Structural Steel Design-2

Prof. Mohammad Al-Samara

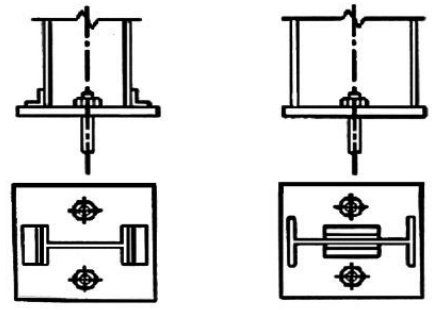
LECTURE # 16

(*Column Bases*)

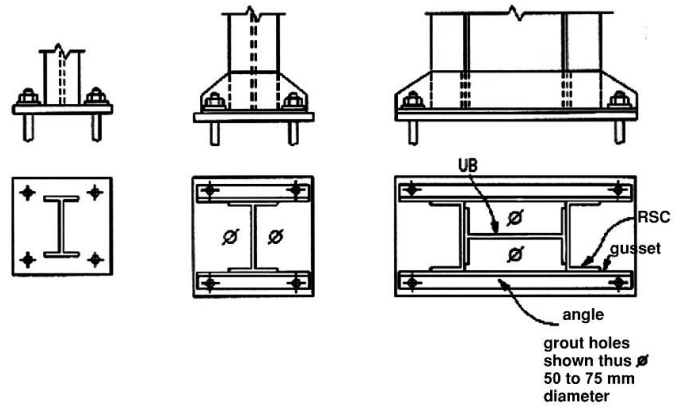
16 - 1 مقدمــة:

صفيحة القاعدة هي صفيحة فولاذية تُثبَّت باللحام في أسفل العمود لتوزع أحماله إلى الأساس الخرساني وتثبت به بواسطة براغي تثبيت تتحمل القص وأي قوى شد تنشأ بين الصفيحة والأساس الخرساني نتيجة العزم في أسفل العمود.

عندما تكون صفيحة القاعدة صغيرة وكذلك براغي التثبيت لا تنشأ إعاقة ملموسة لحركة أسفل العمود الدورانية ويُعتبَر عندها استناد العمود مفصلياً. تُستخدَم القواعد المفصلية في الإطارات البابية وفي الأبنية متعددة الطوابق

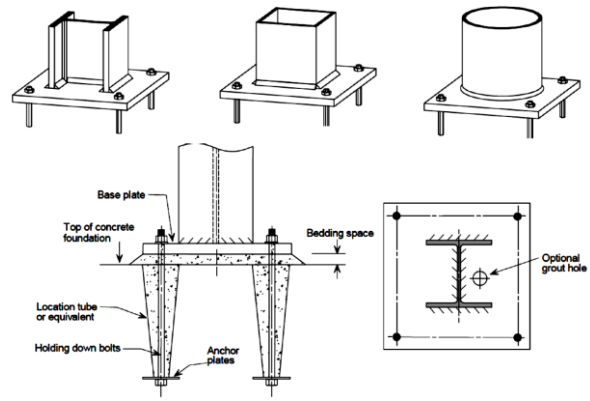


وعندما لا يُسمَح لقاعدة العمود بالدوران تُسمَّى القاعدة ثابتة (وثاقة) على الرغم من صعوبة تحقيق ذلك. فتستخدم بشكل رئيسي في الإطارات البابية وفي الأبنية الطابقية قليلة الارتفاع وخاصة ذات العقد الصلبة



16 – 2 تصميم القواعد المفصلية

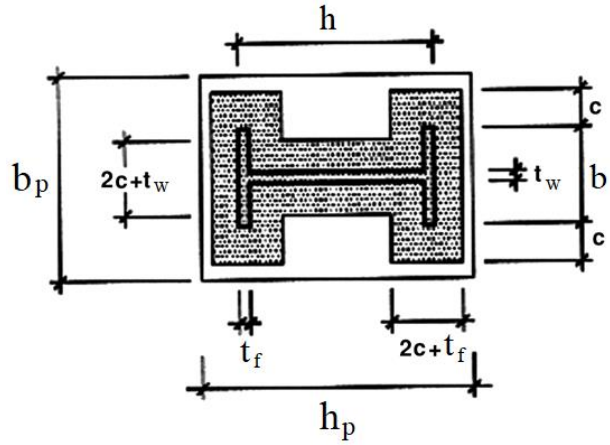
تتكون صفيحة القاعدة عادة من صفيحة ملحومة إلى أسفل العمود وتثبت إلى الأساس الخرساني ببراغي تثبيت (holding down bolts) مزودة في طرفها السفلي بصفائح تثبيت (anchor plates) كما في الشكل لتمنع سحب البرغي من الخرسانة أو من المونة الإسمنتية التي تصب حوله.



- جرت العادة أن تكون أبعاد صفيحة القاعدة أكبر بـ 100 mm من أبعاد العمود من كل جهة
- تُصمم براغي التثبيت لتأمين الاستقرار اثناء التنفيذ ولمقاومة القص الناجم عن الأحمال المطبقة
- لا يقل قطر برغي التثبيت عن 20 mm (M20) وتُغمس في الخراسانة بطول يساوي 16 إلى 18 مرة قطر البرغي ويكون طول الجزء المحزز من البرغي 100 mm ويُضاف إلى ذلك مسافة تساوي قطر البرغي
- تُنفذ ثقوب البراغي في صفيحة الاستناد بقطر 6 mm أكبر من قطر البرغي وذلك للسماح بأعمال الضبط أثناء التركيب ويمكن أن تكون أكبر من ذلك إذا كانت سماكة صفيحة القاعدة أكبر من 60 mm
- يُنفذ اللحام الزاوي عادة بقياس 6 mm أو 8 mm على طول جناحي العمود من الخارج وعلى طول محدد على جانبي جسد العمود وقلما ينفذ على كامل محيط مقطع العمود إلا إذ كان هناك حاجة لمقاومة إضافية أثناء التنفيذ أو كإجراء احترازي لمقاومة التآكل (الصدأ).
- يُترك عادة مسافة بين سفل صفيحة القاعدة وأعلى الأساس الخرساني بحدود 25 mm و 50 mm وذلك لحقن المونة الإسمنتية (grout) التي تملأ هذا الفراغ وكذلك تملأ الجيب المحيط بالبرغي لمنع تآكلها وزيادة تماسكها مع الأساس الخرساني

اجراءات التصميم

سنفرض أن صفيحة القاعدة ستنقل حمل العمود المحوري N_{Ed} إلى الأساس الخرساني فتوزعه على مساحة فعالة A_{eff} من سطح الاستناد الخرساني، الذي يُحدد كما في الشكل بنشر الحمل خلال الصفيحة بعيداً عن محيط العمود بمسافة قدرها c



تحسب المساحة الفعالة A_{eff} من الشكل (16-4)كما يلي:

$$A_{eff} = 2(b + 2c)(2c + t_f) + (h - 2c - 2t_f)(2c + t_w) \quad (16\text{-}1)$$

يتوزع الحمل N_{Ed} كضغط منتظم على كامل المساحة A_{eff} ويجب أن لا يزيد هذا الضغط على مقاومة السطح الساند للصفيحة على التحمّل والتي تُحدد وفقاً للملحق البريطاني للكودين BS EN 1993- 1-8 و BS EN 1992-1-1

$$f_{jd} = 0.56\, f'_c \quad (16\text{-}2)$$

حيث: f'_cالمقاومة المميزة الاسطوانية للخرسانة أو المونة الاسمنتية التي تسند الصفيحة بعمر 28 يوماً

يجب أن لا يزيد الضغط تحت الصفيحة على مقاومة السطح الساند للصفيحة على التحمّل أي:

$$f_b = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \le f_{jd} = 0.56\, f'_c \quad (16\text{-}3)$$

نحصل على مسافة انتشار c الحمل بعيداً عن حدود مقطع العمود بحل العلاقتين (16-1) و (16-3) ولكن يجب الانتباه إلى أنه لا يجوز أن تتجاوز c حدود صفيحة الاستناد وأن لا يتم تداخل في أجزاء المساحة A_{eff}

يحسب العزم المطبّق على شريحة عرضها 1 mm من صفيحة الاستناد وبارزة بطول c من وجه العمود وفق العلاقة التالية:

$$M = \frac{1}{2} f_b c^2 \le f_{yp} W_{p,el} / \gamma_{Mo} \quad (16\text{-}4)$$

حيث : f_{yp}اجهاد خضوع فولاذ صفيحة الاستناد ويفضل أن يكون الفولاذ المستخدم S275 أو S235

$W_{p,el} = t_p^2/6$ معامل المقطع المرن لشريحة عرضها 1 mm من صفيحة الاستناد وسماكتها t_p

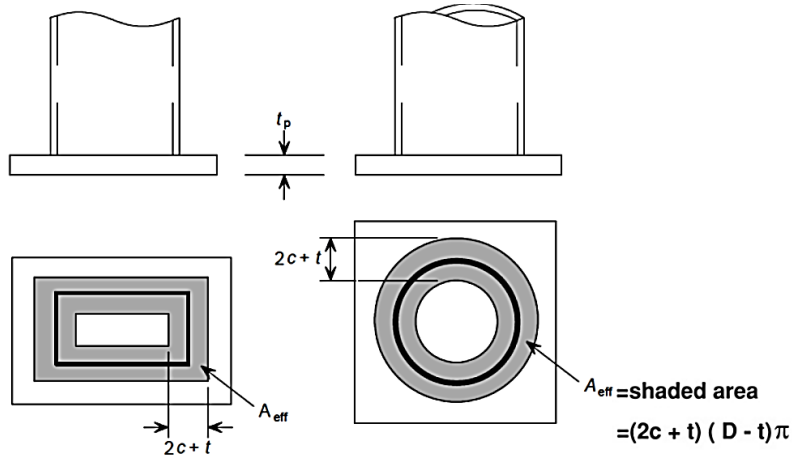
$\gamma_{Mo} = 1.0$ معامل أمان جزئي

تحسب سماكة صفيحة الاستناد بتعويض $W_{p,el}$ في العلاقة (16-4)فينتج:

$$t_p \ge c\sqrt{\frac{3 f_{jd} \gamma_{Mo}}{f_{yp}}} \quad (16\text{-}5)$$

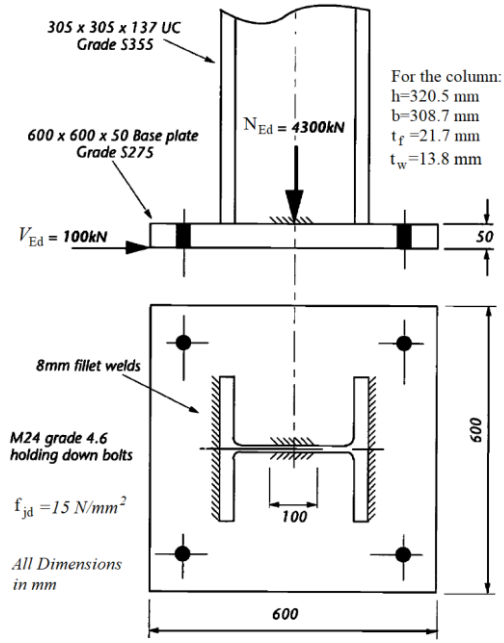
ويجب أن لا تقل سماكة صفيحة الاستناد بحال من الأحوال عن سماكة جناح مقطع العمود.

تُطبَّق طريقة المساحة الفعالة أيضاً على المقاطع الصندوقية والأنبوبية المفرّغة، ويبين الشكل بعض هذه المقاطع والمساحات الفعالة لصفائح القاعدة



مثال: (1-16)

حقق قاعدة العمود المبينة في الشكل وذلك تحت تأثير القوى المصعّدة المبينة أيضاً



الحـل :

* تحقيق أبعاد القاعدة

- تحسب المساحة الفعالة المطلوبة كما يلي:

$$A_{req} = N_{Ed}/f_{jd} = 4300 \text{ x } 10^3/15 = 286.7 \text{ x } 10^3 \ mm^2$$

- تحسب المساحة الفعالة وفق العلاقة التالية:

$$A_{eff} = 2(b + 2c)(2c + t_f) + (h - 2c - 2t_f)(2c + t_w)$$

$$A_{eff} = 2\ (308.7 + 2c)\ (2c + 21.7) + (320.5 - 2 \text{ x } 21.7 - 2c)\ (2c + 13.8)$$

- بمساواة المساحة الفعالة بالمساحة المطلوبة ينتج المعادلة التربيعية التالية

$$4\ c^2 + 1.82 \text{ x } 10^3\ c - 269.3 \text{ x } 10^3 = 0 \Rightarrow c = 117.6 \ mm$$

- لا يحدث تداخل في الإجهادات تحت الصفيحة لأن

$$(h - 2\ t_f)\ /\ 2 = (320.5 - 2 \times 21.7)\ /\ 2 = 138.5 > c$$

- أبعاد صفيحة القاعدة كافية لأن

$$h + 2\ c = 320.5 + 2 \times 117.6 = 555.7\ mm < h_p = 600\ mm$$

$$b + 2\ c = 308.7 + 2 \times 117.6 = 543.9\ mm < b_p = 600\ mm$$

- تحسب سماكة صفيحة القاعدة كما يلي:

على فرض أن سماكة الصفيحة $50\ mm$ فإن: $f_{yp} = 255\ N/mm^2$

$$t_p \geq c\sqrt{\frac{3f_{jd}\gamma_{M0}}{f_{yp}}} = c\sqrt{\frac{3 \times 15 \times 1.0}{255}} = 49.4\ mm < 50\ mm$$

إذاً السماكة المفروضة 50 mm كافية

* تحقيق اللحام بين العمود والقاعدة

- يحسب طول اللحام الفعال كما يلي:

$$l_{ew} = 2\ (l - 2\ s) = 2\ (100 - 2 \times 8) = 168\ mm$$

- يحدد عنق اللحام $a = 0.7s = 0.7 \times 8 = 5.6\ mm$

- تحدد قوة القص $F_{w,Ed}$ المطبقة على واحدة الطول من اللحام كما يلي:

$$F_{vw,Ed} = \frac{V_{Ed}}{l_{ew}} = \frac{100 \times 10^3}{168} = 595 N/mm$$

- يحدد اجهاد القص التصميمي للحام بالعلاقة (10-22) التالية:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

حيث: $\gamma_{M2} = 1.25$

f_u مقاومة الشد القصوى لأضعف عنصر موصول وتساوي $410\ N/mm^2$ للفولاذ S275

β_w عامل يتعلق بنوع الفولاذ ويساوي 0.85 للفولاذ S275

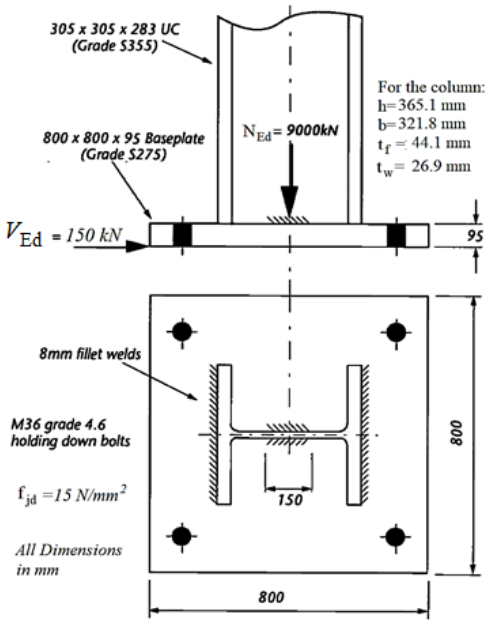
$$f_{vw,d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{410/\sqrt{3}}{0.85 \times 1.25} = 223\ N/mm^2$$

- وتحدد المقاومة التصميمية لواحدة الطول من اللحام بالعلاقة التالية:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a = 223 \times 5.6 = 1248\ N/mm$$
$$F_{w,Rd} = 1248\ N/mm > F_{w,Ed} = 595\ N/mm \quad ok$$

مثال : (16-2)

حقق قاعدة العمود المبينة في الشكل وذلك تحت تأثير القوى المصعّدة المبينة أيضاً



الحل :

* تحقيق أبعاد القاعدة

- تحسب المساحة الفعالة المطلوبة كما يلي:

$$A_{req} = N_{Ed}/f_{jd} = 9000 \text{ x } 10^3/15 = 600 \times 10^3 \ mm^2$$

- تحسب المساحة الفعالة وفق العلاقة (1-16) كما يلي:

$$A_{eff} = 2\,(321.8 + 2\,c)\,(2\,c + 44.1) + (365.1 - 2 \times 44.1 - 2\,c)\,(2\,c + 26.9)$$

- بمساواة المساحة الفعالة بالمساحة المطلوبة ينتج المعادلة التربيعية التالية

$$4\,c^2 + 1.94 \times 10^3\,c - 564 \times 10^3 = 0 \ \Rightarrow \ c = 204.5 \ mm$$

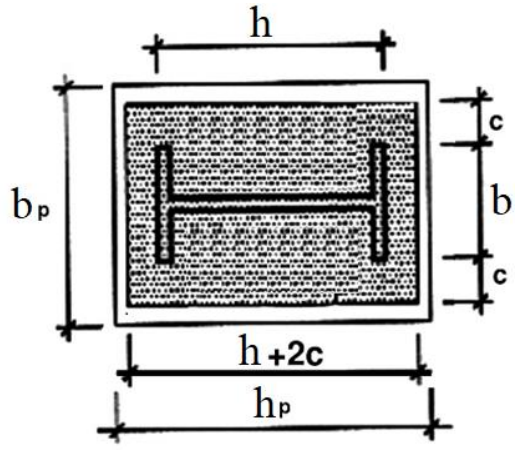
- سيحدث تداخل في الإجهادات تحت الصفيحة لأن

$$(h - 2\,t_f)\,/\,2 = (365.1 - 2 \times 44.1)\,/\,2 = 138.4\,mm < c$$

إذاً لابد من إعادة حساب المساحة الفعالة مع أخذ التداخل في الإجهادات بالحسبان

- تحسب المساحة الفعالة كما هو مبين في الشكل أدناه وفق العلاقة التالية:

$$A_{eff} = (h + 2\,c)\,(b + 2\,c) = (365.1 + 2\,c)\,(321.8 + 2\,c)$$



- بمساواة المساحة الفعالة بالمساحة المطلوبة تنتج العلاقة التربيعية التالية:

$$4\,c^2 + 1374\,c - 482510.82 = 0 \quad \Rightarrow \quad c = 215.7\ mm$$

- أبعاد القاعدة كافية لأن

$$h + 2\,c = 365.1 + 2 \times 215.7 = 796.5\ mm < h_p = 800\ mm$$
$$b + 2\,c = 321.8 + 2 \times 215.7 = 753.2\ mm < b_p = 800\ mm$$

تحسب سماكة صفيحة القاعدة كما يلي:

- على فرض أن سماكة الصفيحة $95\ mm$ فإن: $f_{yp} = 245\ N/mm^2$

$$t_p \geq c\sqrt{\frac{3 f_{jd} \gamma_{M0}}{f_{yp}}} = 215.7 \times \sqrt{\frac{3 \times 15 \times 1.0}{245}} = 92.5\ mm$$
$$< 95\ mm \quad ok$$

* تحقيق اللحام

- يحسب طول اللحام الفعال كما يلي:

$$l_{ew} = 2\,(l - 2\,s) = 2\,(150 - 2 \times 8) = 268\ mm$$

- يحدد عنق اللحام $a = 0.7s = 0.7 \times 8 = 5.6\ mm$

- تحدد قوة القص $F_{w,Ed}$ المطبقة على واحدة الطول من اللحام كما يلي:

$$F_{vw,Ed} = \frac{V_{Ed}}{l_{ew}} = \frac{150 \times 10^3}{268} = 560\ N/mm$$

- يحدد اجهاد القص التصميمي للحام بالعلاقة (10-22) التالية:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

حيث: $\gamma_{M2} = 1.25$

f_u مقاومة الشد القصوى لأضعف عنصر موصول وتساوي $410\ N/mm^2$ للفولاذ S275

β_w عامل يتعلق بنوع الفولاذ ويساوي 0.85 للفولاذ S275

$$f_{vw,d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{410/\sqrt{3}}{0.85 \times 1.25} = 223\ N/mm^2$$

- وتحدد المقاومة التصميمية لواحدة الطول من اللحام بالعلاقة التالية:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d}\,a = 223 \times 5.6 = 1248\ N/mm$$
$$F_{w,Rd} = 1248\ N/mm > F_{w,Ed} = 560\ N/mm$$

3 – 16 تصميم القواعد المحملة لا مركزياً

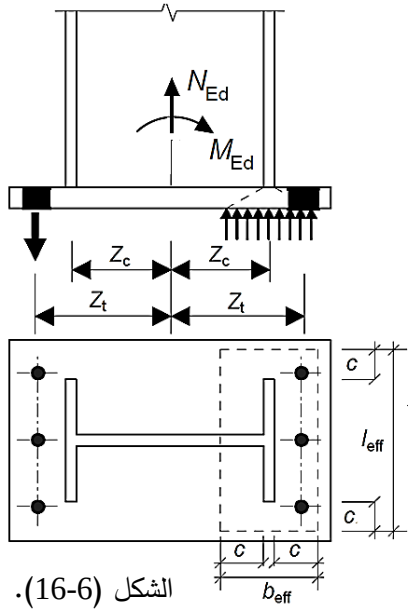
تتعرض قواعد الأعمدة إلى عزوم انعطاف حول محور أو محورين متعامدين إضافة إلى القوى المحورية والقاصة وذلك عندما لا يُسمَح لها بالدوران كلياً أو جزئياً.

وتُعد عملية تصميم هذا النوع من القواعد عملية تكرارية تبدأ بفرض أبعاد و سماكة لصفيحة القاعدة واختيار براغي التثبيت ومن ثم تحقيق ذلك لمقاومة مجموعة حالات التحميل التي تشتمل على القوى المحورية وعزوم الانعطاف وقوى القص. ويتم ذلك باتباع الخطوات الآتية:

1) تحديد القوة التصميمية في كل من الجناح المضغوط والجناح المشدود من العمود بالعلاقتين (16-6,7) مهملين القوة في جسد المقطع ومعتبرين الشد موجباً والضغط سالباً ومعتبرين أيضاً العزم موجباً كما في الشكل (16-6)

$$N_{L,f} = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{Ed}}{(h - t_f)} \quad (16\text{-}6)$$

$$N_{R,f} = \frac{N_{Ed}}{2} - \frac{M_{Ed}}{(h - t_f)} \quad (16\text{-}7)$$

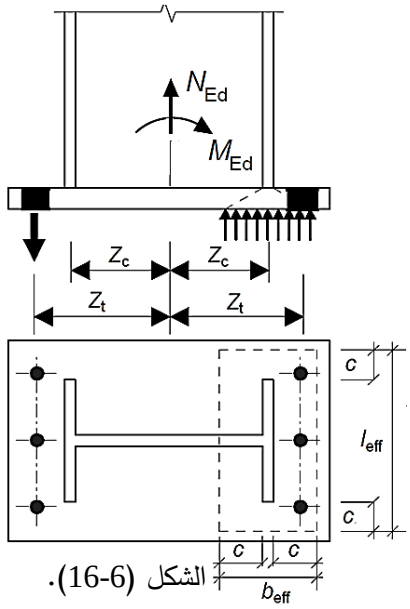


الشكل (16-6).

تحديد القوة التصميمية في عقب الجناح المضغوط (T-stubs compression) وفي عقب الجناح المشدود (tension T-stub) بناءً على النموذج التصميمي للكود الأوروبي BS EN 1993-1-8 الذي يفترض أن مقاومة عقب الجناح المضغوط عند صفيحة الاستناد يتم تأمينها بإنشاء منطقة ضغط تحته ومتمركزة معه أما مقاومة عقب الجناح المشدود فتؤمن من خلال براغي التثبيت الواقعة خارج الجناح المشدود كما في الشكل (16-6). وتحدد هاتان القوتان بالعلاقتين (16-8,9)

$$N_{L,T} = \frac{N_{Ed} \times Z_c}{(Z_t + Z_c)} + \frac{M_{Ed}}{(Z_t + Z_c)} \quad (16\text{-}8)$$

$$N_{R,f} = \frac{N_{Ed} \times Z_t}{(Z_t + Z_c)} - \frac{M_{Ed}}{(Z_t + Z_c)} \quad (16\text{-}9)$$



الشكل (16-6).

2) تحديد المقاومة التصميمية لعقب الجناح المضغوط بالأصغر مما يلي:

- **مقاومة الأساس**: يتم تحديد مقاومة الأساس على التحمّل (bearing) وذلك بنشر القوة من خلال صفيحة الاستناد على مساحة محيطة بالجناح المضغوط كما في الشكل (16-6).

$$F_{C,Rd} = f_{jd} b_{eff} l_{eff} \quad (16\text{-}10)$$

حيث: $f_{jd} = 0.56\, f_c'$, $b_{eff} = t_f + 2c$, $l_{eff} = b + 2c$

- **مقاومة صفيحة القاعدة للانعطاف**: يُحسب العزم المطبّق على شريحة عرضها 1 mm من صفيحة القاعدة وبارزة بطول c من وجه العمود وكذلك مقاومتها التصميمية وفق العلاقة (16-4) وبناء عليه تحدد سماكتها باستخدام العلاقة (16-5). فيجب أن تحقق مسافة الانتشار c العلاقة (16-11).

$$c \le t_p \sqrt{\frac{f_{yp}}{3 f_{jd} \gamma_{M0}}} \quad (16\text{-}11)$$

- **مقاومة جناح العمود للضغط**: وتحدد بالعلاقة (16-12)

$$F_{c,fc,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_f)} \quad (16\text{-}12)$$

حيث $M_{c,Rd}$ هي المقاومة التصميمية لمقطع العمود على الانعطاف

3) **تحديد المقاومة التصميمية لعقب الجناح المشدود** بالأصغر من احدى المقاومات الآتية:

- **مقاومة صفيحة القاعدة للانعطاف**: تُحدد مقاومة صفيحة القاعدة للانعطاف بالعلاقة (16-13)

$$F_{t,pl,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m_x} \qquad (16\text{-}13)$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} t_{pl}^2 f_{yp} / \gamma_{Mo} \qquad (16\text{-}4)$$

حيث:

$l_{eff,1}$ الطول الفعّال لعقب الجناح المشدود ويحدد بأصغر قيمة من الجدول (16-1)

t_{pl} سماكة صفيحة القاعدة

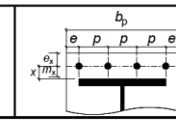
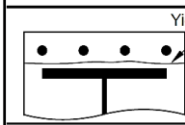
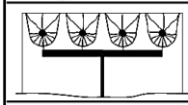
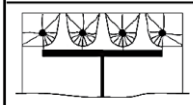
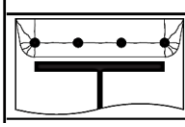
f_{yp} مقاومة خضوع صفيحة القاعدة

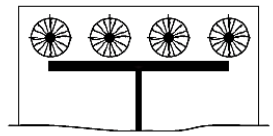
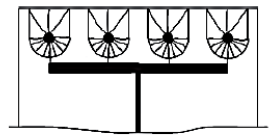
m_x المسافة بين مركز صف البراغي وطرف لحام الجناح مضافاً اليها 20% من قياس اللحام (انظر الجدول 16-1)

- **مقاومة براغي التثبيت وكفاية إرسائها**

الجدول (16-1): الأطوال الفعّالة لعقب الشد في صفيحة القاعدة

Effective lengths for base plate T-stubs

صف واحد بـ *n* براغي **Single row of *n* bolts**	
Non-circular patterns انماط انهيار غير دائرية	
	Single curvature تقوس أحادي $\ell_{eff,nc} = \frac{b_p}{2}$
	Individual end yielding خضوع نهاية افرادي $\ell_{eff,nc} = \frac{n}{2}(4m_x + 1.25e_x)$
	Corner yielding of outer bolts, individual yielding between خضوع في الزاويتين عند البراغيين الطرفيين وكذلك بين البراغي $\ell_{eff} = 2m_x + 0.625e_x + e + (n-2)(2m_x + 0.625e_x)$
	Group end yielding خضوع نهاية للمجموعة $\ell_{eff} = 2m_x + 0.625e_x + \frac{(n-1)p}{2}$

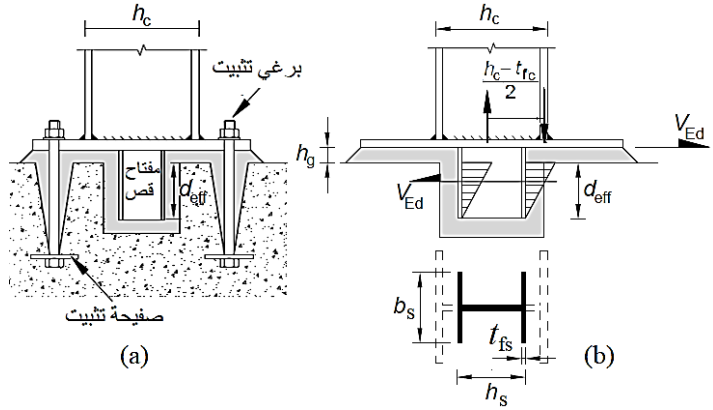
Circular patterns انماط انهيار دائرية	
	Individual circular yielding خضوع دائري افرادي $\ell_{eff,cp} = n\pi m_x$
	Individual end yielding خضوع نهاية افرادي $\ell_{eff,cp} = \frac{n}{2}(\pi m_x + 2e)$

4) التحقق من كفاية مقاومة وصلة صفيحة القاعدة للقص

من حيث المبدأ يتم نقل قوة القص من صفيحة القاعدة إلى الأساس الخرساني بعدة طرق منها:

- الاحتكاك بين الصفيحة والأساس الخرساني حيث يتم فرض أن المقاومة التي يؤمنها الاحتكاك قد تصل إلى 30% من قوة الضغط الكلية
- التحمّل بين جسم براغي التثبيت وصفية القاعدة وكذلك التحمّل بين هذه البراغي والخرسانة المحيطة بها، وأثبتت الدراسات أن مقاومة براغي التثبيت تكون كافية في أغلب الأحوال إلا أنه عندما تكون قوى القص كبيرة جداً لا بد من اتخاذ إجراءات أخرى. ويجب الانتباه إلى أن بعض براغي التثبيت لا تشارك في مقاومة القص بفعالية لأن الفتحة المعدة للبرغي في صفيحة القاعدة تكون أكبر من قطر البرغي فلا يحصل التماس بينهما، وللتغلب على ذلك يتم لاحقاً لحام صفيحة (رنديلة) إلى صفيحة القاعدة عند رأس كل برغي لها فتحة تساوي قطر البرغي وبعدها يتم تركيب وشد الصوملات (العزقات).

- عندما تكون قوة القص كبيرة جداً يُلحم مفتاح قص (أو عقب) إلى أسفل صفيحة القاعدة ويُغمد ضمن جيب في الأساس الخرساني ثم يُحقن الجيب بالمونة الإسمنتية كما في الشكل (16-7a). غالباً يكون المقطع العرضي لمفتاح القص على شكل حرف I ارتفاعه يساوي 40% من ارتفاع مقطع العمود، ويجب أن لا يقل الطول الفعال لمفتاح القص (d_{eff}) عن 60 mm وأن لا يزيد عن مرة ونصف ارتفاع مقطعه. كما يجب أن لا تزيد نسبة نحافة بروز الجناح على 20 ($b_s/t_{fs} \leq 20$)



سيتم فرض أن قوة القص ستنتقل إلى الأوجه الشاقولية لمفتاح القص على شكل اجهادات تحميل ذات توزع مثلثي قيمتها العظمى $f_{cd} = 0.56\, f_c'$ كما في الشكل (16-7b). وعليه تُحدد مقاومة مفتاح القص ذو الجناحين (مقطع I أو H) بالعلاقة (16-5)

$$V_{Rd} = b_s d_{eff} f_{cd} \qquad (16\text{-}5)$$

سينتج عن اللامركزية بين القص المطبق ورد فعل مفتاح القص عزماً ثانوياً يتحدد بالعلاقة (16-6) وسيتم مقاومة هذا العزم بمزدوجة تتكون من قوة ضغط تتمركز مع الجناح المضغوط للعمود ومن قوة شد مطبقة في مركز مفتاح القص كما هو مبين في الشكل (16-7b)

$$M_{sec,Ed} = V_{Ed}(h_g + d_{eff}/3) \qquad (16\text{-}6)$$

وسيولد هذا العزم قوة في كل من جناحي مفتاح القص تُحدد بالعلاقة (16-7)

$$N_{sec,Ed} = M_{sec,Ed}/(h_s - t_{fs}) \qquad (16\text{-}7)$$

وتُحدد مقاومة جناح مفتاح القص بالعلاقة (16-8)

$$b_s t_{fs} f_{ys}/\gamma_{M0} \qquad (16\text{-}8)$$

يتم لحام جناحي مفتاح القص إلى أسفل صفيحة القاعدة بلحام عرضي ليقاوم القوة $N_{sec,Ed}$ وكذلك يُلحم جسده إلى الصفيحة بلحام طولي ليقاوم القوة V_{Ed}
يجب أن يقاوم جسد العمود القوة المركزة $N_{sec,Ed}$ التي ستعتبر مطبقة على عرض فعّال منه b_{eff} يُحدد بالعلاقة (16-9)

$$b_{eff} = t_{fs} + 2s + 5t_p \qquad (16\text{-}9)$$

t_{fs} سماكة جناح مفتاح القص
s قياس لحام جسد مفتاح القص إلى صفيحة القاعدة
t_p سماكة صفيحة القاعدة

تحدد مقاومة القصّ لمقطع مفتاح القص وفق العلاقة (5-1)التالية:

$$V_{Rd} = A_{vs}\frac{f_{ys}/\sqrt{3}}{\gamma_{M0}} \qquad (16\text{-}10)$$

A_{vs}مساحة القصّ الفعّالة وتحدد حسب نوع المقطع كما في الجدول (5-2).
f_{ys}إجهاد سيلان الفولاذ المستخدم في مفتاح القص.
γ_{M0}عامل أمان جزئي ويساوي الواحد حسب الملحق البريطاني للكود الأوروبي

5) التحقق من كفاية لحام الوصلة:

يتم تصميم لحام العمود إلى صفيحة القاعدة بحيث يقاوم لحام الجناحين العزم المطبق في أسفل العمود ويقاوم لحام الجسد قوة القص. وباعتبار أن العزم يمكن أن يغير اتجاهه حسب حالة التحميل لذلك يُصمم كل من لحام الجناحين لمقاومة قوة الشد في الجناح المشدود التي تُحدد بالأصغر مما يلي:

- مقاومة الجناح للشد

$$b \times t_{fc} \times f_y \qquad (16\text{-}11)$$

- القوة في الجناح الناجمة عن العزم M_{Ed} بعد تخفيضها نتيجة وجود أي قوة ضغط محورية N_{Ed} أي:

$$\frac{M_{Ed}}{(h-t_{fc})} - N_{Ed}\frac{bt_{fc}}{A} \qquad (16\text{-}12)$$

6) التحقق من إرساء براغي التثبيت:

مبدئياً يتم تأمين إرساء براغي التثبيت إما عن طريق التماسك على طول الجزء المغموس من البرغي في الأساس الخرساني أو عن طريق صفيحة تثبيت ملحومة في نهاية البرغي كما في الشكل (16-7a). وعموماً يتم الاعتماد على التماسك بين البرغي والخرسانة إذا كان اجهاد خضوع البراغي لا يتجاوز 300 MPa (أي لحالة البراغي من النوع 4.6)، وعندما تستخدم براغي من النوع 8.8 في تثبيت القواعد التي تتعرض إلى عزوم لأسباب اقتصادية لا بد من استخدام صفائح تثبيت عند رأس البرغي. ويبين الجدول (16-2) تقريباً مقاسات وأطوال هذه البراغي الشائعة الاستعمال في القواعد مع صفائح التثبيت. ولكن لتحديد أطوال الإرساء اللازمة بدقة يجب الرجوع للكود الأوروبي BS EN 1992-1-1, Section 6.4

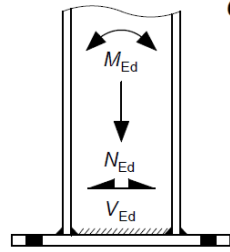
الجدول (16-2) مقاسات براغي التثبيت 8.8M

قطر برغي التثبيت	M20	M24	M30
طول برغي التثبيت mm	300	375	
	375	450	450
	450	600	600
مقاس صفيحة التثبيت mm	100 × 100	120 × 120	150 × 150
سماكة صفيحة التثبيتmm	15	20	25

مثال (16-3)

حقق صفيحة قاعدة العمود المبين في الشكل أدناه تحت تأثير حالتي التحميل الآتيتين:

	حالة تحميل 1	حالة تحميل 2
M_{Ed}	350 kNm	350 kNm
N_{Ed}	−2000 kN (ضغط)	−350 kN (ضغط)
V_{Ed}	75 kN	75 kN



Column : Steel grade S355

305 × 305 × 118 UKC

h_c = 314.5 mm

b_c = 307.4 mm

$t_{f,c}$ = 18.7 mm

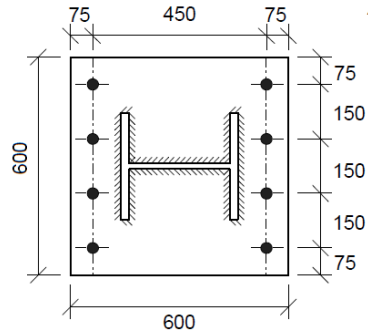
$t_{w,c}$ = 12.0 mm

r_c = 15.2 mm

$W_{el,y,c}$ = 1760000 mm^3

$W_{pl,y,c}$ = 1960000 mm^3

A_c = 15000 mm^2



Base plate :

Steel grade S275

t_{bp} = 50 mm

Bolts : M24 8.8 bolts

Diameter of bolt d = 24 mm

Diameter of hole d_0 = 26 mm

Shear area A_s = 353 mm^2

Concrete :

concrete for base C30

مقاومة المواد:

– سماكة جناح العمود t_{fc}>16 mm 40> وأن ماركة فولاذه S355 فإن:

$f_{y,c} = 345\ N/mm^2$ و $f_{u,c} = 470\ N/mm^2$

$\epsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/345} = 0.82$

– سماكة صفيحة القاعدة t_{bp}>40 mm 63> وأن ماركة فولاذها S275 فإن

$f_{y,bp} = 255\ N/mm^2$ و $f_{u,bp} = 410\ N/mm^2$

– مقاومة الخرسانة المميزة الاسطوانية $f_c' = 30\ MPa$ فإن مقاومتها على التحمل: $f_{jd} = 0.56\ f_c' = 17\ MPa$

– ماركة البراغي 8.8 فإن:

$f_{y,b} = 640\ N/mm^2$, $f_{u,b} = 800\ N/mm^2$

معاملات الأمان الجزئية:

للفولاذ انشائي: $\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1.0,\ \gamma_{M2} = 1.1$

للوصلات (برغي، لحام، دهس الصفائح) $\gamma_{M2} = 1.25$

القوة في كل من جناحي العمود:

- حالة التحميل 1:

$$N_{L,f} = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{Ed}}{(h_c - t_f)} = \frac{-2000}{2} + \frac{350 \times 10^3}{(314.5 - 18.7)}$$
$$= 182\ kN\ (\text{شد})$$
$$N_{R,f} = \frac{N_{Ed}}{2} - \frac{M_{Ed}}{(h_c - t_f)} = \frac{-2000}{2} - \frac{350 \times 10^3}{(314.5 - 18.7)}$$
$$= -2182\ kN\ (\text{ضغط})$$

- حالة التحميل 2:

$$N_{L,f} = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{Ed}}{(h_c - t_f)} = \frac{-350}{2} + \frac{350 \times 10^3}{(314.5 - 18.7)}$$
$$= 1007\ kN\ (\text{شد})$$
$$N_{R,f} = \frac{N_{Ed}}{2} - \frac{M_{Ed}}{(h_c - t_f)} = \frac{-350}{2} - \frac{350 \times 10^3}{(314.5 - 18.7)}$$
$$= -1357\ kN\ (\text{ضغط})$$

القوة التصميمية في عقب الجناح المضغود (T-stubs compression) وفي عقب الجناح المشدود (tension T-stub) تحدد باستخدام العلاقتين (8,9-16) كما يلي:

$$Z_t = \frac{450}{2} = 225\ mm, \qquad Z_t = \frac{314.5 - 18.7}{2} = 148\ mm$$

حالة التحميل 1:

$$N_{L,T} = \frac{N_{Ed} \times Z_c}{(Z_t + Z_c)} + \frac{M_{Ed}}{(Z_t + Z_c)} = \frac{-2000 \times 148}{(225 + 148)} + \frac{350 \times 10^3}{(225 + 148)}$$
$$= 144\ kN$$

$$N_{R,T} = \frac{N_{Ed} \times Z_t}{(Z_t + Z_c)} - \frac{M_{Ed}}{(Z_t + Z_c)} = \frac{-2000 \times 225}{(225 + 148)} - \frac{350 \times 10^3}{(225 + 148)}$$
$$= -2144\ kN$$

حالة التحميل 2:

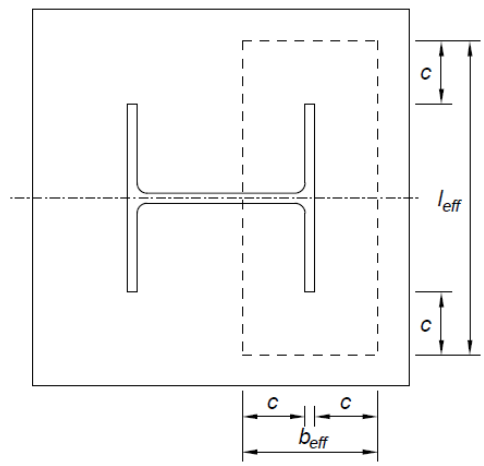
$$N_{L,T} = \frac{N_{Ed} \times Z_c}{(Z_t + Z_c)} + \frac{M_{Ed}}{(Z_t + Z_c)}$$
$$= \frac{-350 \times 148}{(225 + 148)} + \frac{350 \times 10^3}{(225 + 148)} = 799\ kN$$

$$N_{R,T} = \frac{N_{Ed} \times Z_t}{(Z_t + Z_c)} - \frac{M_{Ed}}{(Z_t + Z_c)}$$
$$= \frac{-350 \times 225}{(225 + 148)} - \frac{350 \times 10^3}{(225 + 148)} = -1149\ kN$$

$$\therefore N_{R,T}^{max} = -2144\ kN, \qquad N_{L,T}^{max} = 799\ kN$$

مقاومة العقب المضغوط: تحدد بالأصغر من المقاومتين التاليتين:

- مقاومة الأساس الخرساني للضغط تحت الجناح المضغوط والتي تُحسب بناءً على مساحة التحميل الفعّالة المبينة في الشكل أدناه:



يُحدد بعد انتشار الحمل c باستخدام العلاقة (11–16) كما يلي:

$$c \le t_{bp}\sqrt{\frac{f_{y,bp}}{3f_{jd}\gamma_{M0}}} = 50 \times \sqrt{\frac{255}{3 \times 17 \times 1.0}} = 112\ mm$$

$$b_{eff} = t_{fc} + 2c = 18.7 + 2 \times 112 = 243\ mm$$
$$l_{eff} = b_c + 2c = 307.4 + 2 \times 112 = 531\ mm$$
$$A_{eff} = 531 \times 243 = 129000\ mm^2$$

$$F_{c,pl,Rd} = A_{eff}\ f_{jd} = 129000 \times 17 \times 10^{-3} = 2193\ kN$$
$$> N_{R,T}^{max} = 2144\ kN \quad ok$$

– مقاومة الجناح للضغط

تصنيف مقطع العمود:

تصنيف الجناح: الجناح من الصنف 1 لأن:

$c_f=(b - t_w - 2r)/2=132.5$ mm

$c_f/t_f=132.5/18.7=7.08 < 9\varepsilon = 7.38$ (القيمة الحدية للصنف 1)

تـصنيف الجسد: للتأكد من أن الجسد من الصنف 1 فلابد من تحديد نسبة عرض منطقة الضغط إلى ارتفاع الجسد والتي يمكن حسابها باستخدام العلاقة التالية:

$c_w = h - 2t_f - 2r=277.3$ mm $\Rightarrow$ $c_w/t_w=23$

$$\alpha = \frac{1}{c_w}\left[\frac{h}{2} + \frac{1}{2}\frac{N_{Ed}}{t_w f_y} - (t_f + r)\right] \le 1.0$$

$$\alpha = \frac{1}{277.3}\left(\frac{314.5}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{2000000}{12 \times 345} - (18.7 + 15.2)\right) = 1.3$$

$$\Rightarrow \quad \alpha = 1.0 \quad \text{(حالة تحميل 1)}$$

$$\alpha = \frac{1}{277.3}\left(\frac{314.5}{2} + \frac{1}{2} \times \frac{350000}{12 \times 345} - (18.7 + 15.2)\right) = 0.6$$

$$\Rightarrow \quad \alpha = 0.6 \quad \text{(حالة تحميل 2)}$$

إذا من أجل كلا حالتي التحميل $\alpha > 0.5$ كما أن القيمة الحدية للصنف 1 تحسب كالآتي:

$$\alpha = 1 \Rightarrow \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \times 0.82}{13 \times 1.0 - 1} = 27 > \frac{c_w}{t_w} = 23$$

تحدد مقاومة المقطع للقصّ وفق العلاقة (5-1):

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$$

$$A_v = 15000 - 2 \times 307.4 \times 18.7 + (12 + 2 \times 15.2) \times 18.7$$

$$= 4236\ mm^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = 4236 \times \frac{345/\sqrt{3}}{1.0} \times 10^{-3} = 843\ kN$$

القص منخفض لأن:

$$V_{Ed} = 75\ kN < 0.5V_{pl,Rd} = 421.5\ kN$$

إذاً تحدد مقاومة مقطع العمود للعزم بالعلاقة (5-2) التالية:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl}f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1960000 \times 345 \times 10^{-6}}{1} = 676\ kNm$$

تُحدد مقاومة جناح العمود للضغط كما يلي:

$$F_{c,fc,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h_c - t_{f,c})} = \frac{676 \times 10^3}{(314.5 - 18.7)} = 2285\ kN$$

$$F_{c,fc,Rd} = 2285\ kN > N_{R,T}^{max} = 2144\ kN \quad ok$$

مقاومة العقب المشدود: تحدد بالأصغر من المقاومتين التاليتين:

– مقاومة صفيحة القاعدة للانعطاف تحت جناح العمود اليساري وتحدد بالعلاقة (16-13)

$$F_{t,pl,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m_x}$$

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} t_{pl}^2 f_{yp} / \gamma_{Mo}$$

لتحديد $l_{eff,1}$ يجب العودة للجدول (16-1) والشكل الخاص بالمسألة قيد المعالجة فنجد:

$n = 4, \quad b_p = 600\ mm, \quad m_x = 60\ mm, \quad e_x = 75\ mm,$
$e = 75\ mm, \quad p = 150\ mm$

$l_{eff,1}$

$$= Min \begin{cases} 0.5b_p = 300\ mm \\ 0.5n(4m_x + 1.25e_x) = 668\ mm \\ 2m_x + 0.625e_x + e + (n-2)(2m_x + 0.625e_x) = 576\ mm \\ 2m_x + 0.625e_x + 0.5(n-1)p = 392\ mm \\ n\pi m_x = 754\ mm \\ 0.5n(\pi m_x + 2e) = 677\ mm \end{cases}$$

$\therefore l_{eff,1} = 300\ mm$

$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \times 300 \times 50^2 \times 255 \times 10^{-6}/1.0$
$= 47.8\ kNm$

$$F_{t,pl,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m_x} = \frac{2 \times 47.8 \times 10^3}{60} = 1593\ kN$$

$F_{t,pl,Rd} = 1593\ kN > N_{L,T}^{max} = 799\ kN \quad ok$

– مقاومة براغي التثبيت للشد:

تحدد مقاومة البرغي (8.8M24) على الشد $F_{t,Rd}$ بالعلاقة (10–10) التالية:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \times 800 \times 353 \times 10^{-3}}{1.25} = 203\ kN$$

$$F_{t,3,Rd} = 4 \times 203 = 812\ kN > N_{L,T}^{max} = 799\ kN \quad ok$$

تصميم اللحام

لحام الجناح المشدود:

بفرض أن قياس اللحام $s = 15\ mm$ وأنه سينفذ على كامل محيط الجناح فيحدد طول اللحام كما يلي:

$$L = 2b - t_w - 2s = 2 \times 307.4 - 12 - 2 \times 15 = 572.8\ mm$$

ويحدد اجهاد القص التصميمي للحام بالعلاقة (10-22)التالية:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u/\sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{410/\sqrt{3}}{0.85 \times 1.25} = 223\ N/mm^2$$

وتحدد المقاومة التصميمية للحام في واحدة الطول بالعلاقة (10-21) التالية:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a = 223 \times 0.7 \times 15 = 2341.5\ N/mm$$

وتحدد المقاومة التصميمية للحام الجناح المشدود كما يلي:

$$F_{t,w,Rd} = F_{w,Rd} \times L = 2341.5 \times 572.8 \times 10^{-3} = 1341\ kN$$

$$> F_{w,Ed} = \frac{M_{Ed}}{(h_c - t_f)} = \frac{350 \times 10^3}{(314.5 - 18.7)} = 1183\ kN \quad ok$$

لحام الجناح المضغوط:

سيتم اعتبار أن أسفل العمود تم قصه آلياً وبالتالي سينتقل الضغط مباشرة من جناح العمود إلى صفيحة الاستناد ومع ذلك جرت العادة أن يتم لحام الجناح المضغوط بنفس لحام الجناح المشدود

لحام جسد العمود

يصمم لحام جسد العمود إلى صفيحة القاعدة ليقاوم قوة القص في أسفل العمود، ولكن على الرغم من أن قياس لحام الجسد يمكن أن يكون أصغر من قياس لحام الجناحين فينفذ اللحام بنفس القياس على كامل محيط مقطع العمود