كلية هندسة العمارة – جامعة المنارة

إعداد

أ.د. بسام حويجة

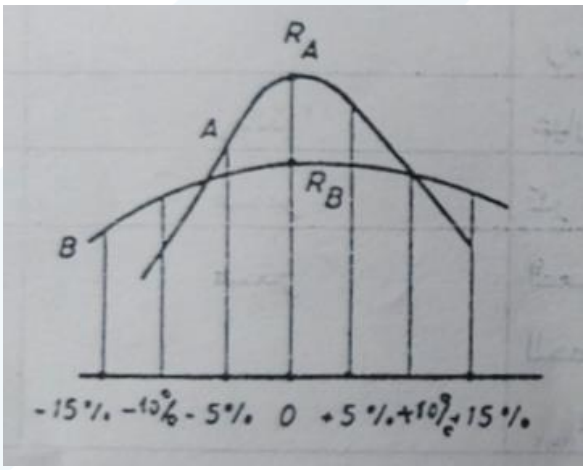
5- البيتون المتصلب - التلاحم والتثبيت والإرساء في البيتون المسلح

5-1- دراسة احصائية لتحديد المقاومة المميزة للبيتون

مفاهيم أساسية:

أ- حساسية التركيب الحبي في الخلطة البيتونية:

نقول عن بيتون ما أنه حساس إذا سبب الخطأ الصغير نسبياً في تركيبه وفي صبه هبوطاً كبيراً في مقاومته. مثلاً، نفرض أنه لدينا تركيبين حبيين مختلفين A و B (الشكل (5-1))، لنحمل على التراتيب المقاومة المثلى R_A للتركيب الحبي A و المقاومة المثلى R_B للتركيب الحبي B. ولنحمل على محور الفواصل الأخطاء التي يمكن أن تحدث في كمية الرمل مثلاً ±15% ... وقبالة كل من هذه الأخطاء قيمة المقاومة التي توافق كل منها.



الشكل (5-1): حساسية التركيب الحبي للبيتون

إذا توفر في الورشة جهاز تنفيذ وآليات ووسائل تكفل بأن يبقى الخطأ دوماً أقل من 5%، يكون التركيب الحبي A بالتأكيد أفضل من التركيب B. وأما إذا كان الخطأ يصل إلى 10%و 15% ، يصبح خطر هبوط المقاومة في التركيب A كبيراً. وبما أن

المقاومة الأصغرية هي التي تحكم شروط توازن المنشآت، يكون من الأفضل في هذه الحالة الأخيرة أن نعتمد التركيب الحبي B على الرغم من أن R_B تكون أصغر من R_A.

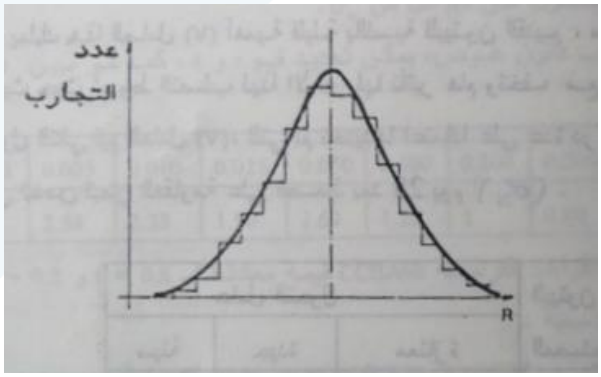
في هذه الشروط نقول أن التركيب الحبي A هو أكثر حساسية من التركيب B . في الواقع، يوافق المنحني A التركيب الحبي المنقطع والمنحني B التركيب الحبي المستمر.

ب- تمييز نوعية البيتون (جودة البيتون) – المقاومة المميزة للبيتون:

تتغير مقاومة البيتون على الضغط تبعاً لعدة عوامل أهمها: عيار الاسمنت، عمر البيتون، التركيب الحبي، نوع الحصويات، كمية ماء الجبل، وتأثير الوسط المحيط (ظروف التصلب – تقلبات حرارية – أوساط هدامة....).

عند تصمي منشأة بيتونية ما، يحتاج المهندس إلى معرفة مواصفات المواد الانشائية المستخدمة في الانشاء. وفيما يخص البيتون، يتوجب على المصمم الاختيار المسبق لمقاومة البيتون على الضغط بعد 28 يوم التي سيتم تنفيذها لاحقاً، ومن ثم يجب على الورشة تحقيق هذه المقاومة المفترضة.

في الحقيقة، لا يكفي مفهوم المقاومة الأصغرية المضمونة للبيتون لتميز تجانسه وظروف صنعه. لنفترض أن لدينا عدداً كافياً من نتائج التجارب، وإذا حملنا على محور التراتيب عدد التجارب التي توافق مجالاً متزايداً من المقاومة، نحصل على المخطط الممثل بالشكل (5-2)، والذي يبين أن المقاومات تتوزع وفق قانون غوص بصورة ملحوظة. ومن هنا تأتي أهمية اعتماد المقاومة المميزة للبيتون التي ترتبط بالمقاومة المتوسطة لمجموع العينات المختبرة وبعض العوامل الأخرى التي سنذكرها لاحقاً.



الشكل (5-2)

ت- الانحراف المعياري s – عامل التحول V:

إن المتوسط الحسابي لمجموع المقاومات بعد عمر معين، مثلا 28 يوم، لبيتون ورشة ما يعطي فكرة عن المقاومة المحتملة للمنشأة. وهذا الأمر غير كاف، فعلى سبيل المثال: نلاحظ بأن الحصول على مقاومة متوسطة معادلة لـ $f'_{cm} = 35MPa$ ، مع قيم تتراوح بين $32MPa \& 38MPa$ هو أفضل من مقاومة متوسطة مساوية $f'_{cm} = 36MPa$ مع تحول أوسع للقيم من $26MPa \& 46MPa$. من هنا تأتي الحاجة لمعرفة عامل التحول (V) والمحسوب انطلاقاً من الانحراف المعياري (s) كتابع للتبعثر.

إذا كان لدينا عدد (n) من التجارب أعطى كل منها مقاومة (f'_{ci}) ، يكون المتوسط الحسابي مساوي لـ:

$$f'_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^{n} f'_{ci}}{n}$$

ويحسب عامل الانحراف المعياري كما يلي:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f'_{ci} - f'_{cm})^2}{n-1}}$$

ويكون عامل التحول:

$$V = 100\frac{s}{f'_{cm}}(\%)$$

يملك عامل التحول أهمية قليلة بالنسبة للبيتون القديم، مقارنة بالبيتون الحديث حيث شروط التصلب لهذا الأخير لها تأثير مهم وتخف مع الزمن. يعطي الجدول (5-1) قيم العامل (V) التي تم تحديدها اعتماداً على عدة دراسات احصائية، والتي تخص تبعثر المقاومة على الضغط بعد 28 يوم.

مكان تصنيع البيتون	عامل التحول (V)		
	ممتازة	جيدة	سيئة
في المخبر	$\leq 8\%$	$\leq 12\%$	$> 15\%$
في المجبل المركزي	$\leq 10\%$	$\leq 15\%$	$> 20\%$
في الورشة	$\leq 15\%$	$\leq 20\%$	$> 25\%$

الجدول (5-1): عامل التحول كتابع لمكان تصنيع البيتون

ث- **المقاومة المميزة (الاسمية)** (f'_{c28}):

تبين ظاهرة التبعثر لقيم مقاومات البيتون بأن المقاومة المتوسطة لسلسلة قياسات ليست معيار كاف للمقاومة، وإنه يجب أن نأخذ بالحسبان لهذه الظاهرة (التبعثر) عن طريق الانحراف المعياري الذي يعب جيداً عن ظاهرة التبعثر ويسمح بإدخال مفهوم احتمال الخطر:

- إذا كانت المقاومة المتوسطة (f'_{cm}) لسلسة قياسات فإن هناك عامل احتمال الخطر مساوي لـ 50%، من أجل قيمة أقل من (f'_{cm}).
- وإذا كانت المقاومة المعتبرة (f'_{c28}) ذات قيمة أقل من (f'_{cm})، يقل هذا الخطر وفق العلاقة التالية:

$$f'_{c28} = f'_{cm} - t.s$$

حيث أن العامل (t) يتعلق بالخطر المقبول (r).

نلاحظ بأنه كلما كان العامل (t) المطبق على الانحراف المعياري هام كلما قل الخطر بالحصول على قيم أقل من (f'_{c28}).

ونشير هنا إلى أن الكودات الوطنية تعطي قيمة هذا العامل الواجب اعتمادها.

وحسب قانون غوص، يمكن تحديد قيم $(r \ \& \ t)$، كما هو مبين في الجدول (5-2).

r =	0.001	0.005	0.010	0.025	0.050	0.100	0.160	0.200	0.5
t =	3.09	2.58	2.33	1.96	1.64	1.28	1	0.80	0

الجدول (5-2): العامل (t) كتابع للخطر المقبول (r)

نشير إلى أن القواعد الفرنسية كانت تسمح لـ 20% من العينات أن تنخفض مقاوماتها عن (f'_{c28}) على ألا يزيد مقدار الهبوط عن 15%. بالتالي يتم حساب المقاومة المميزة كما يلي:

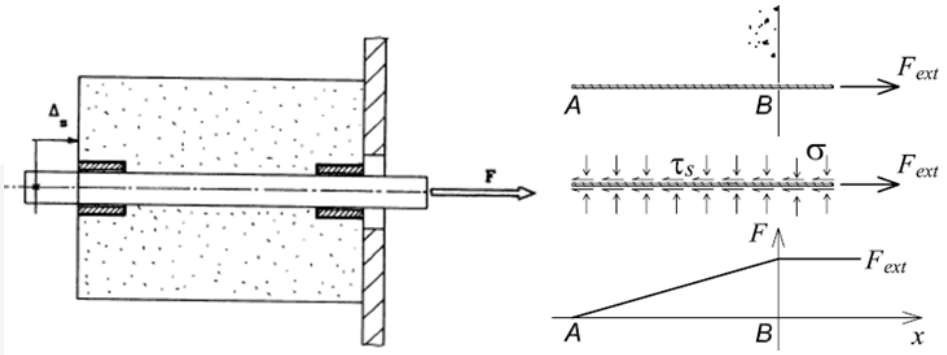
$$f'_{c28} = f'_{cm} - 0.8s$$

5-2- مفهوم التلاحم بين البيتون والتسليح

يعرف التلاحم بأنه فعل قوى الارتباط التي تعاكس انزلاق قضبان التسليح وفق محورها الطولاني بالنسبة للبيتون الذي يغلفها بصورة ملائمة. وتبقى ظاهرة التلاحم قائمة بين الفولاذ والبيتون بالرغم من حدوث الانتقالات النسبية بينهما التي يمكن أن تزيد في بعض الحالات عن عشر الميليمتر. في الواقع إن هذه الظاهرة هي التي سمحت بتنفيذ البيتون المسلح حيث بفضلها تستطيع الجهود أن تنتقل من الفولاذ إلى البيتون أو بالعكس: في القطع المضغوطة يسوق البيتون الخاضع

للتقاصر القضبان معه وتصبح بدورها مضغوطة أيضا، وفي العناصر المنعطفة لا يحصل انزلاق لقضبان التسليح داخل غمدها البيتوني.

وتعود ظاهرة التلاحم هذه إلى عدم استواء سطوح القضبان، مما يؤدي إلى تغلغل البيتون المصبوب في التجاويف المجهرية على سطوح تلك القضبان. وينجم عن ذلك أنه عند محاولة قلع قضيب فولاذي من كتلة البيتون المتصلب تتولد قوى مماسية في البيتون المحيط بالفولاذ مانعة هذا القضيب من الانزلاق (ظاهرة احتكاك)، كما هو مبين في الشكل (5-3).



الشكل (5-3): تجربة القلع الكلاسيكية وظاهرة التلاحم (تشكل اجهادات التلاحم المماسية)

ويمكن تلخيص دور التلاحم كما يلي:

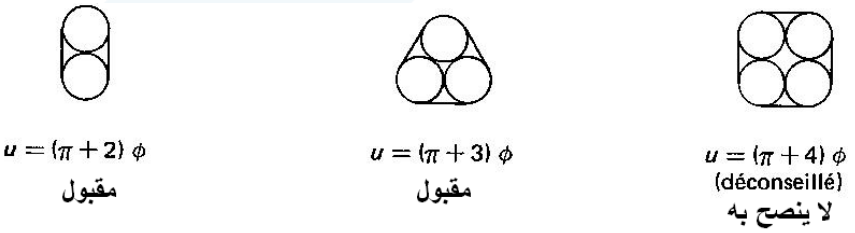
أ. التلاحم يمنع أو يحد من الانزلاق بين الفولاذ والبيتون: تأمين التوازن لقضبان التسليح المعرضة لجهود شد غير منتظمة (عزم متغير)، وهذا ما يسمى "التلاحم بالتساوق أو بالانسحاب". وكذلك تأمين التثبيت أو الإرساء لنهايات قضبان التسليح.

ب. الحد من التشققات.

يمكن تلخيص العوامل المؤثرة على التلاحم وفق النحو التالي:

- يزداد التلاحم كلما ازدادت خشونة سطوح قضبان التسليح.
- يزداد التلاحم بازدياد مقاومة البيتون على الضغط ومع عمره.
- يكون التلاحم ضعيفا عندما تقل قابلية التشغيل.
- يؤثر الصب الجيد باستخدام رج مناسب بشكل إيجابي على ظاهرة التلاحم.
- لا يؤثر قطر القضبان على التلاحم.

- زيادة سماكة التغطية ليس لها فعل إيجابي على ظاهرة التلاحم، ولكن بالمقابل تزيد الأمان إزاء التشقق الطولي.
- يزيد التسليح العرضاني لغمد التغطية الأمان إزاء التشققات ولكن يؤثر قليلا على التلاحم.
- لا يوجد مشكلة عند وصل القضبان شاقوليا بشكل متلامس (تراكب)، بشرط أن يكون بيتون تغليفهما مرجوجا بشكل مناسب.
- ينقص التلاحم مع فترة تطبيق الجهود وكذلك مع تكرارها، وهذا ما يحدث بالنسبة للقضبان الدائرية الملساء أكثر من القضبان كبيرة التلاحم.
- تبدي القضبان المحلزنة أو الحاوية على نتوءات وتجاويف فعالية أكبر من القضبان الملساء إزاء التلاحم مع البيتون بحوالي 50% خارج منطقة الإرساء.
- شكل القضيب إذا كان مستقيماً أو معكوفاً: أثبتت التجارب أن التثبيت المنحني باستخدام عكفات نظامية هو أكثر فعالية نتيجة استناده بالضغط على البيتون ضمن مجال انحناء العكفة، ويصغر طول التثبيت اللازم بمقدار 40% للقضبان المستديرة الملساء وحوالي 60% للقضبان كبيرة التلاحم.
- كذلك أثبتت التجارب المخبرية أن مقاومة التلاحم للقضبان المضغوطة أكبر منها للقضبان المشدودة (حوالي 40%)، ويعود ذلك لزيادة الاحتكاك بين القضيب والغمد البيتوني وإلى ما تقدمه مقاومة الضغط في نهاية القضيب المغموس.
- أخيراً، نشير إلى أن أثر حزمة من القضبان على ظاهرة التلاحم لا يساوي مجموع آثار القضبان بشكل منعزل، حيث تنقص درجة تغليف هذه القضبان بالبيتون عندما تكون متوضعة على شكل حزم، ويمكن اعتماد المحيط المفيد للحزمة وفقاً للشكل (5-4).

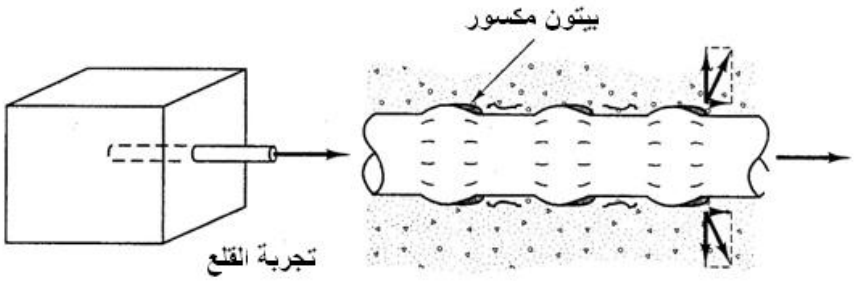


الشكل (5-4): المحيط المفيد للحزمة

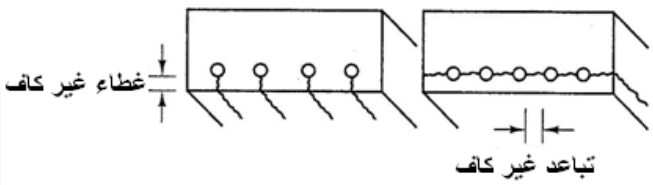
من خلال ما تقدم يمكن القول بأن التلاحم هو الخاصة المميزة التي تؤمن تناقل الاجهادات ما بين مادتي البيتون والفولاذ تلقائياً. لذا وجب تصميم المقاطع وقضبان فولاذ التسليح بطريقة تؤمن تماسكاً متواصلاً لهاتين المادتين، وعدم انفصال الواحدة عن الأخرى في أي مكان لحين بلوغ العنصر المدروس حالات الحدود المصمم عليها.

ينجم عن تحميل العناصر الإنشائية قوى داخلية في مقاطعها المختلفة، على شكل قوى شد أو ضغط، هذه القوى الداخلية تشكل في كل مقطع من كل قضيب تسليح قوة فاعلة تعمل على كسر طوق غلاف البيتون من حوله وعلى طوله (الغمد البيتوني)، مسببة الإفلات أو الانفصال، كما هو موضح في الشكل (5-5).

في الواقع، ينجم عن شد قضبان التسليح اجهادات قطرية (شعاعيه) حول أو في المنطقة المحيطة بالقضبان، يمكن أن تسبب دفع أو طرد طبقة الغطاء البيتوني، إضافة لمفعول التضايق الحاصل في قضبان التسليح المشدودة (فعل بواسون) الذي يسبب تكسير التماسك الموجود بين هذه القضبان والبيتون أو تحطيمه، بالتالي فقدان ظاهرة التلاحم. إن الاجهادات القطرية المذكورة أعلاه تحدد السماكات الدنيا لطبقات التغطية في العناصر البيتونية المسلحة، وكذلك التباعدات بين القضبان كما هو مبين في الشكل (5-6).

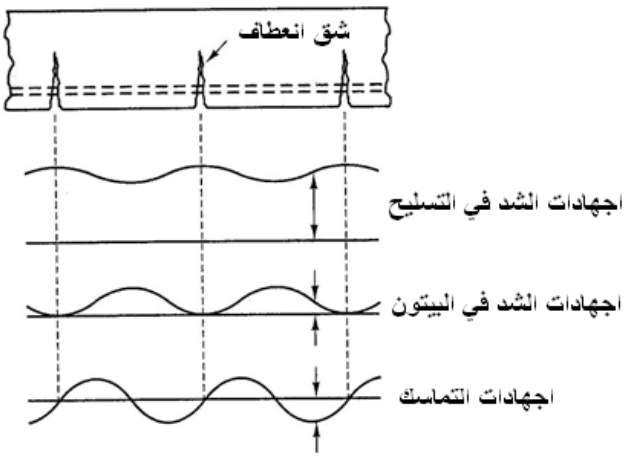


الشكل (5-5): تجربة القلع - كسر طوق غلاف البيتون



الشكل (5-6): تشقق وانفلاق الغمد البيتوني بسبب اجهادات التلاحم

ويوضح الشكل (5-7) توزع وتغيرات اجهادات التلاحم والشد في التسليح وفي البيتون لحالة عنصر متشقق نتيجة التحميل بالانعطاف.



الشكل (5-7): توزع الاجهادات في التسليح والبيتون وتغير اجهادات التلاحم

ونعود لنذكر القارئ بأهم العوامل التي تؤثر على مقاومة التلاحم (المقاومة ضد انهيار التلاحم):

- نوعية قضبان التسليح، محلزنة عالية التلاحم أو ملساء.
- شكل القضيب، سواء أكان مستقيماً أم معكوفاً.
- موقع التسليح الطولي بالنسبة لسماكة البيتون من حوله.
- نوعية البيتون ومقاومته المميزة.
- التسليح العرضي ونسبته.

ونشير إلى أنه غالباً ما يكون الانهيار الناجم عن ضعف التلاحم، فجائياً وهشاً، بالتالي يجب تجنبه.

تحدد هذه العوامل مجتمعة، أطوال التثبيت والإرساء لقضبان التسليح في البيتون، كما سنرى لاحقاً. وعندما يتم تأمين هذه الأطوال، يمكن القول بأن متطلبات عدم الانفصال، والتلاحم الجيد بين مادتي البيتون والفولاذ قد تأمنت بشكل عام. في الواقع، إن التلاحم الجيد بين البيتون والفولاذ يقود إلى فرضية تساوي التشوهات في هاتين المادتين.

نعرض في الفقرات القادمة أطوال التثبيت المستقيمة أو المنحنية (الأصغرية)، الواجب تأمينها في العناصر البيتونية المسلحة، وذلك وفقاً لتوصيات الكود السوري.

5-3- طول التثبيت الأساسي في حالة الشد (المستقيم) L_{db}

تعتمد المعادلات التالية في حساب الأطوال الأساسية للتثبيت المستقيم، التي تنتشر فيها قوى التلاحم على محيط القضيب.

مع الإشارة إلى أن الواحدات المستخدمة هي واحدات النظام الدولي: $(mm\,;\,MPa\,;\,...)$

أ- القضبان كبيرة التلاحم (محلزنة): قطر القضيب المستعمل لا يزيد عن $\phi 35mm$.

$$L_{db}=\max\begin{cases}-\ 0.016\dfrac{f_y}{\sqrt{f'_c}}\phi^2\\ -\ 0.075\phi\, f_y\\ -\ 300mm\end{cases}$$

ب- القضبان الملساء: قطر القضيب المستعمل لا يزيد عن $\phi 25mm$ ، مع تنفيذ عكفة عند الطرف.

$$L_{db}=\max\begin{cases}-\ 0.79\dfrac{f_y}{\sqrt{f'_c}}\phi\\ -\ 0.15\phi\, f_y\\ -\ 300mm\end{cases}$$

4-5- طول التثبيت في حالة الشد (المستقيم) L_d

$$L_d=f(L_{db})$$

تعتمد المعادلات المذكور أعلاه الخاصة بطول التثبيت الأساسي (قضبان محلزنة أو ملساء)، بعد التعديل من خلال ضربها بواحد أو أكثر من العوامل المبينة في الجدول (3-5). هذه العوامل ترتبط بنوعية قضيب التسليح، ومكان استعماله.

نوعية قضيب التسليح ومكان استعماله	المعامل
قضيب علوي (يزيد سمك الخرسانة تحته على 300mm)	1.40
كل قضيب من رزمة مؤلفة من قضيبين	1.2
كل قضيب من رزمة مؤلفة من ثلاثة قضبان	1.40
أسياخ تزيد مساحة مقطعها على متطلبات العزم الحالي (المنعطف)	1.1 × مساحة قطاع التسليح اللازم / مساحة قطاع التسليح الفعلي
كل قضيب خلاف ذلك	1.00

الجدول (3-5): عوامل تعديل طول التثبيت الأساسي المستقيم

5-5- طول التثبيت الأساسي في حالة الضغط (مستقيم فقط) L'_{db}

تعتمد المعادلات التالية في حساب الأطوال الأساسية للتثبيت المستقيم فقط، التي تنتشر فيها قوى التلاحم على محيط القضيب. ولا تشكل حزماً للقضبان المضغوطة، وأيضاً يطلب تجنب العكفات. مع الإشارة إلى أن الواحدات المستخدمة هي واحدات النظام الدولي: $(mm\,;\,MPa\,;\,...)$

ت- القضبان كبيرة التلاحم (محلزنة):

$$L'_{db} = \max\begin{cases} - & 0.253\dfrac{f_y}{\sqrt{f'_c}}\phi \\ - & 0.05\phi\, f_y \end{cases}$$

ث- القضبان الملساء:

$$L'_{db} = \frac{2}{3}L_{db}$$

حيث L_{db} تمثل طول التثبيت الأساسي المستقيم في حالة الشد للقضبان الملساء.

5-6- طول التثبيت في حالة الضغط (مستقيم فقط) L'_d

$$L'_d = f\left(L'_{db}\right)$$

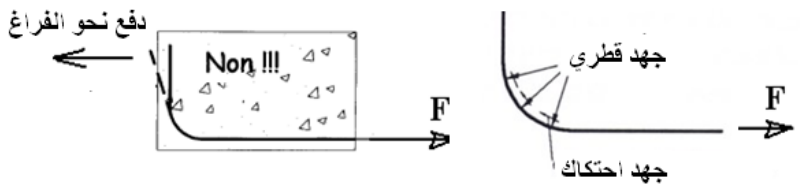
تعتمد المعادلات الخاصة بطول التثبيت الأساسي في حالة الضغط المذكورة أعلاه (قضبان محلزنة أو ملساء)، بعد التعديل من خلال ضربها بواحد أو أكثر من العوامل المبينة في الجدول السابق. مع الانتباه إلى عدم استخدام حزم للقضبان المضغوطة، وأيضاً عكفات.

5-7- طول التثبيت المنحني (عكفات نظامية)

إن جهد الاحتكاك في حالة قضيب منحني أكبر منه في حالة قضيب مستقيم، ومن هنا يجب إدخال أثر الاحتكاك هذا على ظاهرة التلاحم، بالتالي إمكانية تصغير قيمة طول التثبيت الأساسي.

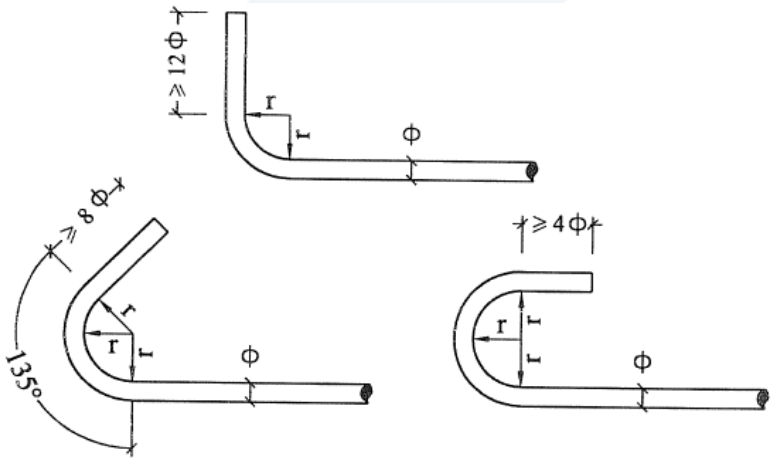
إضافة إلى تشكيل جهود قطرية ومحيطية محاولة شق الغمد البيتوني كما هو الحال للتثبيت المستقيم، سيعمل القضيب في التثبيت المنحني على تغيير انحنائه بفعل الانزلاق بالتالي يتشكل ضغط على البيتون الذي يمكن أن يسبب الانهيار (الدفع نحو الفراغ) (الشكل 5-8).

وحتى لا يحصل تحطيم البيتون فإن نصف قطر الانحناء يجب ألا يقل عن حد معين.



الشكل (5-8): خطر تغير انحناء العكفة (الدفع نحو الفراغ)

وعندما يتعذر تأمين طول التثبيت المستقيم لقضيب ما، وفق ما ورد أعلاه، يعمل على استعمال عكفات نظامية (تثبيت منحني)، وفق ثلاثة أشكال مرتبطة بزاوية الثني $(90^\circ\ ,135^\circ\ \&180^\circ)$ ، كما هو مبين في الشكل (5-9)، مع الإشارة إلى أن العكفة النظامية (180°) ، لا تستخدم إلا في قضبان الفولاذ الأملس الطري، حيث يكون استعمالها إلزاميا في نهاية كل قضيب مشدود، لهذا النوع من التسليح.



الشكل (5-9): أشكال العكفات النظامية

أ- نصف قطر الانحناء (r) :

يحدد نصف قطر الانحناء $(r \le 6\phi)$ ، مقاساً من المولد الداخلي للقضيب، وفق مايلي:

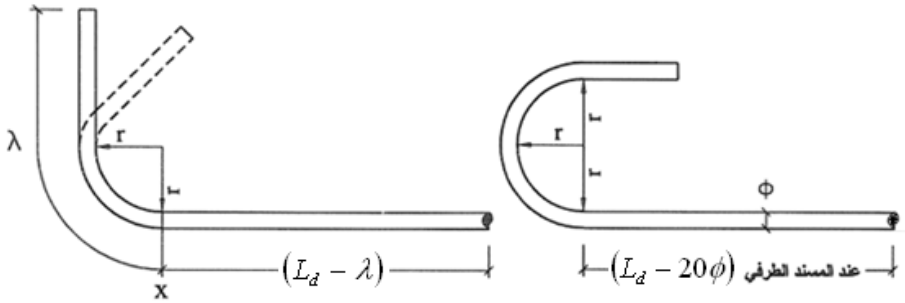
نوع الفولاذ	فولاذ أملس مطاوع	فولاذ محلزن عالي المقاومة
نصف قطر الانحناء (r)	2.5ϕ	$(3\ to\ 5)\phi$

ب- الطول المكافئ للعكفات (λ) :

يحسب هذا الطول المكافئ للعكفة (λ) ، ابتداءً من بداية الانحناء، كما هو مبين في الشكل (5-10). ولا يمكن زيادة هذا الطول بزيادة طول جزئها المستقيم بعد الانحناء.

- العكفات النظامية $(90^\circ\ \&135^\circ)$:
  - حالة التسليح العلوي: $\lambda = 4r \le 24\phi$
  - بقية الحالات: $\lambda = 6r \le 24\phi$
- العكفة النظامية (180°) :
  - يحدد كما للعكفات النظامية $(90^\circ\ \&135^\circ)$ في كل الحالات باستثناء عند المسند الطرفي.

- عند المسند الطرفي: $\lambda = 20\phi$



الشكل (5-10): طول الإرساء في حال وجود عكفة نظامية

ت- طول الإرساء في حالة وجود عكفات $(L_d - \lambda)$:

يحسب هذا الطول ابتداءً من النقطة (x) (انظر الشكل (5-10))، وباتجاه الجزء المستقيم من القضيب.

5-8- تثبيت الأساور(التسليح العرضي)

يجب استعمال العكفات في الأساور مهما كانت نوعية التسليح، ويجب ألا يقل نصف قطر الانحناء لهذه العكفات $(r \le 6\phi)$ ، مقاساً من المولد الداخلي لقضيب الاسوارة، عن القيم التالية:

نوع الفولاذ	فولاذ أملس مطاوع	فولاذ محلزن عالي المقاومة
نصف قطر الانحناء (r)	2ϕ	2.5ϕ

ويتحقق التثبيت في الأساور من خلال عكفها نحو الداخل، حول التسليح الطولي، بحيث لايقل الطول المستقيم بعد العكفة عن 8ϕ .

5-9- وصل القضبان

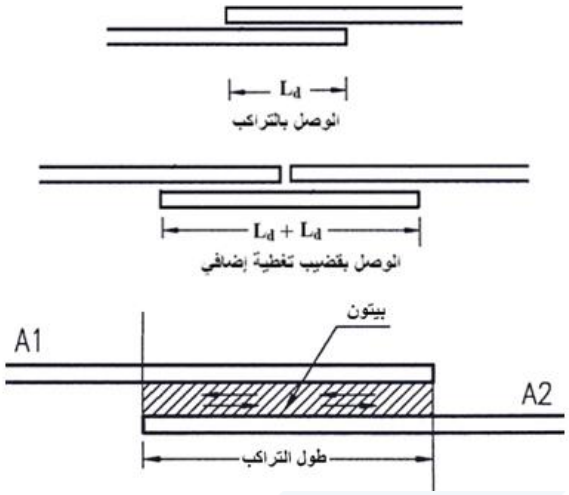
يمكن استخدام الطرائق التالية في وصل القضبان وتأمين استمرارها الميكانيكي:

أ- وصلات التراكب:

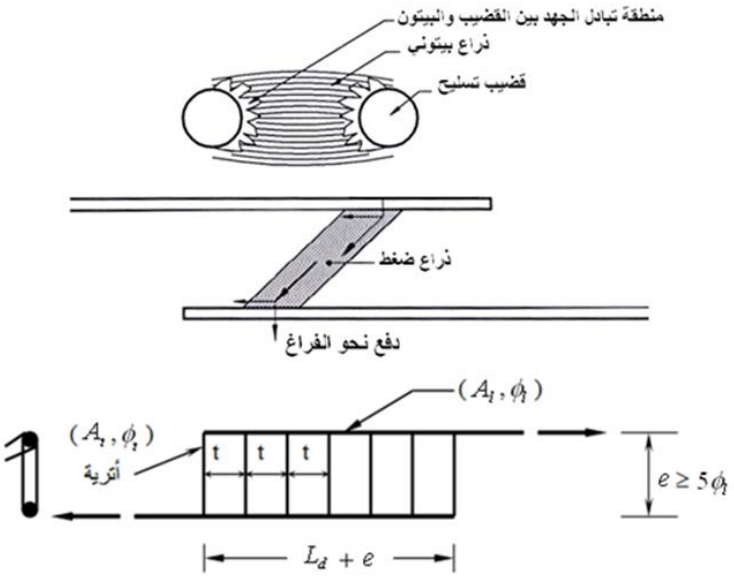
ينتقل الجهد العامل على أحد القضيبين إلى القضيب الآخر عن طريق التلاحم على طول مسافة التراكب، وتدعى هذه العملية "الوصل بالتغطية". هذا ويمكن تأمين التراكب عن طريق الوصل بقضيب تغطية إضافي (الشكل 5-11).

وتحدد الكودات العالمية على ألا تتجاوز المسافة الحرة بين قضيبين موصولين بالتراكب عن خمس طول التراكب أو 15 سم أيهما أصغر، على أن يتم تأمين تسليح خياطة عندما تزيد المسافة بين القضيبين عن 5ϕ ، حيث يكون هناك إمكانية لتشكل قوى دفع نحو الفراغ، كما هو مبين الشكل (5-12).

يحدد طول التراكب وفق الكود السوري كما هو مبين في الجدول (5-4).



الشكل (5-11): وصل القضبان بالتراكب



الشكل (5-12): خياطة القضبان الموصولة بالتراكب

	التسليح المستعمل / التسليح المطلوب	طول التراكب	الحد الأدنى للتراكب
حالة الشد	أقل من 2	$1.3L_d$	35 ϕ + 100 mm
	أكثر أو تساوي 2	$1.0L_d$	30 ϕ + 100 mm
حالة الضغط	جميع الحالات	$1.3L_d$	25 ϕ + 150 mm

الجدول (5-4): أطوال تراكب قضبان التسليح

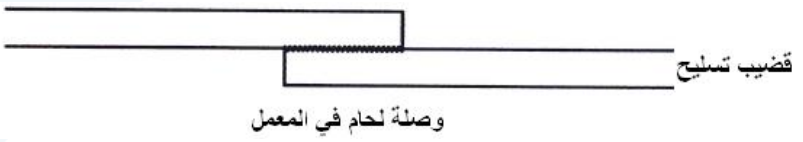
ونبين فيما يلي بعض الاشتراطات التي ينص عليها الكود السوري:

- يتم تنفيذ هذا النوع من الوصلات للقضبان التي لا يزيد قطرها عن $32mm$.
- يجب ألا يزيد عدد القضبان الموصولة في المكان الواحد عن نصف عدد القضبان بالمقطع، عندما يكون معرضاً لانعطاف بسيط أو لضغط مركزي أو لامركزي.
- يجب ألا يزيد عدد القضبان الموصولة في المكان الواحد عن ثلث عدد القضبان بالمقطع، عندما يكون معرضاً لشد لامركزي. ونشير إلى أنه من المفضل عدم استخدام هذه الطريقة في الوصل عندما يكون المقطع معرضاً للشد بشكل كامل، وينصح باستخدام وسائل وصل أخرى، كاللحام أو وصلات ميكانيكية مناسبة إن أمكن ذلك.
- يتم وصل قضبان الأعمدة وفق طول تراكب لا يقل عن 50 مرة القطر (50ϕ) .

ب- **وصلات اللحام:**

يسمح بتنفيذ الوصلات باللحام للفولاذ الذي لا تزيد مقاومته المميزة عن $500MPa$ ، بحيث تظل محاور القضبان على استقامة واحدة عند موضع اللحام (الشكل (5-13)). ويجب ألا يؤدي اللحام إلى تغيير خواصه الميكانيكية، بالتالي يمنع لحام قضبان الفولاذ المعالج على البارد، إلا إذا أخذ بالحسبان انخفاض مقاومتها.

يجب أن تختبر عينات من القضبان الملحومة لإثبات صلاحيتها. ويكون عدد القضبان المسموح بوصلها في مكان واحد، كما هو وارد في حالة الوصلات بالتراكب المذكورة أعلاه.

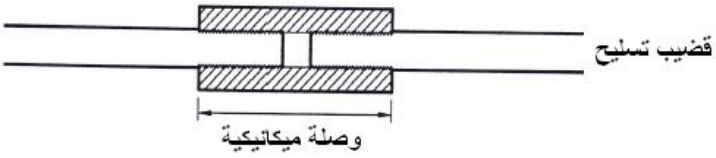


الشكل (5-13): وصل القضبان باللحام

ت- **وصلات ميكانيكية:**

يتم وصل القضبان عن طريق قلوظة نهاياتها، وتثبيتها بوساطة عزقات وصفائح، وبأبعاد كافية لتأمين انتقال الاجهادات على نحو كامل (الشكل (5-14))، أو بوسائط ميكانيكية أخرى مجربة ومصنفة بصورة خاصة لهذا الغرض.

و يجب أن تختبر عينات من القضبان الموصولة بهذا الطريقة لإثبات صلاحيتها.



الشكل (5-14): الوصل الميكانيكي لقضبان التسليح

5-10- التحقق من التلاحم

توجد نقاط رئيسية لكل قضيب تسليح، تشكل خطورة على انهيار التلاحم. ويمكن تحديد مواقع هذه النقاط استناداً على مغلفات القوى الداخلية، حيث نتمكن من معرفة نقاط الشد أو الضغط القصوى، ومواقع ثني القضبان بجوارها أو إيقافها، وكذلك نقاط انعدام العزوم، ومناطق إرساء التسليح الموجب عند المساند.

ونبين فيما يلي الطرائق المعتمدة في التحقق من التلاحم في تلك النقاط الحرجة.

أ- **حالة العزم الموجب بالجوائز:**

- نقاط إجهاد الشد الأعظمي: يجب أن تمتد القضبان إلى مسافة لا تقل عن $L_d + (d \text{ or } 12\phi)$
- نقاط انعدام العزم: يجب تحقيق المتراجحة التالية: $L_d \le \frac{M_u}{V_u} + (d \text{ or } 12\phi)$

حيث : M_u العزم المقاوم للمقطع عند نقطة انعدام العزم، باعتماد $(z = 0.9d \ \& \ \Omega = 1)$

V_u الجهد القاطع الحدي الأقصى.

- النقاط عند المساند الطرفية (استناد بسيط): يجب تحقيق المتراجحة التالية: $L_d \le \frac{M_u}{V_u} + L_a$

حيث : L_a هو طول استمرار القضيب الموجب ما بعد وجه المسند، ويسمح بحساب الطول المكافئ المنحني في حال وجود عكفات. ويجب ألا يقل هذا الطول عن إحدى القيم التالية:

- نصف عرض المسند + (12ϕ)
- $(d/2 + 12\phi)$
- (30ϕ)

ب- **حالة العزم السالب بالجوائز المستمرة:**

يجب التحقق من أن المسافة بين المقطع الحرج وطرف القضيب، لا تقل عن $L_d + (d \text{ or } 12\phi)$

ت- **حالة القضبان المضغوطة:**

يجب التحقق من أن طول القضيب ما بين المقطع المضغوط الأقصى وطرف القضيب، لا يقل عن طول التثبيت في حالة الضغط L'_d .

11-5- توقيف القضبان

- لا يجوز توقيف القضبان بالأماكن، التي يزيد فيها الجهد القاطع عن ثلثي قدرة التحمل للقص.
- في حال عدم الحاجة لمقاومة الانعطاف في مقطع ما، يجب أن تستمر القضبان بمسافة إضافية، قبل قطعها أو ثنيها، بمقدار : 12ϕ أو d ، أيهما أكبر.
- حالة التسليح السفلي:
  - يجب أن يستمر ثلث التسليح على الأقل في المساند الداخلية، وفق طول التثبيت اللازم، على ألا يقل عن $15cm$.
  - يجب أن يستمر نصف التسليح على الأقل في المساند الطرفية، وفق طول التثبيت اللازم لذلك، على ألا يقل عن $15cm$.
- حالة التسليح العلوي:

  يجب أن يستمر ثلث التسليح السالب على الأقل، إلى ما بعد نقطة انعدام العزم بمسافة تعادل 12ϕ أو $1/16$ من البعد بين المسندين المتجاورين أو d ، أيهما أكبر.
- عند إهمال مساهمة البيتون لمقاومة القص، تصبح القيمة $(d\ or 12\phi)$ حيثما وردت كما يلي: $(d/2\ or 12\phi)$.