧	٠,٩٩٦	٠,٩٩٦	٠,٩٨٨	٠,٩٨٠
٣٠	٠,٩٢١	٠,٩١٧	٠,٩٨٠	٠,٩٤٣	٠,٩١٧	٠,٩٠٠	٠,٨٨٩	٠,٨٣٥
٤٠	٠,٨٩٥	٠,٨٧٠	٠,٨٨٠	٠,٨٣٠	٠,٨٠٠	٠,٧٨٠	٠,٧٦٦	٠,٧٠٠
٥٠	٠,٨١٥	٠,٧٧٠	٠,٧٨٠	٠,٧٨٥	٠,٦٨٦	٠,٦٦٠	٠,٦٤٤	٠,٥٩٨
٦٠	٠,٧٣٠	٠,٦٨٥	٠,٦٩٠	٠,٦٢٨	٠,٥٨٧	٠,٥٥٧	٠,٥٣٩	٠,٤٥٥
٧٠	٠,٦٥٥	٠,٦٠٣	٠,٦٠٠	٠,٥٣٨	٠,٤٩٣	٠,٤٦٣	٠,٤٤٤	٠,٣٥٢
٨٠	٠,٥٨٥	٠,٥٨٠	٠,٥٢٥	٠,٤٦٠	٠,٤١٦	٠,٣٨٧	٠,٣٦١	٠,٢٦٨
٩٠	٠,٥٢١	٠,٤٦٥	٠,٤٥٧	٠,٣٨٨	٠,٣٤٢	٠,٣١٢	٠,٢٨٦	٠,٢١٠
١٠٠	٠,٤٦٣	٠,٤١٥	٠,٣٩٥	٠,٣٣٢	٠,٢٨٠	٠,٢٥٢	٠,٢٣١	٠,١٧١
١١٠	٠,٤١٥	٠,٣٦٥	٠,٣٣٥	٠,٢٧٣	٠,٢٣٠	٠,٢٠٨	٠,١٩٠	٠,١٤١
١٢٠	٠,٣٧٥	٠,٣٢٧	٠,٢٨٣	٠,٢٣٠	٠,١٩٤	٠,١٧٥	٠,١٦٠	٠,١١٨
١٣٠	٠,٣٣٦	٠,٢٩٦	٠,٢٤١	٠,١٩٦	٠,١٦٥	٠,١٥٠	٠,١٣٦	٠,١٠١
١٤٠	٠,٣٠٠	٠,٢٦٥	٠,٢٠٨	٠,١٦٩	٠,١٤٣	٠,١٢٩	٠,١١٨	٠,٠٨٧
١٥٠	٠,٢٢٠	٠,٢٣٥	٠,١٨١	٠,١٤٧	٠,١٢٤	٠,١١٣	٠,١٠٣	٠,٠٧٦

٢ـ معطيات لمراجعة استقرار العتبات

العتبات الفولاذية

جدول ٣

قيم العامل ν للعتبات شكل – I المصنوعة من الفولاذ – ٣ والفولاذ – ٤

α	العتبات غير المثبتة (بدون مثبتات) في الباع				العتبات التي تحتوي على مثبتات متوسطة للشفة العليا ، بغض النظر عن موضع تسليط الحمل
	مع وجود حمل مركز مسلط على :		مع وجود حمل موزع بانتظام ، مسلط على :		
	الشفة العليا	الشفة السفل	الشفة العليا	الشفة السفل	
١	٢	٣	٤	٥	٦
٠,١	١,٧٣	٥,٠٠	١,٥٧	٣,٨١	٢,١٧
٠,٤	١,٧٧	٥,٠٣	١,٦٠	٣,٨٥	٢,٢٠
١,٠	١,٨٥	٥,١١	١,٦٧	٣,٩٠	٢,٢٧
٤	٢,٢١	٥,٤٧	١,٩٨	٤,٢٣	٢,٥٦
٨	٢,٦٣	٥,٩١	٢,٣٥	٤,٥٩	٢,٩٠
١٦	٣,٣٧	٦,٦٥	٢,٩٩	٥,٢٤	٣,٥٠
٢٤	٤,٠٣	٧,٣١	٣,٥٥	٥,٧٩	٤,٠٠
٣٢	٤,٥٩	٧,٩٢	٤,٠٤	٦,٢٥	٤,٤٥
٤٨	٥,٦٠	٨,٨٨	٤,٩٠	٧,١٣	٥,٢٣
٦٤	٦,٥٢	٩,٨٠	٥,٦٥	٧,٩٢	٥,٩١

تتمة جدول ٣

α	العامل غير المثبتة (بدون) مثبتات في الباع				العتبات التي تحتوي على مثبتات متوسطة للشفة العليا ، بغض النظر عن موضع تسليط الحمل
	مع وجود حمل مركز مسلط على :		مع وجود حمل موزع بانتظام ، مسلط على :		
	الشفة العليا	الشفة السفل	الشفة العليا	الشفة السفل	
١	٢	٣	٤	٥	٦
٨٠	٧,٣١	١٠,٥٩	٦,٣٠	٨,٥٨	٦,٥١
٩٦	٨,٠٥	١١,٢٩	٦,٩٣	٩,٢١	٧,٠٧
١٢٨	٩,٤٠	١٢,٦٧	٨,٠٥	١٠,٢٩	٨,٠٧
١٦٠	١٠,٥٩	١٣,٨٣	٩,٠٤	١١,٣٠	٨,٩٥
٢٤٠	١٣,٢١	١٦,٣٦	١١,٢١	١٣,٤٨	١٠,٨٦
٣٢٠	١٥,٣١	١٨,٥٥	١٣,٠٤	١٥,٢٩	١٢,٤٨
٤٠٠	١٧,٢٤	٢٠,٤٨	١٤,٥٧	١٦,٨٠	١٣,٩١

ملحوظة : عند وجود مثبتة واحدة في الباع ، وحمل مسلط على الشفة السفل ، تحدد قيم العامل ν ، من العمود رقم ٢ .

جدول ٤

قيم العامل ν للكوابل شكل – I ، المصنوعة من الفولاذ – ٣ والفولاذ – ٤
(مع تسليط حمل مركز في مركز ثقل الحافة الطليقة للكابول ، او تحت مركز ثقلها)

α	٠,١	١	٢	٣	٤	٦	٨	١٠	١٢	١٤	١٦	٢٤	٣٢	٤٠
ν	٣,١	٣,٤	٣,٨	٤,١	٤,٣	٤,٦	٥,٠	٥,٣	٥,٥	٥,٧	٥,٩	٦,٦	٧,٣	٧,٨

ملحوظة خاصة بالجدولين ٣ و ٤ :

للماركات الاخرى من الفولاذ ، تضرب قيم ν المدرجة في الجدولين المذكورين ، في الاعداد التالية :

٠,٨٣ – للفولاذ – ٥

٠,٧١ – للفولاذ من الماركات 14Г2; 15ГС; 10Г2С; 10Г2СД; 15ХСНД .

٠,٦ – للفولاذ ماركة 10ХСНД .

تحدد قيم العامل ψ للعتبات المصنوعة من السبيكة الالومنيومية Д16-T ، من الجدول ٥ ؛ اما بالنسبة للسبائك من الماركات الاخرى، فتحدد قيم العامل ψ ، بضرب القيم المأخوذة من الجدول ٥ ، في قيمة العامل η_0 ، المأخوذة من الجدول ٦ ، تبعا لماركة السبيكة الالومنيومية .

جدول ٥

قيم العامل ψ للعتبات المصنوعة من السبيكة الالومنيومية Д16-T

α	للعتبات غير المثبتة (بدون مثبتات) في الباع				للعتبات التي تحتوى على مثبتات متوسطة، بغض النظر عن موضع تسليط الحمل
	عند وجود حمل مركز، مسلط على:		عند وجود حمل موزع بانتظام مسلط على:		
	الشفة العليا	الشفة السفل	الشفة العليا	الشفة السفل	
١	٢	٣	٤	٥	٦
٠,١	٠,٤٥	١,٢٩	٠,٤١	٠,٩٨	٠,٥٦
٠,٤	٠,٤٦	١,٣٠	٠,٤٢	٠,٩٩	٠,٥٧
١	٠,٤٨	١,٣٢	٠,٤٣	١,٠١	٠,٥٩
٤	٠,٥٧	١,٤١	٠,٥١	١,٠٩	٠,٦٦
٨	٠,٦٨	١,٥٢	٠,٦١	١,١٨	٠,٧٥
١٦	٠,٨٧	١,٧٢	٠,٧٧	١,٣٥	٠,٨٩
٢٤	١,٠٤	١,٨٩	٠,٩١	١,٤٩	١,٠٣
٣٢	١,١٨	٢,٠٤	١,٠٤	١,٦٢	١,٢٥
٤٨	١,٤٥	٢,٣٠	١,٢٦	١,٨٤	١,٣٥
٦٤	١,٦٨	٢,٥٣	١,٤٦	٢,٠٥	١,٥٣
٨٠	١,٨٩	٢,٧٤	١,٥٢	٢,٢٢	١,٦٨
٩٦	٢,٠٨	٢,٩٢	١,٧٩	٢,٣٨	١,٨٢
١٢٨	٢,٤٣	٣,٢٧	٢,٠٧	٢,٦٦	٢,٠٨
١٦٠	٢,٧٤	٣,٥٧	٢,٣٣	٢,٩٢	٢,٣١
٢٤٠	٣,٤٢	٤,٢٢	٢,٨٩	٣,٤٩	٢,٨٠
٣٢٠	٣,٩٦	٤,٨٠	٣,٣٦	٣,٩٥	٣,٢٢
٤٠٠	٤,٤٥	٥,٣٠	٣,٧٥	٤,٣٥	٣,٦٠

ملحوظة : عند وجود مثبتة واحدة في الباع ، وحمل مسلط على الشفة السفل ، تحدد قيم العامل ψ من العمود رقم ٢.

جدول ٦

قيم العامل η_0

ماركة السبيكة	η_0	ماركة السبيكة	η_0
АМц-М	٥,١٦	АВ-Т1, АМг6l	١,٤٨
АМг-М, АД31-Т	٣,٨٧	Д1-Т	١,٣٤
АВ-Т, АД31-Т1	٢,٣٣	Д16-Т	١
АМг6-М	١,٩٤	В92 (الواح)	١,٥٥
АД33-Т1	١,٦٣	В92 (مقاطع)	١,٠٥

٣ـ معطيات لحساب القطع اللامركزية

جدول ٧

قيم العامل φ_{zz} للقطع المصمتة الوترة ،

λ	قيم العامل φ_{zz} للاتمركزية											
	٠,١	٠,٢٥	٠,٥٠	٠,٧٥	١,٠	١,٢٥	١,٥٠	١,٧٥	٢,٠	٢,٥	٣,٠	٣,٥
١٠	٩٦٧	٩٢٠	٨٤٧	٧٨١	٧٢١	٦٦٧	٦١٨	٥٧٤	٥٣٥	٤٦٨	٤١٤	٣٧٠
٢٠	٩٥٩	٨٨٧	٨٠٠	٧٢٩	٦٧٣	٦٢٣	٥٧٧	٥٣٦	٥٠١	٤٣٩	٣٩٠	٣٤٩
٣٠	٩٤٢	٨٦٨	٧٧٣	٦٩٩	٦٤١	٥٩٢	٥٥٠	٥١١	٤٧٨	٤٢٠	٣٧٣	٣٣٥
٤٠	٩٢٠	٨٤٦	٧٤٣	٦٦٨	٦٠٨	٥٦٠	٥٢٠	٤٨٤	٤٥٣	٣٩٩	٣٥٥	٣٢٠
٥٠	٨٩٠	٨٢٠	٧١١	٦٣٤	٥٧٤	٥٢٨	٤٩٠	٤٥٦	٤٢٧	٣٧٧	٣٣٨	٣٠٤
٦٠	٨٦٠	٧٨٨	٦٧٤	٥٩٨	٥٤٠	٤٩٥	٤٥٩	٤٢٨	٤٠٢	٣٥٥	٣١٩	٢٨٩
٧٠	٨١٠	٧٤٩	٦٣٤	٥٦٠	٥٠٥	٤٦٣	٤٢٩	٤٠١	٣٧٧	٣٣٤	٣٠١	٢٧٣
٨٠	٧٥٠	٧٠١	٥٩١	٥٢١	٤٧١	٤٣٢	٤٠٠	٣٧٤	٣٥٣	٣١٤	٢٨٣	٢٥٨
٩٠	٦٩٠	٦٤٨	٥٤٦	٤٨٣	٤٣٦	٤٠١	٣٧٢	٣٤٨	٣٢٩	٢٩٤	٢٦٦	٢٤٣
١٠٠	٦٠٠	٥٩٠	٥٠٠	٤٤٤	٤٠٣	٣٧١	٣٤٥	٣٢٤	٣٠٥	٢٧٥	٢٥٠	٢٢٩
١١٠	٥٢٠	٥٢٠	٤٥٦	٤٠٧	٣٧١	٣٤٢	٣٢٠	٣٠١	٢٨٤	٢٥٧	٢٣٤	٢١٦
١٢٠	٤٥٠	٤٥٠	٤١٣	٣٧٢	٣٤١	٣١٦	٢٩٦	٢٧٩	٢٦٤	٢٣٩	٢٢١	٢٠٣
١٣٠	٤٠٠	٤٠٠	٣٧٤	٣٣٩	٣١٢	٢٩١	٢٧٣	٢٥٨	٢٤٥	٢٢٤	٢٠٦	١٩١
١٤٠	٣٦٠	٣٦٠	٣٣٨	٣٠٩	٢٨٧	٢٦٨	٢٥٣	٢٤٠	٢٢٨	٢٠٩	١٩٣	١٨٠
١٥٠	٣٢٠	٣٢٠	٣٠٦	٢٨٢	٢٦٣	٢٤٨	٢٣٤	٢٢٢	٢١٢	١٩٥	١٨٢	١٦٩
١٦٠	٢٩٠	٢٩٠	٢٧٧	٢٥٧	٢٤١	٢٢٨	٢١٦	٢٠٦	١٩٧	١٨٢	١٧٠	١٥٩
١٧٠	٢٦٠	٢٦٠	٢٥٢	٢٣٧	٢٢٢	٢١١	٢٠٠	١٩٢	١٨٤	١٧٠	١٥٩	١٥٠
١٨٠	٢٣٠	٢٣٠	٢٢٩	٢١٦	٢٠٤	١٩٤	١٨٥	١٧٨	١٧١	١٥٩	١٤٩	١٤١
١٩٠	٢١٠	٢١٠	٢١٠	١٩٩	١٨٨	١٨٠	١٧٢	١٦٦	١٦٠	١٤٩	١٤١	١٣٣
٢٠٠	١٩٠	١٩٠	١٩٠	١٨٢	١٧٤	١٦٧	١٦٠	١٥٤	١٤٩	١٤٠	١٣٢	١٢٥

ملحوظة : ١) ان قيم العامل φ_{zz} المدرجة في هذا الجدول ، مضروبة في المقدار ٣١٠ .

٢) وبالنسبة للفولاذ ذى المقاومات التصميمية المختلفة R ، تحدد قيم العامل φ_{zz} من هذا الجدول ، اعتمادا على نسبة القصافة النسبية $\lambda = \lambda \sqrt{\frac{R}{2.1}}$ ، ولكنها تؤخذ بحيث لا تزيد على قيم العامل φ ، المدرجة في الجدول ١ ، من الملحق الثاني .

التحميل (الانضغاط)

من الفولاذ – ٣ و ٤ (R = ٢,١ طن/سم٢)

λ	المكافئة m_1 ، التي تساوى :														
	٤,٠	٤,٥	٥,٠	٥,٥	٦,٠	٦,٥	٧,٠	٨,٠	٩,٠	١٠,٠	١٢,٠	١٤,٠	١٧,٠	٢٠,٠
٣٣٣	٣٠٣	٢٨٥	٢٥٦	٢٣٥	٢٢٠	٢٠٥	١٨٢	١٦٢	١٤٧	١٢٣	١٠٦	٠٨٩	٠٧٥
٣١٥	٢٨٨	٢٦٣	٢٤٣	٢٢٥	٢١٠	١٩٦	١٧٤	١٥٧	١٤١	١٢٠	١٠٢	٠٨٥	٠٧٢
٣٠٣	٢٧٧	٢٥٤	٢٣٤	٢١٨	٢٠٣	١٩١	١٦٩	١٥٢	١٣٨	١١٧	١٠٠	٠٨٤	٠٧١
٢٩٠	٢٦٥	٢٤٣	٢٢٦	٢١٠	١٩٦	١٨٤	١٦٤	١٤٨	١٣٥	١١٤	٠٩٨	٠٨٣	٠٧٠
٢٧٧	٢٥٣	٢٣٤	٢١٦	٢٠١	١٨٩	١٧٧	١٥٩	١٤٣	١٣٠	١١١	٠٩٦	٠٨١	٠٦٩
٢٦٣	٢٤١	٢٢٤	٢٠٧	١٩٣	١٨٢	١٧١	١٥٣	١٣٨	١٢٦	١٠٧	٠٩٤	٠٧٩	٠٦٨
٢٤٩	٢٣٠	٢١٣	١٩٨	١٨٥	١٧٤	١٦٤	١٤٧	١٣٤	١٢٢	١٠٤	٠٩١	٠٧٧	٠٦٦
٢٣٦	٢١٨	٢٠٣	١٨٩	١٧٧	١٦٧	١٥٧	١٤٢	١٢٩	١١٨	١٠١	٠٨٩	٠٧٥	٠٦٥
٢٢٤	٢٠٧	١٩٢	١٨٠	١٦٩	١٦٠	١٥١	١٣٦	١٢٤	١١٤	٠٩٨	٠٨٧	٠٧٣	٠٦٣
٢١١	١٩٧	١٨٣	١٧٢	١٦١	١٥٣	١٤٤	١٣١	١٢٠	١١٠	٠٩٥	٠٨٤	٠٧١	٠٦٢
٢٠٠	١٨٦	١٧٣	١٦٣	١٥٤	١٤٦	١٣٨	١٢٦	١١٥	١٠٦	٠٩٢	٠٨١	٠٦٩	٠٦٠
١٨٩	١٧٦	١٦٥	١٥٥	١٤٧	١٣٨	١٣٢	١٢٠	١١٠	١٠٢	٠٨٩	٠٧٩	٠٦٧	٠٥٩
١٧٨	١٦٦	١٥٦	١٤٧	١٣٩	١٣٢	١٢٦	١١٥	١٠٦	٠٩٨	٠٨٦	٠٧٦	٠٦٥	٠٥٧
١٦٨	١٥٨	١٤٩	١٤٠	١٣٣	١٢٦	١٢١	١١٠	١٠٢	٠٩٥	٠٨٤	٠٧٤	٠٦٣	٠٥٥
١٥٨	١٤٩	١٤١	١٣٣	١٢٦	١٢٠	١١٥	١٠٦	٠٩٩	٠٩١	٠٨٠	٠٧١	٠٦٢	٠٥٤
١٤٩	١٤١	١٣٤	١٢٧	١٢٠	١١٥	١١٠	١٠١	٠٩٤	٠٨٧	٠٧٧	٠٦٩	٠٦٠	٠٥٣
١٤١	١٣٤	١٢٧	١٢٠	١١٤	١١٠	١٠٥	٠٩٧	٠٩٠	٠٨٤	٠٧٤	٠٦٧	٠٥٩	٠٥٢
١٣٣	١٢٦	١٢٠	١١٤	١٠٩	١٠٤	١٠٠	٠٩٣	٠٨٦	٠٨٠	٠٧٢	٠٦٥	٠٥٧	٠٥١
١٢٦	١٢٠	١١٤	١٠٩	١٠٤	٠٩٩	٠٩٦	٠٩٠	٠٨٣	٠٧٨	٠٧٠	٠٦٣	٠٥٥	٠٤٩
١١٩	١١٣	١٠٧	١٠٣	٠٩٩	٠٩٥	٠٩٢	٠٨٦	٠٧٩	٠٧٥	٠٦٧	٠٦١	٠٥٣	٠٤٨

مثال : اوجد قيمة العامل φ_{zz} للفولاذ ماركة 10Г2С (R = ٢,٩ طن/سم٢) ؛ عند λ = ٧٠ و m_1 = ١,٢٥

الحل : نحدد قيمة $\lambda_{red} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{2.1}}$ = ٧٠ √(٢,٩/٢,١) = ٨٢ .

ومن الجدول ، نجد بأنه بالنسبة لـ λ = ٨٠ و m_1 = ١,٢٥ ، تكون قيمة المعامل φ_{zz} مساوية لـ ٠,٤٣٢ وبالنسبة لـ λ = ٨٠ و m_1 = ١,٢٥ ، تكون قيمة المعامل φ_{zz} مساوية لـ ٠,٤٠١ .

وبواسطة الاستكمال الرياضي من الداخل ، نجد بأن القيمة المطلوبة هى : φ_{zz} = ٠,٤٢٦ .

جدول ٨

قيم العامل φ_{cc} للقطع التشابكية (النافذة)

λ_{red}	قيم العامل φ_{cc} للاتمركزية											
	٠,١	٠,٢٥	٠,٥٠	٠,٧٥	١,٠	١,٢٥	١,٥٠	١,٧٥	٢,٠	٢,٥	٣,٠	٣,٥
٢٠	٩٠٦	٧٩٤	٦٦٠	٥٦٥	٤٩٥	٤٤٠	٣٩٥	٣٦٠	٣٣٠	٢٨٣	٢٤٨	٢٢٠
٣٠	٩٠١	٧٨٦	٦٥١	٥٥٧	٤٨٧	٤٣٣	٣٩٠	٣٥٥	٣٢٦	٢٨٠	٢٤٥	٢١٨
٤٠	٨٩٣	٧٧٤	٦٣٨	٥٤٥	٤٧٧	٤٢٤	٣٨٣	٣٤٨	٣٢٠	٢٧٥	٢٤١	٢١٥
٥٠	٨٨٢	٧٥٧	٦٢١	٥٣٠	٤٦٤	٤١٣	٣٧٣	٣٤٠	٣١٣	٢٦٩	٢٣٧	٢١٢
٦٠	٨٦٠	٧٣٥	٦٠٠	٥١٢	٤٤٨	٤٠٠	٣٦١	٣٣٠	٣٠٤	٢٦٣	٢٣١	٢٠٧
٧٠	٨١٠	٧٠٩	٥٧٤	٤٩٠	٤٣٠	٣٨٥	٣٤٨	٣١٩	٢٩٤	٢٥٥	٢٢٥	٢٠٢
٨٠	٧٥٠	٦٦٩	٥٤٤	٤٦٦	٤١٠	٣٦٨	٣٣٤	٣٠٦	٢٨٣	٢٤٦	٢١٨	١٩٦
٩٠	٦٩٠	٦٢٤	٥١٠	٤٣٩	٣٨٩	٣٥٠	٣١٩	٢٩٣	٢٧٢	٢٣٧	٢١١	١٩٠
١٠٠	٦٠٠	٥٧٣	٤٧٤	٤١١	٣٦٦	٣٣١	٣٠٢	٢٧٩	٢٥٩	٢٢٧	٢٠٣	١٨٤
١١٠	٥٢٠	٥٢٠	٤٣٧	٣٨٢	٣٤٢	٣١١	٢٨٦	٢٦٤	٢٤٧	٢١٨	١٩٥	١٧٧
١٢٠	٤٥٠	٤٥٠	٤٠٠	٣٥٤	٣١٩	٢٩١	٢٦٩	٢٥٠	٢٣٤	٢٠٧	١٨٧	١٧٠
١٣٠	٤٠٠	٤٠٠	٣٦٤	٣٢٦	٢٩٦	٢٧٢	٢٥٢	٢٣٥	٢٢١	١٩٧	١٧٨	١٦٣
١٤٠	٣٦٠	٣٦٠	٣٣١	٢٩٩	٢٧٤	٢٥٣	٢٣٦	٢٢١	٢٠٨	١٨٧	١٧٠	١٦٠
١٥٠	٣٢٠	٣٢٠	٣٠١	٢٧٥	٢٥٣	٢٣٦	٢٢١	٢٠٨	١٩٦	١٧٧	١٦٢	١٤٩
١٦٠	٢٩٠	٢٩٠	٢٧٤	٢٥٢	٢٣٤	٢١٩	٢٠٦	١٩٥	١٨٥	١٦٨	١٥٤	١٤٢
١٧٠	٢٦٠	٢٦٠	٢٤٩	٢٣١	٢١٦	٢٠٣	١٩٢	١٨٢	١٧٣	١٥٨	١٤٦	١٣٥
١٨٠	٢٣٠	٢٣٠	٢٢٧	٢١٣	٢٠٠	١٨٩	١٧٩	١٧١	١٦٣	١٤٩	١٣٨	١٢٩
١٩٠	٢١٠	٢٠٨	١٩٦	١٨٥	١٧٦	١٦٧	١٦٠	١٥٣	١٤١	١٣١	١٢٢	
٢٠٠	١٩٠	١٩٠	١٨٠	١٧١	١٦٣	١٥٦	١٤٩	١٤٣	١٣٣	١٢٤	١١٦	

ملحوظة : ١) ان قيم العامل φ_{cc} المدرجة فى هذا الجدول ، مضروبة فى المقدار 10^{-3} .

٢) بالنسبة للفولاذ ذى المقاومات التصميمية المختلفة R ، تحدد قيم العامل φ_{cc} ، من هذا φ_{cc} ، المدرجة فى الجدول ١ ، من الملحق الثانى .

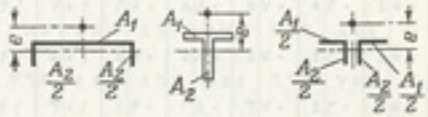
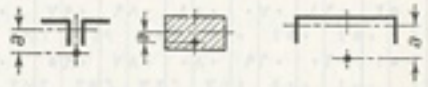
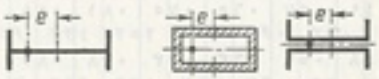
من الفولاذ ٣ و ٤ ($R = 2{,}1$ طن/سم^2)

المكافئة m_1 ، التى تساوى :															
٤,٠	٤,٥	٥,٠	٥,٥	٦,٠	٦,٥	٧,٠	٨,٠	٩,٠	١٠,٠	١٢,٠	١٤,٠	١٧,٠	٢٠,٠
١٩٩	١٨٠	١٦٥	١٥٣	١٤٢	١٣٣	١٢٤	١١٠	٠٩٩	٠٩١	٠٧٧	٠٦٧	٠٥٥	٠٤٨
١٩٧	١٧٩	١٦٤	١٥٢	١٤١	١٣٢	١٢٣	١١٠	٠٩٩	٠٩٠	٠٧٦	٠٦٦	٠٥٥	٠٤٧
١٩٤	١٧٧	١٦٢	١٥٠	١٤٠	١٣١	١٢٢	١٠٩	٠٩٨	٠٩٠	٠٧٦	٠٦٦	٠٥٥	٠٤٧
١٩١	١٧٤	١٦٠	١٤٨	١٣٨	١٢٩	١٢١	١٠٨	٠٩٧	٠٨٩	٠٧٥	٠٦٥	٠٥٥	٠٤٧
١٨٧	١٧١	١٥٧	١٤٦	١٣٦	١٢٧	١٢٠	١٠٧	٠٩٦	٠٨٨	٠٧٥	٠٦٥	٠٥٤	٠٤٧
١٨٣	١٦٧	١٥٤	١٤٣	١٣٣	١٢٥	١١٨	١٠٥	٠٩٥	٠٨٧	٠٧٤	٠٦٤	٠٥٤	٠٤٦
١٧٨	١٦٣	١٥١	١٤٠	١٣١	١٢٣	١١٥	١٠٣	٠٩٤	٠٨٦	٠٧٣	٠٦٤	٠٥٣	٠٤٦
١٧٣	١٥٩	١٤٧	١٣٧	١٢٨	١٢٠	١١٣	١٠٢	٠٩٢	٠٨٤	٠٧٢	٠٦٣	٠٥٣	٠٤٦
١٦٨	١٥٤	١٤٣	١٣٣	١٢٥	١١٧	١١١	١٠٠	٠٩٠	٠٨٣	٠٧١	٠٦٢	٠٥٢	٠٤٥
١٦٢	١٤٩	١٣٩	١٢٩	١٢١	١١٤	١٠٨	٠٩٧	٠٨٩	٠٨١	٠٧٠	٠٦١	٠٥٢	٠٤٥
١٥٦	١٤٤	١٣٤	١٢٥	١١٨	١١١	١٠٥	٠٩٥	٠٨٧	٠٨٠	٠٦٩	٠٦٠	٠٥١	٠٤٤
١٥٠	١٣٩	١٣٠	١٢٢	١١٤	١٠٨	١٠٢	٠٩٣	٠٨٥	٠٧٨	٠٦٧	٠٥٩	٠٥٠	٠٤٤
١٤٤	١٣٤	١٢٥	١١٨	١١١	١٠٥	١٠٠	٠٩٠	٠٨٣	٠٧٦	٠٦٦	٠٥٨	٠٥٠	٠٤٣
١٣٨	١٢٩	١٢١	١١٣	١٠٧	١٠٢	٠٩٧	٠٨٨	٠٨١	٠٧٥	٠٦٥	٠٥٧	٠٤٩	٠٤٣
١٣٢	١٢٣	١١٦	١٠٩	١٠٣	٠٩٨	٠٩٤	٠٨٥	٠٧٨	٠٧٣	٠٦٣	٠٥٦	٠٤٨	٠٤٢
١٢٦	١١٨	١١١	١٠٥	١٠٠	٠٩٥	٠٩١	٠٨٣	٠٧٦	٠٧١	٠٦٢	٠٥٥	٠٤٧	٠٤١
١٢٠	١١٣	١٠٧	١٠١	٠٩٨	٠٩٢	٠٨٧	٠٨٠	٠٧٤	٠٦٩	٠٦٠	٠٥٤	٠٤٦	٠٤١
١١٥	١٠٨	١٠٢	٠٩٧	٠٩٣	٠٨٨	٠٨٤	٠٧٨	٠٧٢	٠٦٧	٠٥٩	٠٥٣	٠٤٥	٠٤٠
١١٠	١٠٤	٠٩٨	٠٩٣	٠٨٩	٠٨٥	٠٨٢	٠٧٥	٠٧٠	٠٦٥	٠٥٨	٠٥٢	٠٤٥	٠٣٩

الجدول اعتمادا على نسبة القضافة النسبية $\lambda_{red} = \lambda_{red} \sqrt{\frac{R}{2.1}}$ ولكن تؤخذ بحيث لا تزيد على قيم العامل

جدول ٩

قيم معامل شكل المقطع η لحساب اللامركزية المكافئة : $m_1 = \eta\, m$

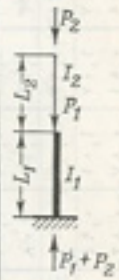
الرسم التخطيطي للمقطع :	η	
	$20 \leqslant \lambda \leqslant 150$	$\lambda > 150$
	$0.775 + 0.0015\,\lambda$	1.0
	$1.30 + 0.5\sqrt{m}$ *	$1.3 + 0.5\sqrt{m}$ *
	1.0	1.0
	$1.45 - 0.003\,\lambda$	1.0
	$1.3 - 0.002\,\lambda$	1.0

* ان الصيغتين صحيحتان عند النسبة $\frac{A_1}{A_2} \leqslant 1$.

٤ – معطيات لتحديد الاطوال الفعالة للاعمدة المدرجة

جدول ١٠

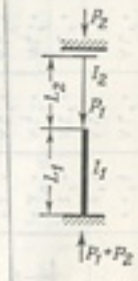
قيم المعامل k_1 للاعمدة ذات الطرف العلوي الطليق

الرسم التخطيطي	c_2 \ c_1	صفر	٠,٢	٠,٤	٠,٦	٠,٨	١,٠	١,٤	١,٨	٢,٥	١٠,٠	٢٠,٠
	صفر	٢,٠	٢,٠٠	٢,٠٠	٢,٠٠	٢,٠٠	٢,٠٠	٢,٠٠	٢,٠٠	٢,٠٠	٢,٠٠	٢,٠٠
	٠,٢	٢,٠	٢,٠٢	٢,٠٤	٢,٠٦	٢,٠٧	٢,٠٩	٢,١٢	٢,١٥	٢,٢١	٢,٧٦	٣,٣٨
	٠,٤	٢,٠	٢,٠٨	٢,١٣	٢,٢١	٢,٢٨	٢,٣٥	٢,٤٨	٢,٦٠	٢,٨٠		
	٠,٦	٢,٠	٢,٢٠	٢,٣٦	٢,٥٢	٢,٦٦	٢,٨٠	٣,٠٥	٣,٢٨			
	٠,٨	٢,٠	٢,٤٢	٢,٧٠	٢,٩٦	٣,١٧	٣,٣٦	٣,٧٤				
	١,٠	٢,٠	٢,٧٣	٣,١٣	٣,٤٤	٣,٧٤	٤,٠٠					
	١,٥	٣,٠	٣,٧٧	٤,٣٥	٤,٨٦							
	٢,٠	٤,٠	٤,٩٠	٥,٦٧								
	٢,٥	٥,٠	٦,٠٨	٧,٠٠								
	٣,٠	٦,٠	٧,٢٥									

ملحوظة : $c_1 = \frac{I_2 L_1}{I_1 L^2}$. $c_2 = \frac{L_2}{L_1}\sqrt{\frac{F_2 I_1}{F_1 I_1}}$

جدول ١١

قيم معامل الطول k_1 للاعمدة المثبتة من طرفها العلوي ، لمنع الدوران

الرسم التخطيطي	c_2 \ c_1	صفر	٠,٢	٠,٤	٠,٦	٠,٨	١,٠	١,٤	١,٨	٢,٥	١٠,٠	٢٠,٠
	صفر	٢,٠	١,٨٦	١,٧٦	١,٦٧	١,٦٠	١,٥٥	١,٤٦	١,٤٠	١,٣٢	١,١٠	١,٠٥
	٠,٢	٢,٠	١,٨٧	١,٧٦	١,٦٨	١,٦٢	١,٥٦	١,٤٨	١,٤١	١,٣٣	١,١١	
	٠,٤	٢,٠	١,٨٨	١,٧٧	١,٧٢	١,٦٦	١,٦١	١,٥٣	١,٤٨	١,٤٠		
	٠,٦	٢,٠	١,٩١	١,٨٣	١,٧٧	١,٧٢	١,٦٩	١,٦٣	١,٥٩			
	٠,٨	٢,٠	١,٩٤	١,٩٠	١,٨٧	١,٨٥	١,٨٢	١,٧٩				
	١,٠	٢,٠	٢,٠٠	٢,٠٠	٢,٠	٢,٠٠	٢,٠٠					
	١,٥	٢,٠	٢,٢٥	٢,٣٨	٢,٤٨							
	٢,٠	٢,٥	٢,٦٦	٢,٩١								
	٢,٥	٣,٠	٣,١٧	٣,٥								
	٣,٠	٣,٥	٣,٧٠	٤,١٢								

ملحوظة : $c_1 = \frac{I_2 L_1}{I_1 L_2}$, $c_2 = \frac{L_2}{L_1}\sqrt{\frac{F_2 I_1}{F_1 I_2}}$

جدول ١٢ — قيم المعاملين k_{12} و k_{11} للاعمدة ذات الطرف العلوي الثابت المرتكز مفصليا

قيم المعامل k_{12}

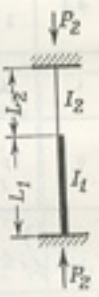
الرسم التخطيطي	$\beta = \frac{I_2}{I_1}$	قيم المعامل k_{12} ، المناظرة للنسبة $n = L_2/L_1$ ، التي تساوي :													
		٠,١	٠,٢	٠,٣	٠,٤	٠,٥	٠,٦	٠,٧	٠,٨	٠,٩	١,٠	١,٢	١,٤	١,٦	١,٨	٢,٠
	٠,٠٤	١,٠٢	١,٨٤	٢,٢٥	٢,٥٩	٢,٨٥	٣,٠٨	٣,٢٤	٣,٤٢	٣,٧٠	٤,٠٠	٤,٥٥	٥,٢٥	٥,٨٠	٦,٥٥	٧,٢٠
	٠,٠٦	٠,٩١	١,٤٧	١,٩٣	٢,٢٩	٢,٥٧	٢,٧٤	٢,٩٠	٣,٠٥	٣,٢٤	٣,٤٥	٣,٨٨	٤,٤٣	٤,٩٠	٥,٤٣	٥,٩٤
	٠,٠٨	٠,٨٦	١,٣١	١,٧٣	٢,٠٥	٢,٣١	٢,٤٩	٢,٦٨	٢,٨٥	٣,٠٠	٣,١٤	٣,٥٣	٣,٩٣	٤,٣٧	٤,٨٥	٥,٢٨
	٠,١٠	٠,٨٣	١,٢١	١,٥٧	١,٩٥	٢,١٤	٢,٣٣	٢,٤٦	٢,٦٠	٢,٧٦	٢,٩١	٣,٢٨	٣,٦١	٤,٠٣	٤,٤٣	٤,٨٥
	٠,٢٠	٠,٧٩	٠,٩٨	١,٢٣	١,٤٦	١,٦٧	١,٨٥	٢,٠٢	٢,١٥	٢,٢٨	٢,٤٠	٢,٦٧	٢,٨٨	٣,١١	٣,٤٢	٣,٧١
	٠,٣٠	٠,٧٨	٠,٩٠	١,٠٩	١,٢٧	١,٤٤	١,٦٠	١,٧٤	١,٨٦	١,٩٨	٢,١١	٢,٣٥	٢,٥١	٢,٧٦	٢,٩٩	٣,٢٥
	٠,٤٠	٠,٧٨	٠,٨٨	١,٠٢	١,١٧	١,٣٢	١,٤٥	١,٥٨	١,٦٩	١,٨١	١,٩٢	٢,١٤	٢,٣١	٢,٥١	٢,٦٨	٢,٨٨
	٠,٥٠	٠,٧٨	٠,٨٦	٠,٩٩	١,١٠	١,٢٢	١,٣٥	١,٤٧	١,٥٧	١,٦٧	١,٧٦	١,٩٦	٢,١٥	٢,٣٤	٢,٥٠	٢,٧٦
	١,٠٠	٠,٧٨	٠,٨٥	٠,٩٢	٠,٩٩	١,٠٦	١,١٣	١,٢٠	١,٢٧	١,٣٤	١,٤١	١,٥٤	١,٦٨	١,٨٢	١,٩٧	٢,١٠

جدول ١٣ — قيم المعامل k_{11}

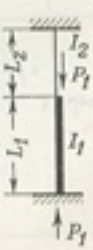
الرسم التخطيطي	$\beta = \frac{I_2}{I_1}$	قيم المعامل k_{11} المناظرة للنسبة $n = L_2/L_1$ ، التي تساوي :														
		٠,١	٠,٢	٠,٣	٠,٤	٠,٥	٠,٦	٠,٧	٠,٨	٠,٩	١,٠	١,٢	١,٤	١,٦	١,٨	٢,٠
	٠,٠٤	٠,٦٧	٠,٦٧	٠,٨٣	١,٢٥	١,٤٣	١,٥٥	١,٦٥	١,٧٠	١,٧٥	١,٧٨	١,٨٤	١,٨٧	١,٨٨	١,٩٠	١,٩٢
	٠,٠٦	٠,٦٧	٠,٦٧	٠,٨١	١,٠٧	١,٢٧	١,٤١	١,٥١	١,٦٠	١,٦٤	١,٧٠	١,٧٨	١,٨٢	١,٨٤	١,٨٧	١,٨٨
	٠,٠٨	٠,٦٧	٠,٦٧	٠,٧٥	٠,٩٨	١,١٩	١,٣٢	١,٤٣	١,٥١	١,٥٨	١,٦٣	١,٧٢	١,٧٧	١,٨١	١,٨٢	١,٨٤
	٠,١٠	٠,٦٧	٠,٦٧	٠,٧٣	٠,٩٣	١,١١	١,٢٥	١,٣٦	١,٤٥	١,٥٢	١,٥٧	١,٦٦	١,٧٢	١,٧٧	١,٨٠	١,٨٢
	٠,٢٠	٠,٦٧	٠,٦٧	٠,٦٩	٠,٧٥	٠,٨٩	١,٠٢	١,١٢	١,٢١	١,٢٩	١,٣٦	١,٤٦	١,٥٤	١,٦٠	١,٦٥	١,٦٩
	٠,٣٠	٠,٦٧	٠,٦٧	٠,٦٧	٠,٧١	٠,٨٠	٠,٩٠	٠,٩٩	١,٠٨	١,١٥	١,٢٢	١,٣٣	١,٤١	١,٤٨	١,٥٤	١,٥٩
	٠,٤٠	٠,٦٧	٠,٦٧	٠,٦٧	٠,٦٩	٠,٧٥	٠,٨٤	٠,٩٢	١,٠٠	١,٠٧	١,١٣	١,٢٤	١,٣٣	١,٤٠	١,٤٧	١,٥١
	٠,٥٠	٠,٦٧	٠,٦٧	٠,٦٧	٠,٦٩	٠,٧٣	٠,٨١	٠,٨٧	٠,٩٤	١,٠١	١,٠٧	١,١٧	١,٢٦	١,٣٣	١,٣٩	١,٤٤
	١,٠٠	٠,٦٧	٠,٦٧	٠,٦٧	٠,٦٨	٠,٧١	٠,٧٤	٠,٧٨	٠,٨٢	٠,٨٧	٠,٩١	٠,٩٩	١,٠٧	١,١٣	١,١٩	١,٢٤

جدول ١٤ — قيم المعاملين k_{11} و k_{12} للاعمدة ذات الطرف العلوي المثبت تماما

قيم المعامل k_{12}

الرسم التخطيطي	$\beta = \frac{I_2}{I_1}$	قيم المعامل k_{12} المناظرة للنسبة $n = L_2/L_1$ التي تساوي :														
		٠,١	٠,٢	٠,٣	٠,٤	٠,٥	٠,٦	٠,٧	٠,٨	٠,٩	١,٠	١,٢	١,٤	١,٦	١,٨	٢,٠
	٠,٠٤	٠,٧٨	١,٠٢	١,٥٣	١,٧٣	٢,٠١	٢,٢١	٢,٣٨	٢,٥٤	٢,٦٥	٢,٨٥	٣,٢٤	٣,٧٠	٤,٢٠	٤,٧٦	٥,٢٣
	٠,٠٦	٠,٧٠	٠,٨٦	١,٢٣	١,٤٧	١,٧٣	١,٩٣	٢,٠٨	٢,٢٣	٢,٣٨	٢,٤٩	٢,٨١	٣,١٧	٣,٥٠	٣,٩٢	٤,٣٠
	٠,٠٨	٠,٦٨	٠,٧٩	١,٠٥	١,٣١	١,٥٤	١,٧٤	١,٩١	٢,٠٥	٢,٢٠	٢,٣١	٢,٥٥	٢,٨٠	٣,١١	٣,٤٥	٣,٧٣
	٠,١٠	٠,٦٧	٠,٧٦	١,٠٠	١,٢٠	١,٤٢	١,٦١	١,٧٨	١,٩٢	٢,٠٤	٢,٢٠	٢,٤٠	٢,٦٠	٢,٨٦	٣,١٨	٣,٤١
	٠,٢٠	٠,٦٤	٠,٧٠	٠,٧٩	٠,٩٣	١,٠٧	١,٢٣	١,٤١	١,٦٠	١,٧٢	١,٩٢	٢,١١	٢,٣٨	٢,٤٥	٢,٦٤	
	٠,٣٠	٠,٦٢	٠,٦٨	٠,٧٤	٠,٨٥	٠,٩٥	١,٠٦	١,١٨	١,٢٨	١,٣٩	١,٤٨	١,٦٧	١,٨٢	١,٩٦	٢,١٢	٢,٢٠
	٠,٤٠	٠,٦٠	٠,٦٦	٠,٧١	٠,٧٨	٠,٨٧	٠,٩٩	١,٠٧	١,١٦	١,٢٦	١,٣٤	١,٥٠	١,٦٥	١,٧٩	١,٩٤	٢,٠٨
	٠,٥٠	٠,٥٩	٠,٦٥	٠,٧٠	٠,٧٧	٠,٨٢	٠,٩٣	٠,٩٩	١,٠٨	١,١٧	١,٢٣	١,٣٩	١,٥٣	١,٦٦	١,٧٩	١,٩٢
	١,٠٠	٠,٥٥	٠,٦٠	٠,٦٥	٠,٧٠	٠,٧٥	٠,٨٠	٠,٨٥	٠,٩٠	٠,٩٥	١,٠٠	١,١٠	١,٢٠	١,٣٠	١,٤٠	١,٥٠

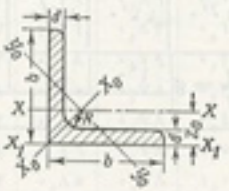
جدول ١٥ — قيم المعامل k_{11}

الرسم التخطيطي	$\beta = \frac{I_2}{I_1}$	قيم المعامل k_{11} المناظرة للنسبة $n = L_2/L_1$ التي تساوي :														
		٠,١	٠,٢	٠,٣	٠,٤	٠,٥	٠,٦	٠,٧	٠,٨	٠,٩	١,٠	١,٢	١,٣	١,٤	١,٦	١,٨	٢,٠
	٠,٠٤	٠,٦٦	٠,٦٨	٠,٧٥	٠,٩٤	١,٠٨	١,٢٤	١,٣٧	١,٤٧	١,٥٥	١,٦٤	١,٧٢	١,٧٨	١,٨١	١,٨٥	١,٨٩
	٠,٠٦	٠,٦٥	٠,٦٧	٠,٦٨	٠,٧٦	٠,٩٤	١,١٠	١,٢٥	١,٣٥	١,٤٤	١,٥٠	١,٦١	١,٦٩	١,٧٤	١,٧٩	١,٨٢
	٠,٠٨	٠,٦٤	٠,٦٦	٠,٦٧	٠,٦٨	٠,٨٤	١,٠٠	١,١٢	١,٢٥	١,٣٤	١,٤١	١,٥٣	١,٦٢	١,٦٨	١,٧٥	١,٧٩
	٠,١٠	٠,٦٤	٠,٦٥	٠,٦٥	٠,٦٥	٠,٧٨	٠,٩٢	١,٠٠	١,١٥	١,٢٥	١,٣٣	١,٤٥	١,٥٥	١,٦٢	١,٦٨	١,٧١
	٠,٢٠	٠,٦٢	٠,٦٤	٠,٦٥	٠,٦٥	٠,٧٣	٠,٨٣	٠,٩٢	١,٠١	١,٠٩	١,٢٣	١,٣٣	١,٤١	١,٤٨	١,٥٤	
	٠,٣٠	٠,٦٠	٠,٦٣	٠,٦٤	٠,٦٥	٠,٦٦	٠,٧٣	٠,٨١	٠,٨٩	٠,٩٤	١,٠٩	١,٢٠	١,٢٨	١,٣٥	١,٤١	١,٤٥
	٠,٤٠	٠,٥٨	٠,٦٣	٠,٦٣	٠,٦٤	٠,٦٦	٠,٦٨	٠,٧٥	٠,٨٢	٠,٨٨	١,٠١	١,١٠	١,١٩	١,٢٦	١,٣٢	
	٠,٥٠	٠,٥٧	٠,٦١	٠,٦٣	٠,٦٤	٠,٦٥	٠,٦٨	٠,٧٢	٠,٧٧	٠,٨٣	٠,٩٤	١,٠٤	١,١٢	١,١٩	١,٢٥	
	١,٠٠	٠,٥٥	٠,٦٠	٠,٦٣	٠,٦٢	٠,٦٣	٠,٦٥	٠,٦٧	٠,٧٠	٠,٧٣	٠,٨٠	٠,٨٨	٠,٩٣	١,٠١	١,٠٥	

١ – المقاطع الفولاذية المدلفنة القياسية

جدول ١

الزوايا الفولاذية المدلفنة ، المتساوية الساقين (مأخوذة من GOST8509—57)



الرموز المستخدمة :

b – عرض الساق (الشفة)

d – ثخن الساق (الشفة)

I – عزم القصور الذاتي

r – نصف قطر الحركة التدويمية

أبعاد الزاوية (مم)		R (مم)	مساحة المقطع العرضي A (سم^2)	وزن المتر الطولي (كجم)	المسافة الى مركز الثقل z_0 (سم)	المحور $x-x$		المحور x_1-x_1	المحور x_0-x_0		المحور y_0-y_0		أنصاف اقطار الحركة التدويمية r_{y_2} ، لزاويتين قيمها l ، تساوي (مم) :			
b	d					I_x (سم^4)	r_x (سم)	I_{x1} (سم^4)	I_{x0} (سم^4)	r_{x0} (سم)	I_{y0} (سم^4)	r_{y0} (سم)	٨	١٠	١٢	١٤
١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧
٤٥	٤	٥	٣,٤٨	٢,٧٣	١,٢٦	٦,٦٣	١,٣٨	١٢,١	١٠,٥	١,٧٤	٢,٧٤	٠,٨٩	٢,١٦	٢,٢٤	٢,٣٢	٢,٤٠
	٥		٤,٢٩	٣,٣٧	١,٣٠	٨,٠٣	١,٣٧	١٥,٣	١٢,٧	١,٧٢	٣,٣٣	٠,٨٨	٢,١٨	٢,٢٦	٢,٣٤	٢,٤٢
٥٠	٤	٥,٥	٣,٨٩	٣,٠٥	١,٣٨	٩,٢١	١,٥٤	١٦,٦	١٤,٦	١,٩٤	٣,٨٠	٠,٩٩	٢,٣٥	٢,٤٣	٢,٥١	٢,٥٩
	٥		٤,٨٠	٣,٧٧	١,٤٢	١١,٢	١,٥٣	٢٠,٩	١٧,٨	١,٩٢	٤,٦٣	٠,٩٨	٢,٣٨	٢,٤٥	٢,٥٣	٢,٦١
٥٦	٤	٦	٤,٣٨	٣,٤٤	١,٥٢	١٣,١	١,٧٣	٢٣,٣	٢٠,٨	٢,١٨	٥,٤١	١,١١	٢,٥٨	٢,٦٦	٢,٧٣	٢,٨١
	٥		٥,٤١	٤,٢٥	١,٥٧	١٦,٠	١,٧٢	٢٩,٢	٢٥,٤	٢,١٦	٦,٥٩	١,١٠	٢,٦١	٢,٧٢	٢,٧٧	٢,٨٥
٦٣	٤	٧	٤,٩٦	٣,٩٠	١,٦٩	١٨,٩	١,٩٥	٣٣,١	٢٩,٩	٢,٤٥	٧,٨١	١,٢٥	٢,٨٦	٢,٩٣	٣,٠١	٣,٠٩
	٥		٦,١٣	٤,٨١	١,٧٤	٢٣,١	١,٩٤	٤١,٥	٣٦,٦	٢,٤٤	٩,٥٢	١,٢٥	٢,٨٩	٢,٩٦	٣,٠٤	٣,١٢
	٦		٧,٢٨	٥,٧٢	١,٧٨	٢٧,١	١,٩٣	٥٠,٠	٤٢,٩	٢,٤٣	١١,٢	١,٢٤	٢,٩٠	٢,٩٩	٣,٠٦	٣,١٤
٧٠	٤,٥	٨	٦,٢٠	٤,٨٧	١,٨٨	٢٩,٠	٢,١٦	٥١,٠	٤٦,٠	٢,٧٢	١٢,٠	١,٣٩	٣,١٤	٣,٢١	٣,٢٩	٣,٣٧
	٥		٦,٨٦	٥,٣٨	١,٩٠	٣١,٩	٢,١٦	٥٦,٧	٥٠,٧	٢,٧٢	١٣,٢	١,٣٩	٣,١٦	٣,٢٣	٣,٣٠	٣,٣٨
	٦		٨,١٥	٦,٣٩	١,٩٤	٣٧,٦	٢,١٥	٦٨,٤	٥٩,٦	٢,٧١	١٥,٥	١,٣٨	٣,١٨	٣,٢٥	٣,٣٣	٣,٤٠
	٧		٩,٤٢	٧,٣٩	١,٩٩	٤٣,٠	٢,١٤	٨٠,١	٦٨,٢	٢,٦٩	١٧,٨	١,٣٧	٣,٢٠	٣,٢٨	٣,٣٦	٣,٤٤
	٨		١٠,٧	٨,٣٧	٢,٠٢	٤٨,٢	٢,١٣	٩١,٩	٧٦,٤	٢,٦٨	٢٠,٥	١,٣٧	٣,٢٢	٣,٢٩	٣,٣٧	٣,٤٥
٧٥	٥	٩	٧,٣٩	٥,٨٠	٢,٠٢	٣٩,٥	٢,٣١	٦٩,٦	٦٢,٦	٢,٩١	١٦,٤	١,٤٩	٣,٣٥	٣,٤٢	٣,٤٩	٣,٥٧
	٦		٨,٧٨	٦,٨٩	٢,٠٦	٤٦,٦	٢,٣٠	٨٣,٩	٧٣,٩	٢,٩٠	١٩,٣	١,٤٨	٣,٣٠	٣,٤٤	٣,٥٢	٣,٦٠
	٧		١٠,١	٧,٩٦	٢,١٠	٥٣,٣	٢,٢٩	٩٨,٣	٨٤,٦	٢,٨٩	٢٢,١	١,٤٨	٣,٤٠	٣,٤٧	٣,٥٤	٣,٦٢
	٨		١١,٥	٩,٠٢	٢,١٥	٥٩,٨	٢,٢٨	١١٣	٩٤,٩	٢,٨٧	٢٤,٨	١,٤٧	٣,٤٣	٣,٥٠	٣,٥٧	٣,٦٥
	٩		١٢,٨	١٠,١	٢,١٨	٦٦,١	٢,٢٧	١٢٧	١٠٥	٢,٨٦	٢٧,٥	١,٤٦	٣,٤٤	٣,٥١	٣,٥٩	٣,٦٧
٨٠	٥,٥	٩	٨,٦٣	٦,٧٨	٢,١٧	٥٢,٧	٢,٤٧	٩٣,٢	٨٣,٦	٣,١١	٢١,٨	١,٥٩	٣,٥٧	٣,٦٤	٣,٧١	٣,٧٩
	٦		٩,٣٨	٧,٣٦	٢,١٩	٥٧,٠	٢,٤٧	١٠٢	٩٠,٤	٣,١١	٢٣,٥	١,٥٨	٣,٥٨	٣,٦٥	٣,٧٢	٣,٨٠
	٧		١٠,٨	٨,٥١	٢,٢٣	٦٥,٣	٢,٤٥	١١٩	١٠٤	٣,٠٩	٢٧,٠	١,٥٨	٣,٦٠	٣,٦٧	٣,٧٥	٣,٨٢
	٨		١٢,٣	٩,٦٥	٢,٢٧	٧٣,٤	٢,٤٤	١٣٧	١١٦	٣,٠٨	٣٠,٣	١,٥٧	٣,٦٢	٣,٦٩	٣,٧٧	٣,٨٤

أبعاد الزاوية (مم)		R (مم)	مساحة المقطع العرضي A (سم²)	وزن المتر الطولي (كجم)	المسافة الى مركز الثقل z_0 (سم)	المحور $x-x$		المحور x_1-x_1	المحور x_0-x_0		المحور y_0-y_0		أنصاف اقطار الحركة التدويمية r_{y_0}، لزاويتين فيها ℓ ، تساوى (مم) :			
b	d					I_x (سم⁴)	r_x (سم)	I_{x_1} (سم⁴)	I_{x_0} (سم⁴)	r_{x_0} (سم)	I_{y_0} (سم⁴)	r_{y_0} (سم)	٨	١٠	١٢	١٤
١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧
٩٠	٦	١٠	١٠,٦	٨,٣٣	٢,٤٣	٨٢,١	٢,٧٨	١٤٥	١٣٠	٣,٥٠	٣٤,٠	١,٧٩	٣,٩٦	٤,٠٤	٤,١١	٤,١٩
	٧		١٢,٣	٩,٦٤	٢,٤٧	٩٤,٣	٢,٧٧	١٦٩	١٥٠	٣,٤٩	٣٨,٩	١,٧٨	٣,٩٩	٤,٠٦	٤,١٣	٤,٢١
	٨		١٣,٩	١٠,٩	٢,٥١	١٠٦	٢,٧٦	١٩٤	١٦٨	٣,٤٨	٤٣,٨	١,٧٧	٤,٠١	٤,٠٨	٤,١٦	٤,٢٣
	٩		١٥,٦	١٢,٢	٢,٥٥	١١٨	٢,٧٥	٢١٩	١٨٦	٣,٤٦	٤٨,٦	١,٧٧	٤,٠٤	٤,١١	٤,١٨	٤,٢٦
١٠٠	٦,٥	١٢	١٢,٨	١٠,١	٢,٦٨	١٢٢	٣,٠٩	٢١٤	١٩٣	٣,٨٨	٥٠,٧	١,٩٩	٤,٣٦	٤,٤٣	٤,٥٠	٤,٥٧
	٧		١٣,٨	١٠,٨	٢,٧١	١٣١	٣,٠٨	٢٣١	٢٠٧	٣,٨٨	٥٤,٢	١,٩٨	٤,٣٨	٤,٤٥	٤,٥٢	٤,٥٩
	٨		١٥,٦	١٣,٢	٢,٧٥	١٤٧	٣,٠٧	٢٦٥	٢٣٣	٣,٨٧	٦٠,٩	١,٩٨	٤,٤٠	٤,٤٧	٤,٥٤	٤,٦٢
	١٠		١٩,٢	١٥,١	٢,٨٣	١٧٩	٣,٠٥	٣٣٣	٢٨٤	٣,٨٤	٧٤,١	١,٩٦	٤,٤٤	٤,٥٢	٤,٥٩	٤,٦٦
	١٢		٢٢,٨	١٧,٩	٢,٩١	٢٠٧	٣,٠٣	٤٠٢	٣٣١	٣,٨١	٨٦,٩	١,٩٥	٤,٤٨	٤,٥٦	٤,٦٣	٤,٧١
١٠٠	١٤	١٢	٢٦,٣	٢٠,٦	٢,٩٩	٢٣٧	٣,٠٠	٤٧٢	٣٧٥	٣,٧٨	٩٩,٣	١,٩٤	٤,٥٣	٤,٦٠	٤,٦٨	٤,٧٦
	١٦		٢٩,٧	٢٣,٣	٣,٠٦	٢٦٤	٢,٩٨	٥٤٢	٤١٦	٣,٧٤	١١٢	١,٩٤	٤,٥٧	٤,٦٤	٤,٧٢	٤,٨٠
١١٠	٧	١٢	١٥,٢	١١,٩	٢,٩٦	١٧٦	٣,٤٠	٣٠٨	٢٧٩	٤,٢٩	٧٢,٧	٢,١٩	٤,٧٨	٤,٨٥	٤,٩٢	٥,٠٠
	٨		١٧,٢	١٣,٥	٣,٠٠	١٩٨	٣,٣٩	٣٥٣	٣١٥	٤,٢٨	٨١,٨	٢,١٨	٤,٨٠	٤,٨٧	٤,٩٥	٥,٠٢

١٢٥	٨	١٤	١٩,٧	١٥,٥	٣,٣٦	٢٩٤	٣,٨٧	٥١٦	٤٦٧	٤,٨٧	١٢٢	٢,٤٩	٥,٣٩	٥,٤٦	٥,٥٣	٥,٦٠
	٩		٢٢,٠	١٧,٣	٣,٤٠	٣٢٧	٣,٨٦	٥٨٢	٥٢٠	٤,٨٦	١٣٥	٢,٤٨	٥,٤١	٥,٤٨	٥,٥٦	٥,٦٣
	١٠		٢٤,٣	١٩,١	٣,٤٥	٣٦٠	٣,٨٥	٦٤٩	٥٧١	٤,٨٤	١٤٩	٢,٤٧	٥,٤٤	٥,٥٢	٥,٥٨	٥,٦٦
	١٢		٢٨,٩	٢٢,٧	٣,٥٣	٤٢٢	٣,٨٢	٧٨٢	٦٧٠	٤,٨٢	١٧٤	٢,٤٦	٥,٤٨	٥,٥٥	٥,٦٢	٥,٧٠
	١٤		٣٣,٤	٢٦,٢	٣,٦١	٤٨٢	٣,٨٠	٩١٦	٧٦٤	٤,٧٨	٢٠٠	٢,٤٥	٥,٥٢	٥,٦٠	٥,٦٧	٥,٧٥
	١٦		٣٧,٨	٢٩,٦	٣,٦٨	٥٣٩	٣,٧٨	١,٠٥١	٨٥٣	٤,٧٥	٢٢٤	٢,٤٤	٥,٥٦	٥,٦٣	٥,٧٢	٥,٧٨
١٤٠	٩	١٤	٢٤,٧	١٩,٤	٣,٧٨	٤٦٦	٤,٣٤	٨١٨	٧٣٩	٥,٤٧	١٩٢	٢,٧٩	٦,٠٢	٦,١٠	٦,١٦	٦,٢٤
	١٠		٢٧,٣	٢١,٥	٣,٨٢	٥١٢	٤,٣٣	٩١١	٨١٤	٥,٤٦	٢١١	٢,٧٨	٦,٠٥	٦,١٢	٦,١٩	٦,٢٦
	١٢		٣٢,٥	٢٥,٥	٣,٩٠	٦٠٢	٤,٣١	١,٠٩٧	٩٥٧	٥,٤٣	٢٤٨	٢,٧٦	٦,٠٨	٦,١٥	٦,٢٥	٦,٣٠
١٦٠	١٠	١٦	٣١,٤	٢٤,٧	٤,٣٠	٧٧٤	٤,٩٦	١,٣٠٦	١,٢٢٩	٦,٢٥	٣١٩	٣,١٩	٦,٨٤	٦,٩١	٦,٩٧	٧,٠٥
	١١		٣٤,٤	٢٧,٠	٤,٣٥	٨٤٤	٤,٩٥	١,٤٩٤	١,٣٤١	٦,٢٤	٣٤٨	٣,١٨	٦,٨٦	٦,٩٣	٧,٠٠	٧,٠٧
	١٢		٣٧,٤	٢٩,٤	٤,٣٩	٩١٣	٤,٩٤	١,٦٣٣	١,٤٥٠	٦,٢٣	٣٧٦	٣,١٧	٦,٨٨	٦,٩٥	٧,٠٢	٧,٠٩
	١٤	١٦	٤٣,٣	٣٤,٠	٤,٤٧	١,٠٤٦	٤,٩٢	١,٩١١	١,٦٦٢	٦,٢٠	٤٣١	٣,١٦	٦,٩١	٦,٩٨	٧,٠٥	٧,١٣
	١٦		٤٩,١	٣٨,٥	٤,٥٥	١,١٧٥	٤,٨٩	٢,١٩١	١,٨٩٦	٦,١٧	٤٨٥	٣,١٤	٦,٩٥	٧,٠٣	٧,١٠	٧,١٨
١٦٠	١٨		٥٤,٨	٤٣,٠	٤,٦٣	١,٢٩٩	٤,٨٧	٢,٤٧٢	٢,٠٦١	٦,١٣	٥٣٧	٣,١٣	٧,٠٠	٧,٠٧	٧,١٤	٧,٢٢
	٢٠		٦٠,٤	٤٧,٤	٤,٧٠	١,٤١٩	٤,٨٥	٢,٧٥٦	٢,٢٤٨	٦,١٠	٥٨٩	٣,١٢	٧,٠٤	٧,١١	٧,١٨	٧,٢٦
١٨٠	١١	١٦	٣٨,٨	٣٠,٥	٤,٨٥	١,٢١٦	٥,٦٠	٢,١٢٨	١,٩٣٣	٧,٠٦	٥٠٠	٣,٥٩	٧,٦٧	٧,٧٤	٧,٨١	٧,٨٢
	١٢		٤٢,٢	٣٣,١	٤,٨٩	١,٣١٧	٥,٥٩	٢,٣٢٤	٢,٠٩٣	٧,٠٩	٥٤٠	٣,٥٨	٧,٦٩	٧,٧٦	٧,٨٣	٧,٨٤
	١٢		٤٧,١	٣٧,٠	٥,٣٧	١,٨٢٣	٦,٢٢	٣,١٨٢	٢,٨٩٦	٧,٨٤	٧٤٩	٣,٩٩	٨,٤٨	٨,٥٥	٨,٦٢	٨,٦٩
	١٣		٥٠,٩	٣٩,٩	٥,٤٢	١,٩٦١	٦,٢١	٣,٤٥٢	٣,١١٦	٧,٨٣	٨٠٥	٣,٩٨	٨,٥٠	٨,٥٨	٨,٦٤	٨,٧١
	١٤		٥٤,٦	٤٢,٨	٥,٤٦	٢,٠٩٧	٦,٢٠	٣,٧٢٢	٣,٣٣٣	٧,٨١	٨٦١	٣,٩٧	٨,٥٢	٨,٦٠	٨,٦٦	٨,٧٣

30—3600

تتمة جدول ١

أبعاد الزاوية (مم)			المقطع العرضي	وزن المتر الطولي	المسافة الى مركز الثقل	المحور $x-x$		المحور x_1-x_1	المحور x_0-x_0		المحور y_0-y_0		أنصاف اقطار الحركة التدويرية r_{y_1}، لزاويتين فيها t، تساوى (مم):			
b	d	R (مم)	A (سم^2)	(كجم)	z_0 (سم)	I_x (سم^4)	r_x (سم)	I_{x1} (سم^4)	I_{x0} (سم^4)	r_{x0} (سم)	I_{y0} (سم^4)	r_{y0} (سم)	٨	١٠	١٢	١٤
١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧
٢٠٠	١٦	١٨	٦٢,٠	٤٨,٧	٥,٥٤	٢,٣٦٣	٦,١٧	٤,٢٦٤	٣,٧٥٥	٧,٧٨	٩٧٠	٣,٩٦	٨,٥٦	٨,٦٤	٨,٧٠	٨,٧٧
	٢٠		٧٦,٥	٦٠,١	٥,٧٠	٢,٨٧١	٦,١٢	٥,٣٥٥	٤,٥٦٠	٧,٧٢	١,١٨٢	٣,٩٣	٨,٦٥	٨,٧٢	٨,٧٩	٨,٨٦
	٢٥		٩٤,٣	٧٤,٠	٥,٨٩	٣,٤٦٦	٦,٠٦	٦,٧٣٣	٥,٤٩٤	٧,٦٣	١,٤٣٨	٣,٩١	٨,٧٤	٨,٨١	٨,٨٨	٨,٩٥
	٣٠		١١١,٥	٨٧,٦	٦,٠٧	٤,٠٢٠	٦,٠٠	٨,١٣٠	٦,٣٥١	٧,٥٥	١,٦٨٨	٣,٨٩	٨,٨٣	٨,٩٠	٨,٩٧	٩,٠٥
٢٢٠	١٤	٢١	٦٠,٤	٤٧,٤	٥,٩٣	٢,٨١٤	٦,٨٣	٤,٩٤١	٤,٤٧٠	٨,٦٠	١,١٥٩	٤,٣٨	٩,٣١	٩,٣٧	٩,٤٥	٩,٥٢
	١٦		٦٨,٦	٥٣,٨	٦,٠٢	٣,١٧٥	٦,٨١	٥,٦٦١	٥,٠٤٥	٨,٥٨	١,٣٠٦	٤,٣٦	٩,٣٥	٩,٤٢	٩,٤٩	٩,٥٦
٢٥٠	١٦	٢٤	٧٨,٤	٦١,٥	٦,٧٥	٤,٧١٧	٧,٧٦	٨,٢٨٦	٧,٤٩٢	٩,٧٨	١,٩٤٢	٤,٩٨	١٠,٥٥	١٠,٦٢	١٠,٦٨	١٠,٧٥
	١٨		٨٧,٧	٦٨,٩	٦,٨٣	٥,٢٤٧	٧,٧٣	٩,٣٤٢	٨,٣٣٧	٩,٧٥	٢,١٥٨	٤,٩٩	١٠,٥٩	١٠,٦٥	١٠,٧٢	١٠,٨٠
	٢٠		٩٧,٠	٧٦,١	٦,٩١	٥,٧٦٥	٧,٧١	١٠,٤٠١	٩,١٦٠	٩,٧٢	٢,٣٧٠	٤,٩٤	١٠,٦٢	١٠,٦٩	١٠,٧٦	١٠,٨٣
	٢٢		١٠٦,١	٨٣,٣	٧,٠٠	٦,٢٧٠	٧,٦٩	١١,٤٦٤	٩,٩٦١	٩,٦٩	٢,٥٧٩	٤,٩٣	١٠,٦٧	١٠,٧٤	١٠,٨١	١٠,٨٨
	٢٥		١١٩,٧	٩٤,٠	٧,١١	٧,٠٠٦	٧,٦٥	١٣,٠٦٤	١١,١٢٥	٩,٦٤	٢,٨٨٧	٤,٩١	١٠,٧٢	١٠,٧٩	١٠,٨٦	١٠,٩٣
	٢٨		١٣٣,١	١٠٤,٥	٧,٢٣	٧,٧١٧	٧,٦١	١٤,٦٧٤	١٢,٢٤٤	٩,٥٩	٣,١٩٠	٤,٨٩	١٠,٧٨	١٠,٨٥	١٠,٩٢	١٠,٩٩
	٣٠		١٤٢,٠	١١١,٤	٧,٣١	٨,١٧٧	٧,٥٩	١٥,٧٥٣	١٢,٩٦٥	٩,٥٦	٣,٣٨٩	٤,٨٩	١٠,٨٢	١٠,٨٩	١٠,٩٦	١١,٠٣

جدول ٢

الزوايا الفولاذية المدلفنة ، المختلفة الساقين (مأخوذة من GOST 8510—57)

الرموز المستخدمة :

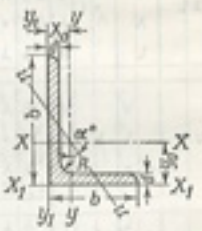
B – عرض الساق (الشفة) الواسعة

b – عرض الساق (الشفة) الضيقة

d – ثخن الساق

I – عزم القصور الذاتي

r – نصف قطر الحركة التدويرية



أبعاد الزاوية (مم)			المقطع العرضي	وزن المتر الطولي	المسافة الى مركز الثقل	المحور $x-x$		المحور $y-y$		المحور x_1-x_1	المحور y_1-y_1		المحور $u-u$		أنصاف اقطار الحركة التدويرية r_y، لزاويتين فيهما t تساوى: (مم)				أنصاف اقطار الحركة التدويرية r_{y_1}، لزاويتين فيهما t تساوى: (مم)			
B	b	d	R مم	A سم^2	كجم	y_0 (سم)	x_0 (سم)	I_x (سم^4)	r_x (سم)	I_y (سم^4)	r_y (سم)	I_{x_1} (سم^4)	I_{y_1} (سم^4)	$I_{u\min}$ (سم^4)	$r_{u\min}$ (سم)	٨	١٠	١٢	١٤	٨	١٠	١٢	١٤
١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧	١٨	١٩	٢٠	٢١	٢٢	٢٣	٢٤
٥٦	٣٦	٤	٦٠	٣,٥٨	٢,٨١	١,٨٢	٠,٨٤	١١,٤	١,٧٨	٣,٧٠	١,٠٢	٢٣,٢	٦,٢٥	١,٩٩	٠,٧٨	١,٦٠	١,٦٨	١,٧٦	١,٨٤	٢,٨٥	٢,٩٣	٣,٠١	٣,٠٩
		٥		٤,٤١	٣,٤٦	١,٨٦	٠,٨٨	١٣,٨	١,٧٧	٤,٤٨	١,٠١	٢٩,٢	٧,٩١	٢,٦٦	٠,٧٨	١,٦٣	١,٧١	١,٧٩	١,٨٧	٢,٨٧	٢,٩٥	٣,٠٣	٣,١١
٦٣	٤٠	٤	٧,٥	٤,٠٤	٣,١٧	٢,٠٣	٠,٨٧	١٦,٣	٢,٠١	٥,١٦	١,١٣	٣٣,٠	٨,٥١	٣,٠٧	٠,٨٧	١,٧٣	١,٨١	١,٨٩	١,٩٦	٣,١٥	٣,٢٣	٣,٣١	٣,٣٩
		٥		٤,٩٨	٣,٩١	٢,٠٨	٠,٨٦	١٩,٩	٢,٠٠	٦,٢٦	١,١٢	٤١,٤	١٠,٨	٣,٧٣	٠,٨٦	١,٧٥	١,٨٣	١,٩١	١,٩٩	٣,١٩	٣,٢٩	٣,٣٤	٣,٤٢
		٦		٥,٩٠	٤,٦٣	٢,١٢	٠,٩٩	٢٣,٣	١,٩٩	٧,٢٨	١,١١	٤٩,٩	١٣,١	٤,٣٦	٠,٨٦	١,٧٨	١,٨٩	١,٩٤	٢,٠٢	٣,٢١	٣,٢٩	٣,٣٦	٣,٤٥
		٨		٧,٦٨	٦,٠٣	٢,٢٠	١,٠٧	٢٩,٦	١,٩٦	٩,١٥	١,٠٩	٦٦,٩	١٧,٩	٥,٥٨	٠,٨٥	١,٨٣	١,٩١	١,٩٩	٢,٠٨	٣,٢٦	٣,٣٤	٣,٤٢	٣,٥٠

ابعاد الزاوية (مم)					المقطع العرضي	وزن المتر الطولي	المسافة الى مركز الثقل		المحور $x-x$		المحور $y-y$		المحور x_1-x_1	المحور y_1-y_1	المحور $u-u$		انصاف اقطار الحركة التدويمية r_y ، لزاويتين فيهما t تساوي (مم)				انصاف اقطار الحركة التدويمية r_y، لزاويتين فيهما t تساوي (مم)			
B	b	d	R		A	كجم	y_0	x_0	I_x	r_x	I_y	r_y	I_{x_1}	I_{y_1}	$I_{u\,min}$	$r_{u\,min}$	٨	١٠	١٢	١٤	٨	١٠	١٢	١٤
			مم		سم٢		سم	سم	سم٤	سم	سم٤	سم	سم٤	سم٤	سم٤	سم								
١	٢	٣	٤		٥	٦	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	١٥	١٦	١٧	١٨	١٩	٢٠	٢١	٢٢	٢٣	٢٤
٧٠	٤٥	٤,٥	٧,٥		٥,٠٧	٣,٩٨	١,٠٣	٢,٢٥	٢٥,٣	٢,٢٣	٨,٢٥	١,٢٨	٥١,٠	١٣,٦	٤,٨٨	٠,٩٨	١,٩٢	١,٩٩	٢,٠٧	٢,١٥	٣,٤٧	٣,٥٤	٣,٦٢	٣,٧٠
		٥			٥,٥٩	٤,٣٩	١,٠٠	٢,٢٨	٢٧,٨	٢,٢٣	٩,٠٥	١,٢٧	٥٦,٧	١٥,٢	٥,٣٤	٠,٩٨	١,٩٣	٢,٠١	٢,٠٨	٢,١٧	٣,٤٩	٣,٥٦	٣,٦٤	٣,٧٢
٧٥	٥٠	٥	٨,٠		٦,١١	٤,٧٩	١,١٧	٢,٣٩	٣٤,٨	٢,٣٩	١٢,٥	١,٤٣	٦٩,٧	٢٠,٨	٧,٢٤	١,٠٩	٢,١٣	٢,٢١	٢,٢٨	٢,٣٦	٣,٦٧	٣,٧٥	٣,٨٣	٣,٩٠
		٦			٧,٢٥	٥,٦٩	١,٢١	٢,٤٤	٤٠,٩	٢,٣٨	١٤,٦	١,٤٢	٨٣,٩	٢٥,٢	٨,٤٨	١,٠٨	٢,١٥	٢,٢٢	٢,٣٠	٢,٣٨	٣,٧٠	٣,٧٨	٣,٨٦	٣,٩٤
		٨			٩,٤٧	٧,٤٣	١,٢٩	٢,٥٢	٥٢,٤	٢,٣٥	١٨,٥	١,٤٠	١١٢	٣٤,٢	١٠,٩	١,٠٧	٢,١٩	٢,٢٧	٢,٣٧	٢,٤٣	٣,٧٥	٣,٨٣	٣,٩١	٣,٩٨
٨٠	٥٠	٥	٨,٠		٦,٣٦	٤,٩٩	١,١٣	٢,٦٠	٤١,٦	٢,٥٦	١٢,٧	١,٤١	٨٤,٦	٢٠,٨	٧,٥٨	١,٠٩	٢,٠٨	٢,١٦	٢,٢٣	٢,٣٠	٣,٩٤	٤,٠٢	٤,١١	٤,١٩
		٦			٧,٠٥	٥,٩٢	١,١٧	٢,٦٥	٤٩,٠	٢,٥٥	١٤,٨	١,٤٠	١٠٢,٠	٢٥,٢	٨,٨٨	١,٠٨	٢,١٠	٢,١٨	٢,٢٦	٢,٣٤	٣,٩٧	٤,٠٥	٤,١٣	٤,٢١
٩٠	٥٦	٥,٥	٩		٧,٨٩	٦,١٧	١,٢٦	٢,٩٢	٦٥,٣	٢,٨٨	١٩,٧	١,٥٨	١٣٢	٣٢,٢	١١,٨	١,٢٢	٢,٢٩	٢,٣٦	٢,٤٤	٢,٥٢	٤,٤٠	٤,٤٧	٤,٥٥	٤,٦٣
		٦			٨,٥٤	٦,٧٠	١,٢٨	٢,٩٥	٧٠,٦	٢,٨٨	٢١,٢	١,٥٨	١٤٥	٣٥,٢	١٢,٧	١,٢٢	٢,٣٠	٢,٣٨	٢,٤٥	٢,٥٣	٤,٤٢	٤,٤٩	٤,٥٧	٤,٦٥
		٨			١١,١٨	٨,٧٧	١,٣٦	٣,٠٤	٩٠,٩	٢,٨٥	٢٧,١	١,٥٦	١٩٤	٤٧,٨	١٦,٣	١,٢١	٢,٣٥	٢,٤٣	٢,٥١	٢,٥٨	٤,٤٧	٤,٥٤	٤,٦٢	٤,٧٠
١٠٠	٦٣	٦	١٠		٩,٥٩	٧,٥٣	١,٤٢	٣,٢٣	٩٨,٣	٣,٢٠	٣٠,٦	١,٧٩	١٩٨	٤٩,٩	١٨,٢	١,٣٨	٢,٥٥	٢,٦٢	٢,٧٠	٢,٧٧	٤,٨٤	٤,٩٢	٤,٩٩	٥,٠٧
		٧			١١,١	٨,٧٠	١,٤٦	٣,٢٨	١١٣	٣,١٩	٣٥,٠	١,٧٨	٢٣٢	٥٨,٧	٢٠,٨	١,٣٧	٢,٥٧	٢,٦٤	٢,٧٢	٢,٧٨	٤,٨٧	٤,٩٥	٥,٠٢	٥,١٠
		٨			١٢,٦	٩,٨٧	١,٥٠	٣,٣٢	١٢٧	٣,١٨	٣٩,٢	١,٧٧	٢٦٦	٦٧,٦	٢٣,٤	١,٣٦	٢,٥٩	٢,٦٦	٢,٧٤	٢,٨٢	٤,٨٩	٤,٩٧	٥,٠٤	٥,١٢
		١٠			١٥,٥	١٢,١	١,٥٨	٣,٤٠	١٥٤	٣,١٥	٤٧,١	١,٧٥	٣٣٣	٨٥,٨	٢٨,٣	١,٣٥	٢,٦٤	٢,٧١	٢,٧٩	٢,٨٧	٤,٩٤	٥,٠١	٥,٠٩	٥,١٧

١١٠	٧٠	٦,٥	١٠		١١,٤	٨,٩٨	١,٥٨	٣,٠٥	١٤٢	٣,٥٣	٤٥,٦	٢,٠	٢٨٦	٧٤,٣	٢٦,٩	١,٥٣	٢,٨١	٢,٨٨	٢,٩٦	٣,٠٣	٥,٣٠	٥,٣٧	٥,٤٤	٥,٥٢
		٧			١٢,٣	٩,٦٤	١,٦٠	٣,٥٧	١٥٢	٣,٥٢	٤٨,٧	١,٩٩	٣٠٩	٨٠,٣	٢٨,٨	١,٥٣	٢,٨٢	٢,٨٩	٢,٩٧	٣,٠٤	٥,٣١	٥,٣٨	٥,٤٥	٥,٥٣
		٨			١٣,٩	١٠,٩	١,٦٤	٣,٦١	١٧٢	٣,٥١	٥٤,٦	١,٩٨	٣٥٣	٩٢,٣	٣٢,٣	١,٥٢	٢,٨٤	٢,٩٢	٢,٩٩	٣,٠٧	٥,٣٣	٥,٤١	٥,٤٩	٥,٥٦
١٢٥	٨٠	٧	١١		١٤,١	١١,٠	١,٨٠	٤,٠١	٢٢٧	٤,٠١	٧٣,٧	٢,٢٩	٤٥٢	١١٩	٤٣,٤	١,٧٦	٣,١٧	٣,٢٤	٣,٣١	٣,٣٩	٥,٩٦	٦,٠٤	٦,١١	٦,١٩
		٨			١٦,٠	١٢,٥	١,٨٤	٤,٠٥	٢٥٦	٤,٠٠	٨٣,٠	٢,٢٨	٥١٨	١٣٧	٤٨,٨	١,٧٥	٣,١٩	٣,٢٧	٣,٣٤	٣,٤١	٥,٩٨	٦,٠٦	٦,١٣	٦,٢١
		١٠			١٩,٧	١٥,٥	١,٩٢	٤,١٤	٣١٢	٣,٩٨	١٠٠	٢,٢٦	٦٤٩	١٧٣	٥٩,٣	١,٧٤	٣,٢٣	٣,٣١	٣,٣٧	٣,٤٦	٦,٠٤	٦,١١	٦,١٩	٦,٢٧
		١٢			٢٣,٤	١٨,٣	٢,٠٠	٤,٢٢	٣٦٥	٣,٩٥	١١٧	٢,٢٤	٧٨١	٢١٠	٦٩,٥	١,٧٢	٣,٢٨	٣,٣٥	٣,٤٣	٣,٥١	٦,٠٨	٦,١٥	٦,٢٣	٦,٣١
١٤٠	٩٠	٨	١٢		١٨,٠	١٤,١	٢,٠٣	٤,٤٩	٣٦٤	٤,٤٩	١٢٠	٢,٥٨	٧٢٧	١٩٤	٧٠,٣	١,٩٨	٣,٥٥	٣,٦١	٣,٦٩	٣,٧٦	٦,٦٤	٦,٧٢	٦,٧٩	٦,٨٦
		١٠			٢٢,٢	١٧,٥	٢,١٢	٤,٥٨	٤٤٤	٤,٤٧	١٤٦	٢,٥٦	٩١١	٢٤٥	٨٥,٥	١,٩٦	٣,٦٠	٣,٦٧	٣,٧٤	٣,٨٢	٦,٦٩	٦,٧٧	٦,٨٤	٦,٩٢
١٦٠	١٠٠	٩	١٣		٢٢,٩	١٨,٠	٢,٢٣	٥,١٩	٦٠٦	٥,١٥	١٨٦	٢,٨٥	١,٢٢١	٣٠٠	١١٠	٢,٢٠	٣,٨٧	٣,٩٥	٤,٠٢	٤,٠٩	٧,٦٠	٧,٦٧	٧,٧٥	٧,٨٢
		١٠			٢٥,٣	١٩,٨	٢,٢٨	٥,٢٣	٦٦٧	٥,١٣	٢٠٤	٢,٨٤	١,٣٠٩	٣٣٥	١٢١	٢,١٩	٣,٩٠	٣,٩٧	٤,٠٤	٤,١٢	٧,٦٢	٧,٦٩	٧,٧٧	٧,٨٤
		١٢			٣٠,٠	٢٣,٦	٢,٣٦	٥,٣٢	٧٨٤	٥,١١	٢٣٩	٢,٨٢	١,٦٣٤	٤٠٥	١٤٢	٢,١٨	٣,٩٥	٤,٠٢	٤,٠٩	٤,١٦	٧,٦٧	٧,٧٥	٧,٨٢	٧,٩٠
		١٤			٣٤,٧	٢٧,٣	٢,٤٣	٥,٤٠	٨٩٧	٥,٠٨	٢٧٢	٢,٨٠	١,٩١٠	٤٧٧	١٦٢	٢,١٦	٣,٩٨	٤,٠٥	٤,١٣	٤,٢٠	٧,٧١	٧,٧٨	٧,٨٦	٧,٩٤
١٨٠	١١٠	١٠	١٤		٢٨,٣	٢٢,٢	٢,٤٤	٥,٨٨	٩٥٢	٥,٨٠	٢٧٦	٣,١٢	١,٩٣٣	٤٤٤	١٩٥	٢,٤٢	٤,٢٢	٤,٢٩	٤,٣٦	٤,٤٣	٨,٥٥	٨,٦٢	٨,٦٩	٨,٧٧
		١٢			٣٣,٧	٢٦,٤	٢,٥٢	٥,٩٧	١,١٢٣	٥,٧٧	٣٢٤	٣,١٠	٢,٣٢٤	٥٣٧	١٩٤	٢,٤٠	٤,٢٦	٤,٣٣	٤,٤٠	٤,٤٧	٨,٥٩	٨,٦٧	٨,٧٥	٨,٨٢
٢٠٠	١٢٥	١١	١٤		٣٤,٩	٢٧,٤	٢,٧٩	٦,٥٠	١,٤٤٩	٦,٤٥	٤٤٦	٣,٥٨	٢,٩٢٠	٧١٨	٢٦٤	٢,٧٠	٤,٢٩	٤,٨٦	٤,٩٣	٥,٠٠	٩,٤٤	٩,٥١	٩,٥٩	٩,٦٦
		١٢			٣٧,٩	٢٩,٧	٢,٨٣	٦,٥٤	١,٥٦٨	٦,٤٣	٤٨٢	٣,٥٧	٣,١٨٩	٧٨٦	٢٨٥	٢,٧٤	٤,٨١	٤,٨٨	٤,٩٥	٥,٠٢	٩,٤٦	٩,٥٤	٩,٦٢	٩,٦٨
		١٤			٤٣,٩	٣٤,٤	٢,٩١	٦,٦٢	١,٨٠١	٦,٤١	٥٥١	٣,٥٤	٣,٧٢٦	٩٢٢	٣٢٧	٢,٧٣	٤,٨٠	٤,٨٧	٤,٩٤	٥,٠٦	٩,٥٠	٩,٥٨	٩,٦٥	٩,٧٣
		١٦			٤٩,٨	٣٩,١	٢,٩٩	٦,٧١	٢,٠٢٦	٦,٣٨	٦١٧	٣,٥٢	٤,٢٦٤	١,٠٦١	٣٦٧	٢,٧٢	٤,٨٩	٤,٩٥	٥,٠٣	٥,١٠	٩,٥٥	٩,٦٣	٩,٧٠	٩,٧٨
٢٥٠	١٦٠	١٢	١٨		٤٨,٣	٣٧,٩	٣,٥٣	٧,٩٧	٣,١٤٧	٨,٠٧	١,٠٣٢	٤,٦٢	٦,٢١٢	١,٦٣٤	٦٠٤	٣,٥٤	٦,٠٧	٦,١٣	٦,٢٠	٦,٢٧	١١,٦٢	١١,٧١	١١,٧٧	١١,٨٥
		١٦			٦٣,٦	٤٩,٩	٣,٦٩	٨,١٤	٤,٠٩١	٨,٠٢	١,٣٣٣	٤,٥٨	٨,٣٠٨	٢,٢٠٠	٧٨١	٣,٥٠	٦,١٤	٦,٢١	٦,٢٧	٦,٣٤	١١,٧٣	١١,٧٨	١١,٨٦	١١,٩٤
		١٨			٧١,١	٥٥,٨	٣,٧٧	٨,٢٣	٤,٥٢٥	٧,٩٩	١,٤٧٥	٤,٥٦	٩,٣٥٨	٢,٤٨٧	٨٦٦	٣,٤٩	٦,١٨	٦,٢١	٦,٣١	٦,٣٨	١١,٧٦	١١,٨٤	١١,٩١	١١,٩٨
		٢٠			٧٨,٥	٦١,٧	٣,٨٥	٨,٣١	٤,٩٨٧	٧,٩٧	١,٦١٣	٤,٥٣	١٠,٤١٠	٢,٧٧٦	٩٤٩	٣,٤٨	٦,٢٠	٦,٢٨	٦,٣٥	٦,٤٢	١١,٨١	١١,٨٨	١١,٩٥	١٢,٠٣

المقاطع الفولاذية المدلفنة – العتبات شكل – I (مأخوذة من GOST 8239-56)

الرموز المستخدمة :

h – ارتفاع مقطع العتبة
b – عرض الشفة
d – ثخن الوترة
t – متوسط ثخن الشفة
R – نصف قطر منحنى اتصال الوترة

I – عزم القصور الذاتي
W – معامل المقطع
S – العزم الاستاتيكي لنصف المقطع
r – نصف قطر الحركة التدويمية

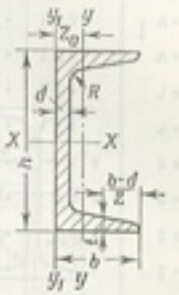
رقم المقطع	وزن المتر الطول	أبعاد المقطع					مساحة المقطع	القيم الدليلية للمحاور							
								$x-x$				$y-y$			
		h	b	d	t	R	A	I_x	W_x	r_x	S_x	I_y	W_y	r_y	
	كجم	مم					سم٢	سم٤	سم٣	سم	سم٣	سم٤	سم٣	سم	
١٠	٩,٤٦	١٠٠	٥٥	٤,٥	٧,٢	٧	١٢,٠	١٩٨	٣٩,٧	٤,٠٦	٢٣,٠	١٧,٩	٦,٤٦	١,٢٢
١٢	١١,٥	١٢٠	٦٤	٤,٨	٧,٣	٧,٥	١٤,٧	٣٥٠	٥٨,٤	٤,٨٨	٣٣,٧	٢٧,٩	٨,٧٢	١,٣٨
١٤	١٣,٧	١٤٠	٧٣	٤,٩	٧,٥	٨	١٧,٤	٥٧٢	٨١,٧	٥,٧٣	٤٦,٨	٤١,٩	١١,٥	١,٥٥
١٦	١٥,٩	١٦٠	٨١	٥,٠	٧,٨	٨,٥	٢٠,٢	٨٧٣	١٠٩	٦,٥٧	٦٢,٣	٥٨,٦	١٤,٥	١,٧٠
١٨	١٨,٤	١٨٠	٩٠	٥,١	٨,١	٩	٢٣,٤	١,٢٩٠	١٤٣	٧,٤٢	٨١,٤	٨٢,٦	١٨,٤	١,٨٨
١٨ ا	١٩,٩	١٨٠	١٠٠	٥,١	٨,٣	٩	٢٥,٤	١,٤٣٠	١٥٩	٧,٥١	٨٩,٨	١١٤	٢٢,٨	٢,١٢
٢٠	٢١,٠	٢٠٠	١٠٠	٥,٢	٨,٤	٩,٥	٢٦,٨	١,٨٤٠	١٨٤	٨,٢٨	١٠٤	١١٥	٢٣,١	٢,٠٧
٢٠ ا	٢٢,٧	٢٠٠	١١٠	٥,٢	٨,٦	٩,٥	٢٨,٩	٢,٠٣٠	٢٠٣	٨,٣٧	١١٤	١٥٥	٢٨,٢	٢,٣٢
٢٢	٢٤,٠	٢٢٠	١١٠	٥,٤	٨,٧	١٠	٣٠,٦	٢,٥٥٠	٢٣٢	٩,١٣	١٣١	١٥٧	٢٨,٦	٢,٢٧
٢٢ ا	٢٥,٨	٢٢٠	١٢٠	٥,٤	٨,٩	١٠	٣٢,٨	٢,٧٩٠	٢٥٤	٩,١٢	١٤٣	٢٠٦	٣٤,٣	٢,٥٠
٢٤	٢٧,٣	٢٤٠	١١٥	٥,٦	٩,٥	١٠,٥	٣٤,٨	٣,٤٦٠	٢٨٩	٩,٩٧	١٦٣	١٩٨	٣٤,٥	٢,٣٧
٢٤ ا	٢٩,٤	٢٤٠	١٢٥	٥,٦	٩,٨	١٠,٥	٣٧,٥	٣,٨٠٠	٣١٧	١٠,١	١٧٨	٢٦٠	٤١,٦	٢,٦٣
٢٧	٣١,٥	٢٧٠	١٢٥	٦,٠	٩,٨	١١	٤٠,٢	٥,٠١٠	٣٧١	١١,٢	٢١٠	٢٦٠	٤١,٥	٢,٥٤
٢٧ ا	٣٣,٩	٢٧٠	١٣٥	٦,٠	١٠,٢	١١	٤٣,٢	٥,٥٠٠	٤٠٧	١١,٣	٢٢٩	٣٣٧	٥٠,٠	٢,٨٠
٣٠	٣٦,٥	٣٠٠	١٣٥	٦,٥	١٠,٢	١٢	٤٦,٥	٧,٠٨٠	٤٧٢	١٢,٣	٢٦٨	٣٣٧	٤٩,٩	٢,٦٩
٣٠ ا	٣٩,٢	٣٠٠	١٤٥	٦,٥	١٠,٧	١٢	٤٩,٩	٧,٧٨٠	٥١٨	١٢,٥	٢٩٢	٤٣٦	٦٠,١	٢,٩٥
٣٣	٤٢,٢	٣٣٠	١٤٠	٧,٠	١١,٢	١٣	٥٣,٨	٩,٨٤٠	٥٩٧	١٣,٥	٣٣٩	٤١٩	٥٩,٩	٢,٧٩
٣٦	٤٨,٦	٣٦٠	١٤٥	٧,٥	١٢,٣	١٤	٦١,٩	١٣,٣٨٠	٧٤٣	١٤,٧	٤٢٣	٥١٦	٧١,١	٢,٨٩
٤٠	٥٦,١	٤٠٠	١٥٥	٨,٠	١٣,٠	١٥	٧١,٤	١٨,٩٣٠	٩٤٧	١٦,٣	٥٤٠	٦٦٦	٨٥,٩	٣,٠٥
٤٥	٦٥,٢	٤٥٠	١٦٠	٨,٦	١٤,٢	١٦	٨٣,٠	٢٧,٤٥٠	١,٢٢٠	١٨,٢	٦٩٩	٨٠٧	١٠١	٣,١٢
٥٠	٧٦,٨	٥٠٠	١٧٠	٩,٥	١٥,٢	١٧	٩٧,٨	٣٩,٢٩٠	١,٥٧٠	٢٠,٠	٩٠٥	١,٠٤٠	١٢٢	٣,٢٦
٥٥	٨٩,٨	٥٥٠	١٨٠	١٠,٣	١٦,٥	١٨	١١٤	٥٥,١٥٠	٢,٠٠٠	٢٢,٠	١,١٥٠	١,٣٥٠	١٥٠	٣,٤٤
٦٠	١٠٤	٦٠٠	١٩٠	١١,١	١٧,٨	٢٠	١٣٢	٧٥,٤٥٠	٢,٥١٠	٢٣,٩	١,٤٥٠	١,٧٢٠	١٨١	٣,٦٠
٦٥	١٢٠	٦٥٠	٢٠٠	١٢,٠	١٩,٢	٢٢	١٥٣	١٠١,٤٠٠	٣,١٢٠	٢٥,٨	١,٨٠٠	٢,١٧٠	٢١٧	٣,٧٧
٧٠	١٣٨	٧٠٠	٢١٠	١٣,٠	٢٠,٨	٢٤	١٧٦	١٣٤,٦٠٠	٣,٨٤٠	٢٧,٧	٢,٢٣٠	٢,٧٨٠	٢٦٠	٣,٩٤
٧٠ ا	١٥٨	٧٠٠	٢١٠	١٥,٠	٢٤,٠	٢٤	٢٠٢	١٥٢,٧٠٠	٤,٣٦٠	٢٧,٥	٢,٥٥٠	٣,٢٤٠	٣٠٩	٤,٠١
٧٠ ب	١٨٤	٧٠٠	٢١٠	١٧,٥	٢٨,٢	٢٤	٢٣٤	١٧٥,٣٧٠	٥,٠١٠	٢٧,٤	٢,٩٤٠	٣,٩١٠	٣٧٣	٤,٠٩

جدول ٤

المقاطع الفولاذية المدلفنة – عتبات على شكل مجرى (مأخوذة من GOST 8240-56)

الرموز المستخدمة :

h – ارتفاع المجرى
b – عرض الشفة
d – ثخن الوترة
t – متوسط ثخن الشفة
R – نصف قطر منحنى اتصال الوترة
I – عزم القصور الذاتي
W – معامل المقطع
r – نصف قطر الحركة التدويمية
S – العزم الاستاتيكي لنصف المقطع
z_0 – المسافة من المحور $y-y$ الى الحافة الخارجية للوترة



رقم المقطع	وزن المتر الطول	أبعاد المقطع					مساحة المقطع	القيم الدليلية للمحاور							
								$x-x$				$y-y$			
		h	b	d	t	R	A	I_x	W_x	r_x	S_x	I_y	W_y	r_y	z_0
	كجم	مم					سم٢	سم٤	سم٣	سم	سم٣	سم٤	سم٣	سم	سم
٥	٤,٨٤	٥٠	٣٢	٤,٤	٧,٠	٦	٦,١٦	٢٢,٨	٩,١٠	١,٩٢	٥,٥٩	٥,٦١	٢,٧٥	٠,٩٥٤	١,١٦
٦,٥	٥,٩٠	٦٥	٣٦	٤,٤	٧,٢	٦	٧,٥١	٤٨,٦	١٥,٠	٢,٥٤	٩,٠٠	٨,٧٠	٣,٦٨	١,٠٨	١,٢٤
٨	٧,٠٥	٨٠	٤٠	٤,٥	٧,٤	٦,٥	٨,٩٨	٨٩,٤	٢٢,٤	٣,١٦	١٣,٣	١٢,٨	٤,٧٥	١,١٩	١,٣١
١٠	٨,٥٩	١٠٠	٤٦	٤,٥	٧,٦	٧	١٠,٩	١٧٤	٣٤,٨	٣,٩٩	٢٠,٤	٢٠,٤	٦,٤٦	١,٣٧	١,٤٤
١٢	١٠,٤	١٢٠	٥٢	٤,٨	٧,٨	٧,٥	١٣,٣	٣٠٤	٥٠,٦	٤,٧٨	٢٩,٦	٣١,٢	٨,٥٢	١,٥٣	١,٥٤
١٤	١٢,٣	١٤٠	٥٨	٤,٩	٨,١	٨	١٥,٦	٤٩١	٧٠,٢	٥,٦٠	٤٠,٨	٤٥,٤	١١,٥	١,٧٠	١,٦٧
١٤أ	١٣,٣	١٤٠	٦٢	٤,٩	٨,٧	٨	١٧,٠	٥٤٥	٧٧,٨	٥,٦٦	٤٥,١	٥٧,٥	١٣,٣	١,٨٤	١,٨٧
١٦	١٤,٢	١٦٠	٦٤	٥,٠	٨,٤	٨,٥	١٨,١	٧٤٧	٩٣,٤	٦,٤٢	٥٤,١	٦٣,٣	١٣,٨	١,٨٧	١,٨٠
١٦أ	١٥,٣	١٦٠	٦٨	٥,٠	٩,٠	٨,٥	١٩,٥	٨٢٣	١٠٣	٦,٤٩	٥٩,٤	٧٨,٨	١٦,٤	٢,٠١	٢,٠٠
١٨	١٦,٣	١٨٠	٧٠	٥,١	٨,٧	٩	٢٠,٧	١,٠٩٠	١٢١	٧,٢٤	٦٨,٨	٨٦,٠	١٧,٠	٢,٠٤	١,٩٤
١٨أ	١٧,٤	١٨٠	٧٤	٥,١	٩,٣	٩	٢٢,٢	١,١٩٠	١٣٢	٧,٣٢	٧٦,١	١٠٥	٢٠,٧	٢,١٨	٢,١٣
٢٠	١٨,٤	٢٠٠	٧٦	٥,٢	٩,٠	٩,٥	٢٣,٤	١,٥٢٠	١٥٢	٨,٠٧	٨٧,٨	١١٣	٢٠,٥	٢,٢٠	٢,٠٧
٢٠أ	١٩,٨	٢٠٠	٨٠	٥,٢	٩,٧	٩,٥	٢٥,٢	١,٦٧٠	١٦٧	٨,١٥	٩٥,٩	١٣٩	٢٤,٢	٢,٣٥	٢,٢٨
٢٢	٢١,٠	٢٢٠	٨٢	٥,٤	٩,٥	١٠	٢٦,٧	٢,١١٠	١٩٢	٨,٨٩	١١٠	١٥١	٢٥,١	٢,٣٧	٢,٢١
٢٢أ	٢٢,٦	٢٢٠	٨٧	٥,٤	١٠,٢	١٠	٢٨,٨	٢,٣٣٠	٢١٢	٨,٩٩	١٢١	١٨٧	٣٠,٠	٢,٥٥	٢,٤٦
٢٤	٢٤,٠	٢٤٠	٩٠	٥,٦	١٠,٠	١٠,٥	٣٠,٦	٢,٩٠٠	٢٤٢	٩,٧٣	١٣٩	٢٠٨	٣١,٦	٢,٦٠	٢,٤٢
٢٤أ	٢٥,٨	٢٤٠	٩٥	٥,٦	١٠,٧	١٠,٥	٣٢,٩	٣,١٨٠	٢٦٥	٩,٨٤	١٥١	٢٥٤	٣٧,٢	٢,٧٨	٢,٦٧
٢٧	٢٧,٧	٢٧٠	٩٥	٦,٠	١٠,٥	١١	٣٥,٢	٤,١٦٠	٣٠٨	١٠,٩	١٧٨	٢٦٢	٣٧,٣	٢,٧٣	٢,٤٧
٣٠	٣١,٨	٣٠٠	١٠٠	٦,٥	١١,٠	١٢	٤٠,٥	٥,٨١٠	٣٨٧	١٢,٠	٢٢٤	٣٢٧	٤٣,٦	٢,٨٤	٢,٥٢
٣٣	٣٦,٥	٣٣٠	١٠٥	٧,٠	١١,٧	١٣	٤٦,٥	٧,٩٨٠	٤٨٤	١٣,١	٢٨١	٤١٠	٥١,٨	٢,٩٧	٢,٥٩
٣٦	٤١,٩	٣٦٠	١١٠	٧,٥	١٢,٦	١٤	٥٣,٤	١٠,٨٢٠	٦٠١	١٤,٢	٣٥٠	٥١٣	٦١,٧	٣,١٠	٢,٦٨
٤٠	٤٨,٣	٤٠٠	١١٥	٨,٠	١٣,٥	١٥	٦١,٥	١٥,٢٢٠	٧٦١	١٥,٧	٤٤٤	٦٤٢	٧٣,٤	٣,٢٣	٢,٧٥

٢ـ معطيات حول ترتيب خطوط قياس البرشام على المقاطع المدلفنة

جدول ٥

ترتيب خطوط القياس على الزوايا المعدلية

الزوايا ذات الصف الواحد من البرشام				الزوايا ذات الصفين من البرشام ، مع ترتيب ثقوب البرشام بصورة مستقيمة او متعرجة				
b	e_1	z_0	d	b	e_1	e_2	z_0	d
(مم)				(مم)				
٤٥	٢٥	١٥	١٤	١٢٥	٥٠	٤٠	٤٠	٢٣-٢٠
٥٠ و ٥٦	٣٠	١٥	١٧	١٤٠	٥٠	٥٠	٤٠	٢٦-٢٠
٦٣	٣٥	٢٠	٢٠-١٧	١٦٠	٦٠	٦٠	٤٥	٢٦-٢٣
٧٠	٤٠	٢٠	٢٠	١٨٠	٧٠	٧٠	٥٠	٢٦-٢٣
٧٥	٤٥	٢٥	٢٣-٢٠	٢٠٠	٨٠	٨٠	٦٠	٢٦-٢٣
٨٠	٤٥	٢٥	٢٣-٢٠	٢٢٠	٨٠	٨٠	٧٠	٢٦-٢٣
٩٠	٥٠	٣٠	٢٣-٢٠	٢٥٠	٨٠	٨٠	٨٠	٢٦-٢٣
١٠٠	٥٥	٣٠	٢٣-٢٠					
١١٠	٦٠	٣٥	٢٣-٢٠					

الرموز :

b – عرض ساق الزاوية ؛

e_1 – المسافة بين خط القياس وظهر الزاوية (شكل ٥ – ٤ و ٥ – ٥) ؛

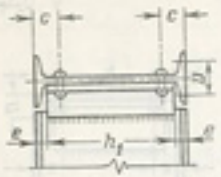
e_2 – الخطوة المستعرضة ، عند الترتيبين المتعرج والمستقيم للثقوب ؛

z_0 – المسافة بين ظهر الزاوية وخط القياس ، المستخدم لمركزة قطع الجسالونات الملحومة (شكل ٧ – ٢١ ، ح) ؛

d – قطر ثقب البرشامة ، الذي ينصح باستخدامه .

جدول ٦

ترتيب خطوط قياس البرشام على المقاطع شكل I



رقم المقطع	الشفة		d_{max}	الوترة			
	a	t		e	h_1	c	d
	مم						
١٠	٣٢	٧,٢	١٠	١٥	٧٠	٣٦	١٤
١٢	٣٨	٧,٣	١٢	١٦	٨٨	٣٧	١٤
١٤	٤٤	٧,٥	١٢	١٧	١٠٧	٤٢	١٧
١٦	٤٨	٧,٧	١٤	١٨	١٢٤	٤٨	٢٠
١٨	٥٠	٨	١٤	١٩	١٤٢	٥٠	٢٠
١٨ أ	٥٤	٨,٢	١٧	١٩	١٤٢	٥٠	٢٠
٢٠	٥٤	٨,٢	١٧	٢٠	١٦١	٥٠	٢٠
٢٠ أ	٥٨	٨,٣	١٧	٢٠	١٦٠	٥٠	٢٠
٢٢	٥٨	٨,٦	١٧	٢١	١٧٨	٥٥	٢٣
٢٢ أ	٦٢	٨,٨	١٧	٢١	١٧٨	٥٥	٢٣
٢٤	٦٠	٩,٥	٢٠	٢٢	١٩٦	٥٨	٢٣
٢٤ أ	٦٦	٩,٨	٢٠	٢٣	١٩٤	٥٨	٢٣
٢٧	٦٦	٩,٨	٢٠	٢٤	٢٢٣	٥٨	٢٣
٢٧ أ	٧٢	١٠,٢	٢٠	٢٤	٢٢٢	٥٨	٢٣
٣٠	٧٢	١٠,٢	٢٠	٢٥	٢٥٠	٦٠	٢٣
٣٠ أ	٧٠	١٠,٧	٢٣	٢٥	٢٥٠	٦٠	٢٣
٣٣	٧٤	١١,٢	٢٣	٢٧	٢٧٦	٦٢	٢٣
٣٦	٧٦	١٢,٣	٢٣	٢٩	٣٠٢	٦٤	٢٣
٤٠	٨٢	١٣	٢٣	٣١	٣٣٨	٦٦	٢٣
٤٥	٨٦	١٤,٢	٢٣	٣٣	٣٨٤	٦٨	٢٣
٥٠	٩٠	١٥,٢	٢٦	٣٥	٤٣٠	٧٠	٢٣
٥٥	٩٦	١٦,٥	٢٦	٣٨	٤٧٤	٧٣	٢٣
٦٠	١٠٠	١٧,٨	٢٩	٤١	٥١٨	٧٦	٢٣
٦٥	١٠٦	١٩,٢	٢٩	٤٥	٥٦٠	٨٠	٢٣
٧٠	١١٢	٢٠,٨	٢٩	٤٨	٦٠٤	٨٣	٢٣
٧٠ أ	١١٤	٢٤	٢٩	٥١	٥٩٨	٨٦	٢٣
٧٠ ب	١١٤	٢٨,٢	٢٩	٥٥	٥٩٠	٩٠	٢٣

الرموز :

e – المسافة من الشفة الى بداية منحنى اتصال الوترة، $c = e + 1.5\ d$ ؛

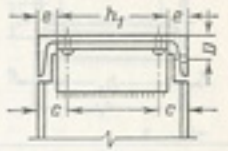
t – لحن الشفة عند خط القياس ؛

d_{max} – القطر الأكبر للثقوب ؛

d – القطر الذي ينصح باستخدامه للثقوب .

جدول ٧

ترتيب خطوط قياس البرشام على المجارى



رقم المقطع	الشفة			الوترة				
	a	t	d_{max}	e	h_1	c	c_1	d
	مم							
٥	٢٠	٧,٠	١٠	١٤	٢٢	—	—	—
٦,٥	٢٥	٧,٤	١٢	١٥	٣٥	—	—	—
٨	٢٥	٧,٤	١٤	١٦	٤٨	—	٢٥	١٢
١٠	٣٠	٧,٥	١٤	١٧	٦٦	٣٥	٢٦	١٢
١٢	٣٠	٧,٧	١٧	١٧	٨٦	٣٨	٢٩	١٤
١٤	٣٥	٨	١٧	١٨	١٠٤	٤٤	٣٣	١٧
١٤ †	٣٥	٨,٥	١٧	١٩	١٠٢	٤٤	٣٤	١٧
١٦	٣٥	٨,٣	٢٠	١٩	١٢٢	٥٠	٣٦	٢٠
١٦ †	٣٥	٨,٨	٢٠	٢٠	١٢٠	٥٠	٣٧	٢٠
١٨	٤٠	٨,٧	٢٠	٢١	١٣٨	٥٠	٣٨	٢٠
١٨ †	٤٠	٩,٢	٢٠	٢١	١٣٨	٥٠	٣٨	٢٠
٢٠	٥٠	٩,٠	٢٣	٢٢	١٥٦	٥٢	٣٩	٢٠
٢٠ †	٥٠	٩,٦	٢٣	٢٢	١٥٦	٥٢	٣٩	٢٠
٢٢	٥٠	٩,٦	٢٣	٢٣	١٧٤	٥٤	٤٠	٢٠
٢٢ †	٥٠	١٠,٢	٢٣	٢٤	١٧٢	٥٤	٤١	٢٠
٢٤	٥٠	١٠,٠	٢٦	٢٤	١٩٢	٦٠	٤٤	٢٣
٢٤ †	٥٠	١٠,٧	٢٦	٢٥	١٩٠	٦٠	٤٥	٢٣
٢٧	٦٠	١٠,٥	٢٦	٢٥	٢٢٠	٦٠	٤٥	٢٣
٣٠	٦٠	١١,٠	٢٩	٢٧	٢٤٦	٦٢	٤٧	٢٣
٣٣	٦٠	١١,٧	٢٩	٢٩	٢٧٢	٦٥	٤٩	٢٣
٣٦	٦٠	١٢,٦	٢٩	٣١	٢٩٨	٦٦	٥١	٢٣
٤٠	٦٠	١٣,٥	٢٩	٣٣	٣٥٤	٦٦	٣٥	٢٣

الرموز :

e – المسافة من الشفة الى بداية منحنى اتصال الوترة ; $c_1 = e + 0.5\ D$; $c = e + 1.5\ d$;

t – ثخن الشفة عند خط القياس ؛

d_{max} – القطر الاكبر للثقوب ؛

d – القطر الذى ينصح باستخدامه للثقوب ؛

D – قطر رأس البرشامة .

المحتويات

الصفحة

مقدمة ٥

الفصل الاول . مبادئ التصميم ، ٧

البند الاول – مجال استخدام القطع الانشائية المعدنية وبيان اسمائها ٧
البند الثانى – محاسن وعيوب القطع الانشائية المعدنية ٩
البند الثالث – نبذة تاريخية مختصرة ١١
البند الرابع – الشروط التى يجب توفرها فى القطع الانشائية المعدنية ومكنة وآلمة صناعتها ... ١٣
البند الخامس – طرق حساب (تصميم) القطع الانشائية المعدنية ١٤
البند السادس – الاحمال ٢١

الفصل الثانى . المواد وطبيعة سلوكها فى القطع الانشائية ٢٣

البند السابع – المواد المستخدمة فى القطع الانشائية المعدنية ٢٣
البند الثامن – الخواص الميكانيكية الرئيسية للفولاذ . سلوك الفولاذ عند تعرضه للشد . قصافة الفولاذ ٢٧
البند التاسع – الخواص الميكانيكية الاساسية للسبائك الالومنيومية ٤١
البند العاشر – سلوك المادة عند تعرضها للانضغاط . مسألة الاستقرار ٤٢
البند الحادى عشر – سلوك المادة عند الانحناء والالتواء ٤٧
البند الثانى عشر – سلوك المادة عند تعرضها للشد والانضغاط اللامركزيين (اللامحوريين) ٥٤
البند الثالث عشر – المقاومات التصميمية والاجهادات المسموح بها ٦٢

الفصل الثالث . التصنيف القياسى للمقاطع المدلفنة ٧٠

البند الرابع عشر – المقاطع الاساسية واستخدامها ٧١
البند الخامس عشر – المقاطع المختلفة المستخدمة فى البناء ٧٤
البند السادس عشر – المقاطع المصنوعة من السبائك الالومنيومية ٨٦

الفصل الرابع . الوصلات الملحومة ٧٨

البند السابع عشر – انواع اللحام وخواصه العامة ٧٨
البند الثامن عشر – المقاومات التصميمية للدرزات الملحومة (اللحامات) ٨٨

البند التاسع عشر – انواع الوصلات الملحومة وتصميمها تبعا لتأثير القوى المحورية ٨٩
البند العشرون – حساب طاقة او احتمال الوصلات الملحومة ١٠٢
البند الحادى والعشرون – الاجهادات الداخلية وظاهرة الانكماش اثناء اللحام ١٠٣
البند الثانى والعشرون – حجم العمل اللازم لانتاج القطع الانشائية الملحومة ١٠٦

الفصل الخامس . **الوصلات المبرشمة والوصلات المربوطة بالمسامير** ١٠٩

البند الثالث والعشرون – سلوك الوصلات المبرشمة ١٠٩
البند الرابع والعشرون – حساب وتصميم الوصلات المبرشمة ١١٢
البند الخامس والعشرون – الوصلات المربوطة بالمسامير ١٢٣

الفصل السادس . **العتبات** ١٣٢

البند السادس والعشرون – الخصائص العامة للعتبات . الشبيكة العتبية ١٣٢
البند السابع والعشرون – العتبات الفولاذية المدلفنة ١٣٩
البند الثامن والعشرون – العتبات الفولاذية المجمعة ١٤٨
البند التاسع والعشرون – الاستقرار العام والاستقرار الموضعى للعتبات الفولاذية ١٦٨
البند الثلاثون – وصلات (قطع توصيل) العتبات ١٧٩
البند الحادى والثلاثون – عوارض الوتش ١٨٨
البند الثانى والثلاثون – العتبات المصنوعة من السبائك الالومنيومية ٢١٩
البند الثالث والثلاثون – العتبات السابقة الاجهاد ٢٢٤

الفصل السابع . **الجمالونات** ٢٣٨

البند الرابع والثلاثون – الجمالونات السقفية ٢٣٨
البند الخامس والثلاثون – انواع الجمالونات . تحديد الابعاد العامة . المسافة بين الجمالونات . . . ٢٤٨
البند السادس والثلاثون – حساب وتصميم الجمالونات ٢٥٢
البند السابع والثلاثون – اختيار مقاطع قطع الجمالونات ٢٥٤
البند الثامن والثلاثون – تصميم الجمالونات . اجزاء الوصلات ٢٦٦

الفصل الثامن . **الاعمدة** ٢٧٤

البند التاسع والثلاثون – انواع الاعمدة ٢٧٤
البند الاربعون – الاعمدة المركزية التحميل ٢٧٤
البند الحادى والاربعون – الاعمدة اللامركزية التحميل ٢٩٢
البند الثانى والاربعون – الوصلات والاجزاء التركيبية للاعمدة ٣١٧
البند الثالث والاربعون – قواعد الاعمدة ٣٢١

الفصل التاسع . **الهياكل الفولاذية للمبانى الصناعية** ٣٣٦

البند الرابع والاربعون – معلومات عامة عن الهياكل الفولاذية للمبانى الصناعية ٣٣٦
البند الخامس والاربعون – تخطيط شبكة الاعمدة ٣٤٠
البند السادس والاربعون – الاطر الجانبية ٣٤٢

البند السابع والاربعون – خصائص حساب الاطر الجانبية ٣٥٥
البند الثامن والاربعون – تصاميم المنابر والهيكل الجدارى ٣٦٩

الفصل العاشر . **القطع الانشائية الخاصة** ٣٧٨

البند التاسع والاربعون – الجمالونات الثقيلة للسقوف الواسعة الابواع ٣٧٨
البند الخمسون – السقوف العقدية والسقوف المقببة والسقوف المعلقة ٣٨٣
البند الحادى والخمسون – الابراج والصوارى ٤٠٦

الفصل الحادى عشر . **الانشاءآت القشرية الفولاذية** ٤١٦

البند الثانى والخمسون – معلومات عامة ٤١٦
البند الثالث والخمسون – نظرية حساب الانشاءآت القشرية الدورانية ٤١٧
البند الرابع والخمسون – مستودعات الغاز ٤٢١
البند الخامس والخمسون – خزانات السوائل ٤٢٧
البند السادس والخمسون – الصوامع ٤٣٧

الملحق الاول ٤٤٠

الملحق الثانى ٤٤٤

١ – معطيات لحساب القطع المركزية (المحورية) التحميل ٤٤٤
٢ – معطيات لمراجعة استقرار العتبات ٤٤٦
٣ – معطيات لحساب القطع اللامركزية التحميل (الانضغاط) ٤٥٠
٤ – معطيات لتحديد الاطوال الفعالة للاعمدة المدرجة ٤٥٥

الملحق الثالث ٤٥٨

١ – المقاطع الفولاذية المدلفنة القياسية ٤٥٨
٢ – معطيات حول ترتيب خطوط قياس البرشام على المقاطع المدلفنة ٤٧٠