



УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР  
СТАЛЬНОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА

## **Вузли і з'єднання у відповідності до EN 1993-1-8**

Білик Артем Сергійович

к.т.н., голова інженерного центру УЦСБ, доцент кафедри металевих і дерев'яних конструкцій КНУБА

Семінар  
«Розрахунок сталевих конструкцій відповідно до Єврокодів»  
26.05.2016

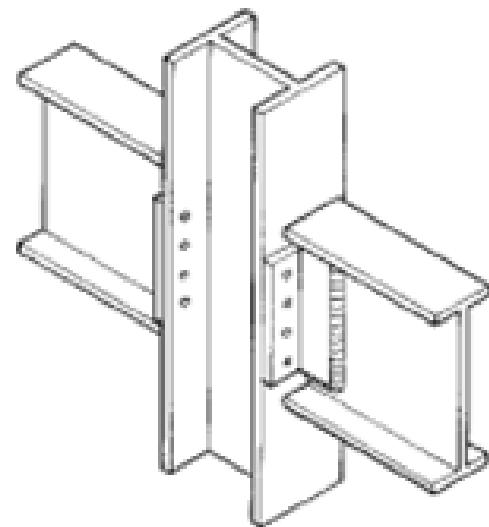
# РОЗДІЛИ ЄВРОКОДУ EN 1993-1-8 ПО ВУЗЛАМ:

---

- Основні положення по проектуванню
- З'єднання на болтах, заклепках і штифтах
- Зварні з'єднання
- Аналіз, класифікація і моделювання
- Вузли спряження конструктивних елементів із двотаврів
- Вузли спряження елементів замкнутого профілю

**ВУЗОЛ** - область перетину двох чи більше елементів. При розрахунку вузлом є група всіх основних компонентів, необхідних для опису роботи вузла при передачі діючих внутрішніх сил і моментів між з'єднуваними елементами. Наприклад, вузол з'єднання балки з колоною складається із ділянки стінки колони і одного (при односторонній конфігурації вузла) чи двох (при двосторонній конфігурації вузла) з'єднань.

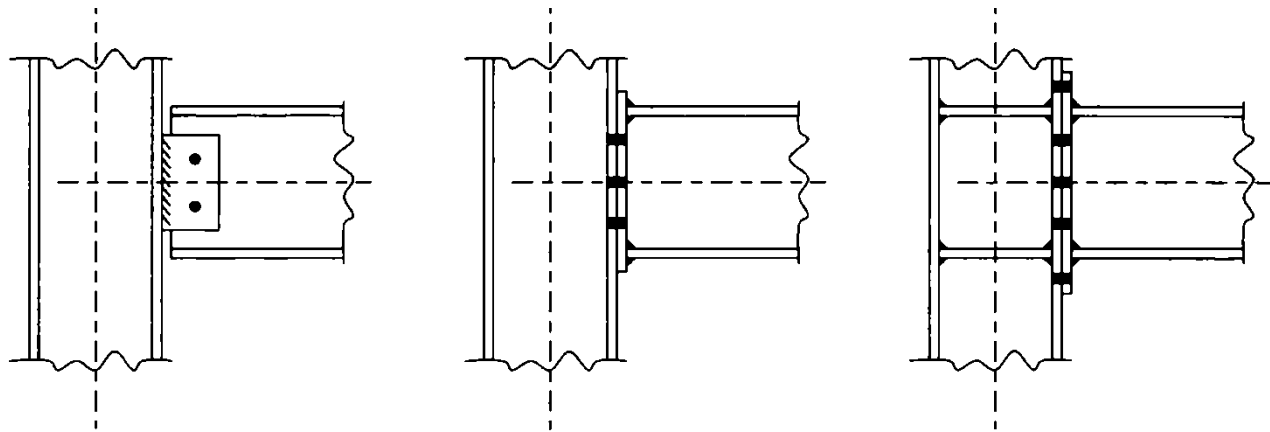
**З'ЄДНАННЯ** - місце, у якому кріпляться дві або більше деталі. При розрахунку з'єднанням називається група основних компонентів, необхідних для опису роботи з'єднання у процесі передачі внутрішніх сил і моментів.



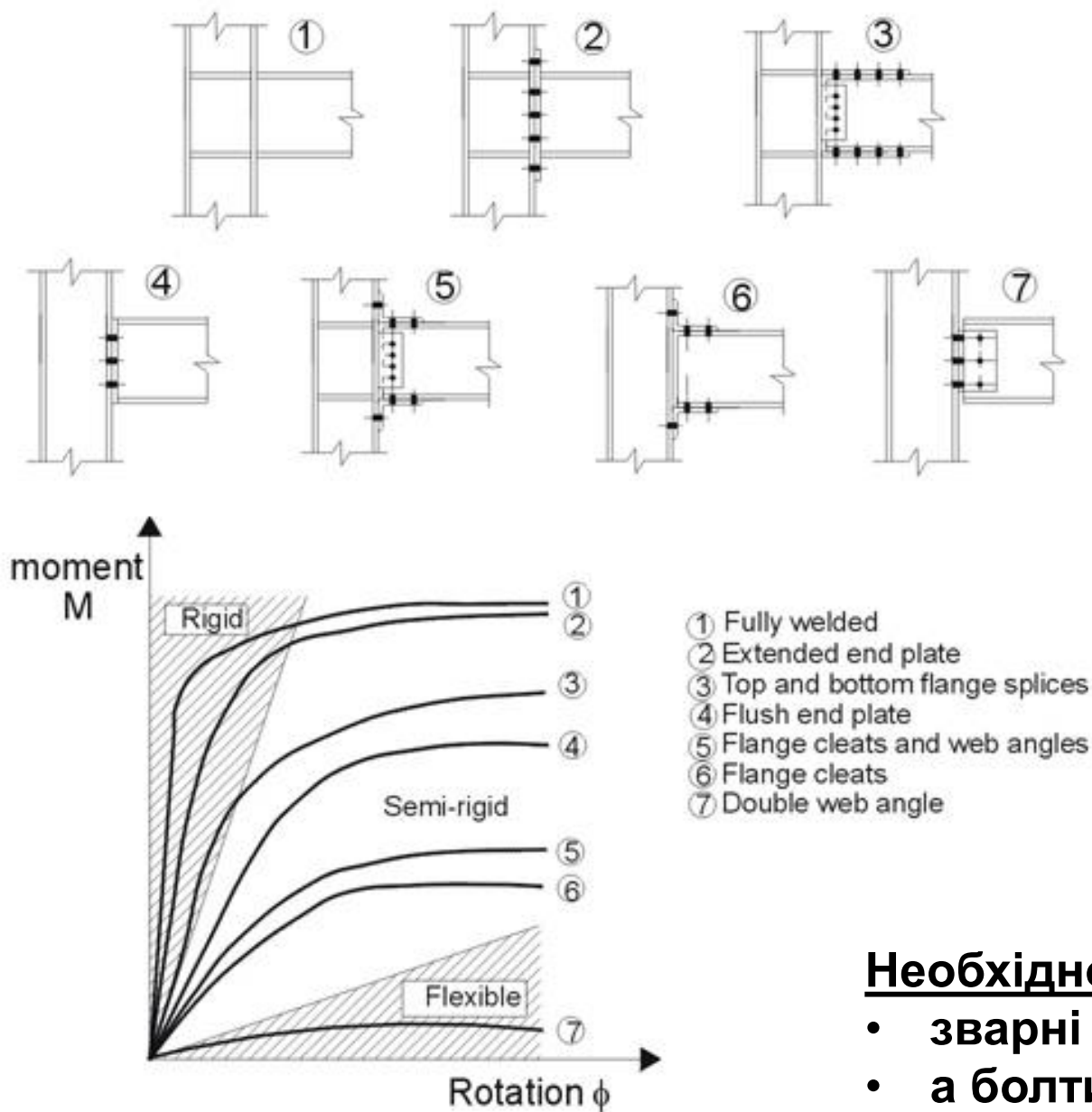
## Типи вузлів

Для визначення випадків, в яких потрібно враховувати вплив характеру **роботи вузлів** при розрахунку, необхідно розрізняти **три моделі вузлів**, (дивись EN 1993-1-8):

- **шарнірну**, для якої можна припустити, що вузол не передає згинальні моменти;
- **жорстку**, для якої можна припустити, що характер роботи вузла не впливає на розрахунок;
- **напівжорстку**, для якої характер роботи вузла необхідно враховувати при розрахунках.



# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ОТРИМАНІ ГРАФІКИ М-Ф



## Необхідно пам'ятати:

- зварні шви – неподатливі,
- а болти – не є «пружинами»

# ЖОРСТКІСТЬ ВУЗЛІВ

має значний вплив?

**Ні**



Не враховувати розрахунком

Шарнірний =  
ідеально  
шарнірний

Жорсткий =  
ідеально  
жорсткий

**Так**



Враховувати розрахунком

Напівжорсткий =  
**враховувати  
жесткость**

**ЗГІДНО EN 1993-1-1**

В цілому, допускається нехтувати впливом характеру роботи вузлів ... однак при їх значному впливі на характер роботи (наприклад напівжорсткі вузли) це слід враховувати

# Класифікація вузлів EN 1993-1-8

---

Вузол можна класифікувати на основі експериментальних даних, **позитивному досвіду експлуатації** аналогів, чи за результатами розрахунків, заснованих на результатах випробувань

**Несуча здатність вузла залежить від несучої здатності його компонентів**

- Як правило – болти, зварні шви, пластини
- Шукаємо «найслабше місце»





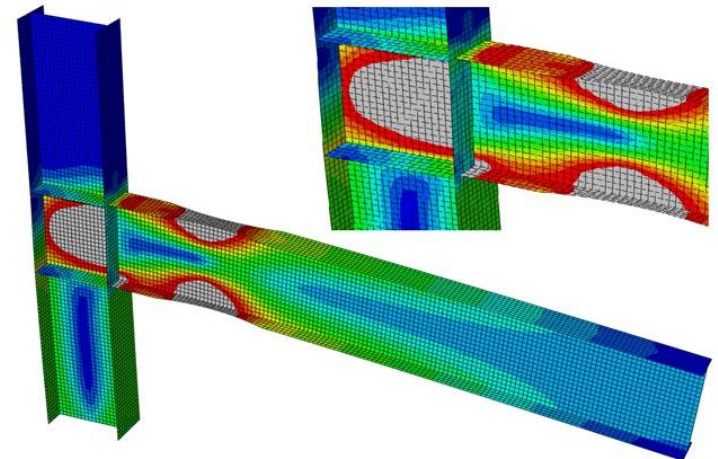
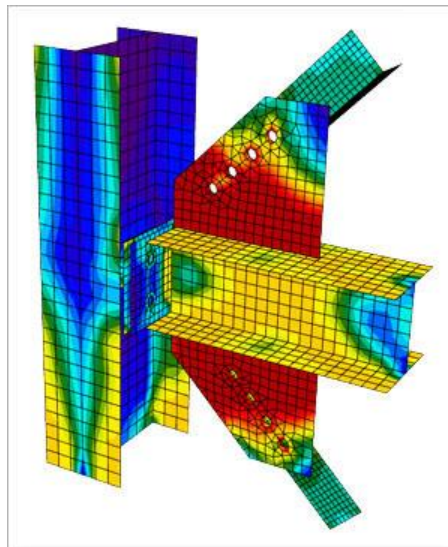
# Міцність елементів

- Завжди застосовують відповідний частинний коефіцієнт надійності,  $\gamma_M$

... у відповідності із Національним додатком

## При застосуванні припущень щодо розподілу внутрішніх зусиль:

- Припустимі деформації мають бути реалістичними
- Припустимий розподіл зусиль має враховувати співвідношення жорсткостей



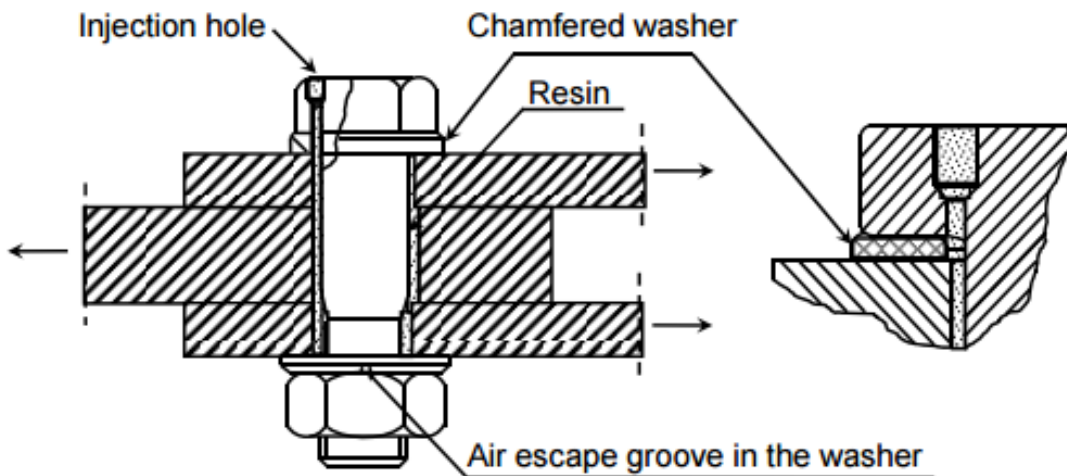


**Таблиця 2.1** Часткові коефіцієнти безпеки для з'єднань - Рекомендовані значення:

ОПИС	ПОЗНАКА	ЗНАЧЕННЯ
НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ	$g_{M0}, g_{M1}$ ТА $g_{M2}$ , ДИВ. EN 1993-1-1	1,25
НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ БОЛТІВ	$g_{M2}$	1,25
НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЗАКЛЕПОК		
НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ШТИФТІВ		
НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЗВАРНИХ ШВІВ		
НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ПЛАСТИН НА ЗМИНАННЯ		
НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ НА ЗСУВ		
У ГРАНИЧНОМУ СТАНІ ЗА НЕСУЧОЮ ЗДАТНІСТЮ (КЛАС ТОЧНОСТІ С)	$g_{M3}$	1,25
У ГРАНИЧНОМУ СТАНІ ЗА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЮ ПРИДАТНІСТЮ (КЛАС ТОЧНОСТІ В)	$g_{M3,SER}$	1,1
НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ІН'ЄКЦІЙНИХ БОЛТІВ НА ЗМИНАННЯ	$g_{M4}$	1,0
НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ВУЗЛІВ ФЕРМ ІЗ ЗАМКНУТИХ ПРОФІЛІВ	$g_{M5}$	1,0
НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ШТИФТІВ У ГРАНИЧНОМУ СТАНІ ЗА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЮ ПРИДАТНІСТЮ	$g_{M6,SER}$	1,0
ПОПЕРЕДНЄ НАПРУЖЕННЯ ВИСОКОМІЦНИХ БОЛТІВ	$g_{M7}$	1,1
РОЗРАХУНКОВИЙ ОПІР БЕТОНУ	$g_c$ , ДИВ. EN 1992	

# Ін'єкційні болти

Note : There is a standard procedure to produce hexagon injection bolts in ECCS 79\* and BS EN 1090-2:2008.

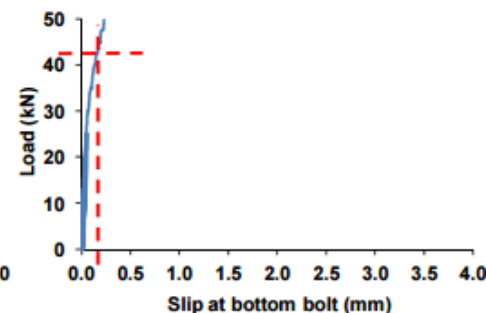
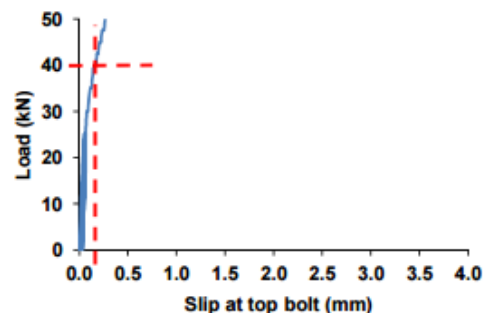
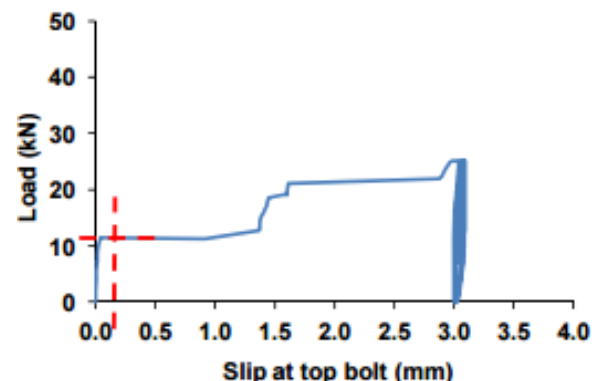
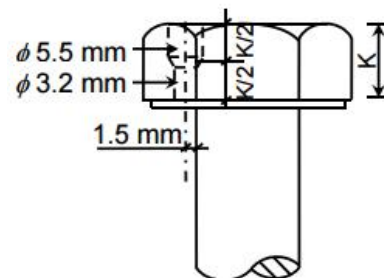


• Ін'єкційні болти можуть застосовуватися як альтернатива звичайним болтам та заклепкам у з'єднаннях типів А, В та С (3.6.2)

Resin injected bolts	Test 3	M16	18 mm	RenGel SW404
	Test 4	M16	18 mm	Sikadur-30

Note : Bolts tightened to a **bolt torque of 88 N.m**, using tension formula given in Smith et al\*.

Annex K: Hexagon Injection bolts of BS EN 1090-2:2008.



Specimen with M16 bolts, 18 mm holes and Sikadur-30 resin

# Категорії з'єднань

Таблиця 3.2 Типи болтових з'єднань

Типи	Критерій	Примітки
<b>З'єднання, що працюють на зсув</b>		
<b>А</b> Зрізне з'єднання	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Попереднє напруження не потрібне. Можуть застосовуватися болти класів 4.6–10.9.
<b>В</b> Фрикційне з'єднання у граничному стані за експлуатаційною придатністю	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Слід застосовувати попередньо напружені болти класів 8.8 або 10.9. Несуча здатність на проковзування в граничному стані за експлуатаційною придатністю визначається за 3.9
<b>С</b> Фрикційне з'єднання у граничному стані за несучою здатністю	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq N_{t,Rd}$	Слід застосовувати попередньо напружені болти класів 8.8 або 10.9. Несуча здатність на проковзування в граничному стані за несучою здатністю визначається за 3.9. $N_{t,Rd}$ – див. 3.4.1(1) в)
<b>З'єднання, що працюють на розтяг</b>		
<b>Д</b> З'єднання без попереднього натягу болтів	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Попереднє напруження не потрібне. Можуть застосовуватися болти класів 4.6–10.9. $B_{p,Rd}$ визначається за таблицею 3.4
<b>Е</b> З'єднання з попереднім натягом болтів	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Слід застосовувати попередньо напружені болти класів 8.8 або 10.9. $B_{p,Rd}$ визначається за таблицею 3.4
Розрахункове розтягувальне зусилля $f_{t,Ed}$ повинно включати можливе зусилля відриву внаслідок ефекту важеля, див. 3.11. Болти розтягувального зусилля зсуву разом із розтягувальним зусиллям, повинні також задовольняти умови, наведені у таблиці 3.4		

# З'єднання, що працюють на зрізну поперечну силу

Типи	Критерій	Примітки
З'єднання, що працюють на зсув		
<b>А</b> Зрізне з'єднання	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Повинні відповідати вимогам на зріз і на зминання
<b>В</b> Фрикційне з'єднання у граничному стані за експлуатаційною придатністю	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	
		граничному стані за експлуатаційною придатністю визначається за 3.9



# Болти

- Класи міцності:
- 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8, 10.9

Номінальні значення межі текучості  $f_{yb}$  та граничної міцності на розтяг  $f_{ub}$  болтів

Клас міцності болта	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ , Н/мм <sup>2</sup>	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}$ , Н/мм <sup>2</sup>	400	400	500	500	600	800	1000



3.1.2. Як попередньо напружені болти можуть використовуватися тільки болти класів міцності **8.8 та 10.9**

# Болти, що працюють на зріз

## Несуча здатність болтів на зріз:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}, \text{ где}$$

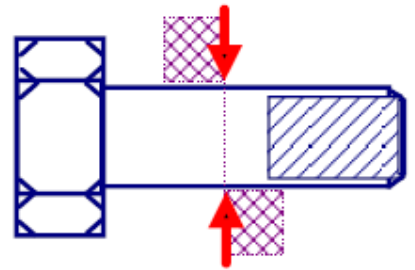
$f_{ub} = 400 \text{ Н/мм}^2$  для класів 4.6  
 $= 800 \text{ Н/мм}^2$  для 8.8



Болт з частковим  
різьбленням

$A$  = площа бруто,  
коли площина зрізу  
проходить через  
частину болта без  
різьблення

$$\alpha_v = 0.6$$

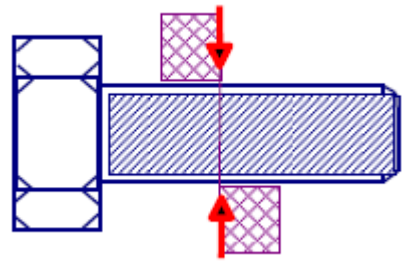


Болт з повним  
різьбленням

$A$  = площа, яка працює,  
коли площина зрізу  
проходить через частину  
болта з різьбленням

$$\alpha_v = 0.6$$

для кл.4.6,5.6,8.8

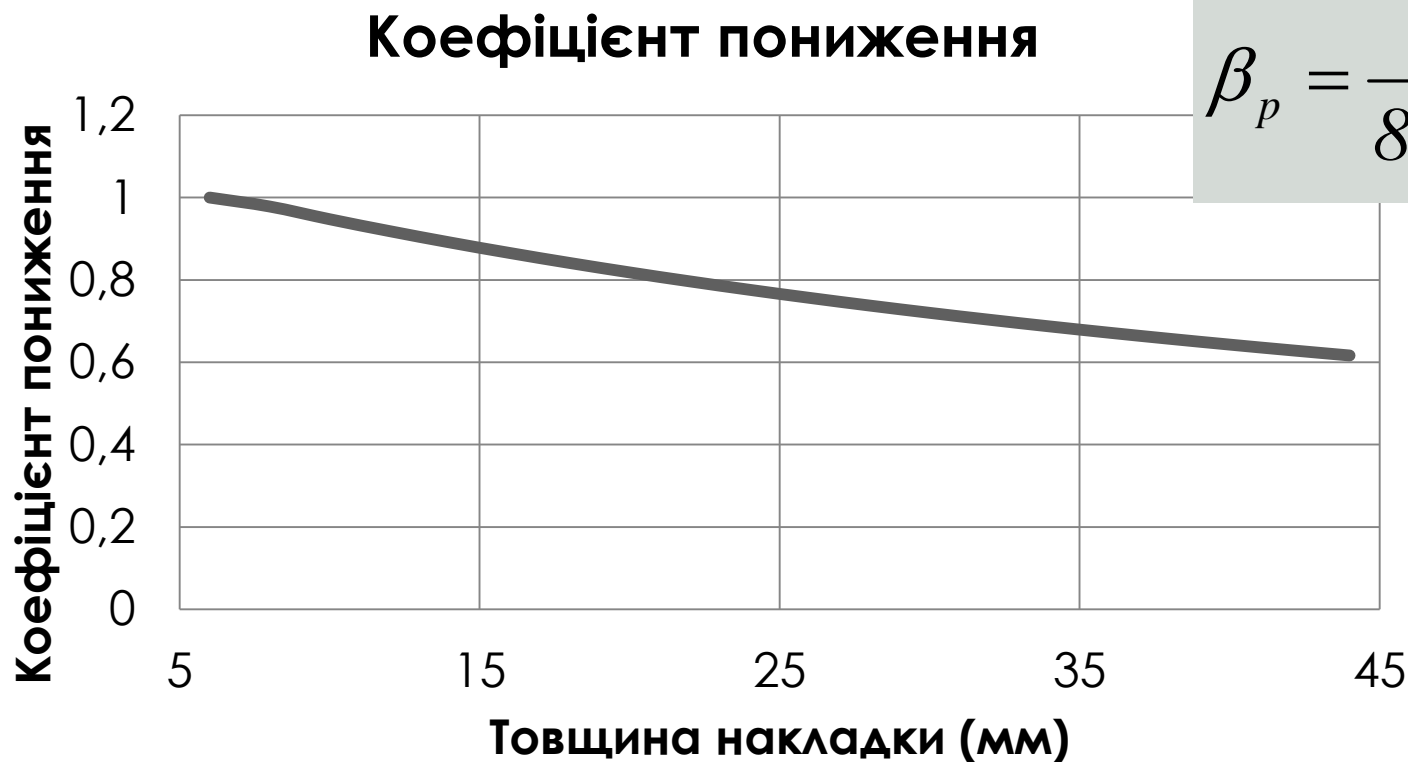


$$\alpha_v = 0.5$$

для кл.4.8,5.8,6.8, 10.9

## Болти у з'єднаннях із накладками

- Накладки допускають згин, тому несуча здатність на зріз має бути зкорегована понижуючим коефіцієнтом  $\beta_p$ , коли товщина пакету накладок  $> d/3$ :



$$\beta_p = \frac{9d}{8d + 3t_p}$$



# Болтові з'єднання при роботі на зминання

## Несуча здатність з'єднуваних елементів на зминання (т.3.4.):

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

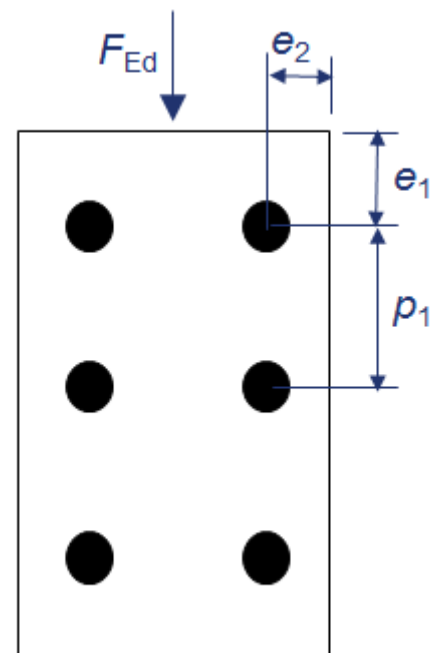
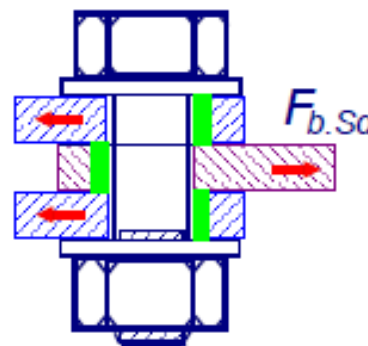
$d$ , а не  $d_0$

Залежить від  $e_2$

Межа міцності пластини

Залежить від :

1.  $e_1$  и  $p_1$
2. Відбувається зминання пластини (як правило) або болта



$$\alpha_B - \text{НАЙМЕНШЕ ІЗ } \alpha_D, \frac{f_{ub}}{f_u} \text{ ТА } 1,0$$

# Конструювання

**Таблиця 3.3**      **Мінімальні та максимальні значення кроку, відстаней до краю елемента**

Відстані та кроки, див. Рисунок 3.1	Мінімальне значення	Максимальне значення <sup>1),2),3)</sup>		
		Конструкції, виготовлені зі сталей, що відповідають EN 10025, окрім сталей, що відповідають EN 10025-5		Конструкції, виготовлені зі сталей, що відповідають EN 10025-5
		Сталь, що перебуває під впливом атмосферної або іншої корозії	Сталь, що не перебуває під впливом атмосферної або іншої корозії	Сталь, що використовується без покриття
Відстань до краю вздовж зусилля $E_1$	$1,2D_0$	$4T + 40 \text{ MM}$		$\text{MAX}(8T, 125 \text{ MM})$
Відстань до краю уперек зусилля $E_2$	$1,2D_0$	$4T + 40 \text{ MM}$		$\text{MAX}(8T, 125 \text{ MM})$
Відстань для овальних отворів $E_3$	$1,5D_0^{4)}$			
Відстань для овальних отворів $E_4$	$1,5D_0^{4)}$			
КРОК $P_1^{5)}$	$2,2D_0$	$\text{MIN}(14T, 200 \text{ MM})$	$\text{MIN}(14T, 200 \text{ MM})$	$\text{MIN}(14T_{\text{MIN}}, 175 \text{ MM})$
КРОК $P_{1,0}$		$\text{MIN}(14T, 200 \text{ MM})$		
КРОК $P_{1,1}$		$\text{MIN}(28T, 400 \text{ MM})$		
КРОК $P_2$	$2,4D_0$	$\text{MIN}(14T, 200 \text{ MM})$	$\text{MIN}(14T, 200 \text{ MM})$	$\text{MIN}(14T_{\text{MIN}}, 175 \text{ MM})$

# Конструювання

- 1) максимальні значення кроку, відстаней до краю та кромки елемента не обмежені, окрім наступних випадків:
  - для стиснених елементів з метою уникнення місцевої втрати стійкості та корозії незахищених елементів;
  - для розтягнених елементів, не захищених від корозії, з метою уникнення її виникнення.
- 2) несучу здатність за місцевою стійкістю стиснених пластин на ділянках між кріпильними деталями слід визначати за ен 1993-1-1, приймаючи розрахункову довжину рівною  $0,6r$ . Перевірка місцевої стійкості між кріпильними деталями не потрібна, якщо відношення  $p_1/t$  менше 9  $\varepsilon$ . Відстань до краю елемента уперек зусилля не повинна перевищувати вимог до місцевого вигину для виступаючих стиснених елементів, див. Ен 1993-1-1. Ці вимоги не розповсюджуються на відстані до краю елемента вздовж зусилля.
- 3)  $t$  – товщина тоншого з зовнішніх елементів, що з'єднуються.
- 4) обмеження за розмірами для овальних отворів наведені в стандартах, на які посилаються, групи 7 (див. 1.2.7)
- 5) при розміщенні рядів кріпильних деталей у шаховому порядку, можна приймати мінімальне значення кроку  $p_2 = 1,2d_0$  за умови, що мінімальна відстань  $l$  між будь-якими суміжними отворами складає не менше  $2,4d_0$ , див. Рисунок 3.1 (б).



## А) У НАПРЯМКУ ПЕРЕДАЧІ НАВАНТАЖЕННЯ

ДЛЯ КРАЙНІХ БОЛТІВ

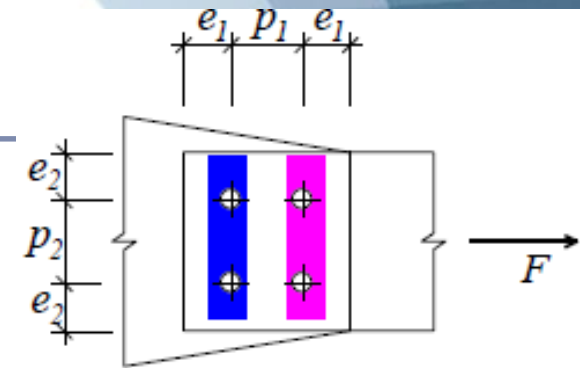
$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$$

$$e_1 = 1,2 d_0$$

$$p_1 = 2,2 d_0$$

$$e_2 = 1,2 d_0$$

$$p_2 = 2,4 d_0$$



ДЛЯ СЕРЕДНІХ БОЛТІВ

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$$

## Б) ПЕРПЕНДИКУЛЯРНО ДО НАПРЯМКУ ПЕРЕДАЧІ НАВАНТАЖЕННЯ

ДЛЯ КРАЙНІХ БОЛТІВ

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} 2,8 \frac{1,2 d_0}{d_0} - 1,7 \\ 1,4 \frac{2,4 d_0}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{c} 1,66 \\ 1,66 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 1,66$$

$K_1$  – НАЙМЕНШЕ З  $2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7$  ТА 2,5

$$\alpha_b = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{1,2 d_0}{3d_0} = 0,400$$

Outer bolt



ДЛЯ СЕРЕДНІХ БОЛТІВ

$K_1$  – НАЙМЕНШЕ З  $1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7$  ТА 2,5

Inner bolt



$$\alpha_b = \frac{p_1}{3d_0} - 0,25 = \frac{2,2 d_0}{3d_0} - 0,25 = 0,483$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b d t f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{1,66 \cdot 0,483 d t f_u}{\gamma_{M2}} = 0,802 \frac{d t f_u}{\gamma_{M2}}$$

## Несуча здатність багатоболтового з'єднання

=  $\Sigma$  несучих здатностей на зминання (Якщо несуча здатність на зріз перевищує всі несучі здатності на зминання)

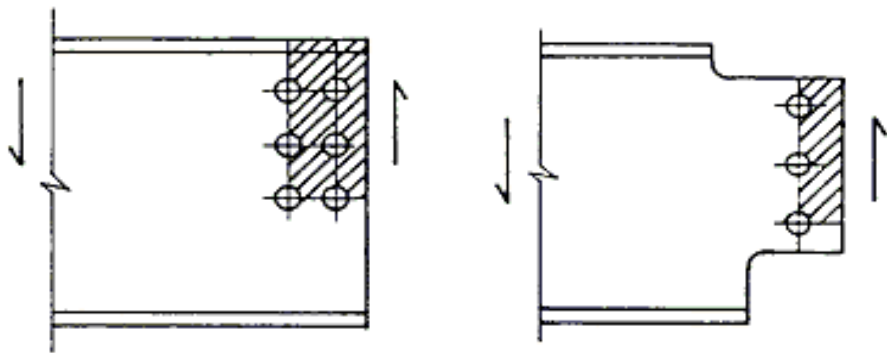
=  $n \times$  мінімальна несуча здатність (у всіх інших варіантах)

(Розділ 3.7)

# Розрахунок на розрив (вилив)

**Розрив (вилив) вузла** виникає внаслідок зсуву ряду або групи болтів уздовж поверхні зсуву групи отворів, що супроводжується розривом від дії розтягувальних зусиль уздовж лінії болтових отворів на поверхні розтягу групи болтів (3.10.2)

## Руйнування зрізу



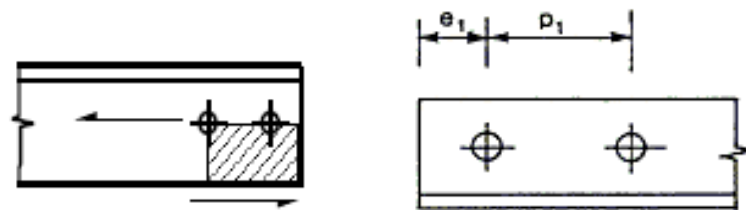
- При передачі зсувного зусилля на симетричну групу болтів без ексцентриситету

$$V_{eff,1,Rd} = f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$$

- із ексцентриситетом

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) \cdot f_y \cdot A_{nv} / \gamma_{M0}$$

## Руйнування розтягу



- Розтягнений одиночний кутик, прикріплений однією полицею одним рядом болтів --- **двома болтами**:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

Крок $p_1$	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
$\beta_2$ , при двох болтах	0,4	0,7
$\beta_3$ , при трьох та більше болтах	0,5	0,7

## З'єднання, що працюють на розтяг

Таблиця 3.2

З'єднання, що працюють на розтяг		
<b>D</b> З'єднання без попереднього натягу болтів	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Попереднє напруження не потрібне. Можуть застосовуватися болти класів 4.6–10.9. $B_{p,Rd}$ визначається за таблицею 3.4
<b>E</b> З'єднання з попереднім натягом болтів	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Слід застосовувати попередньо напружені болти класів 8.8 або 10.9. $B_{p,Rd}$ визначається за таблицею 3.4
Розрахункове розтягувальне зусилля $f_{t,Ed}$ повинно включати можливе зусилля відриву внаслідок ефекту важеля, див. 3.11. Болти розтягувального зусилля зсуву разом із розтягувальним зусиллям, повинні також задовольняти умови, наведені у таблиці 3.4		

### Несуча здатність:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$k_2 = 0.9$$

$k_2 = 0.63$  для болта із прихованою голівкою

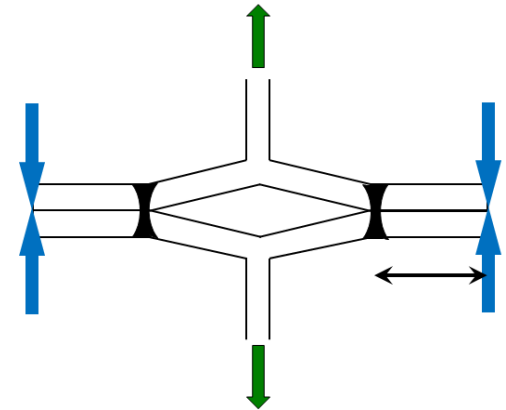
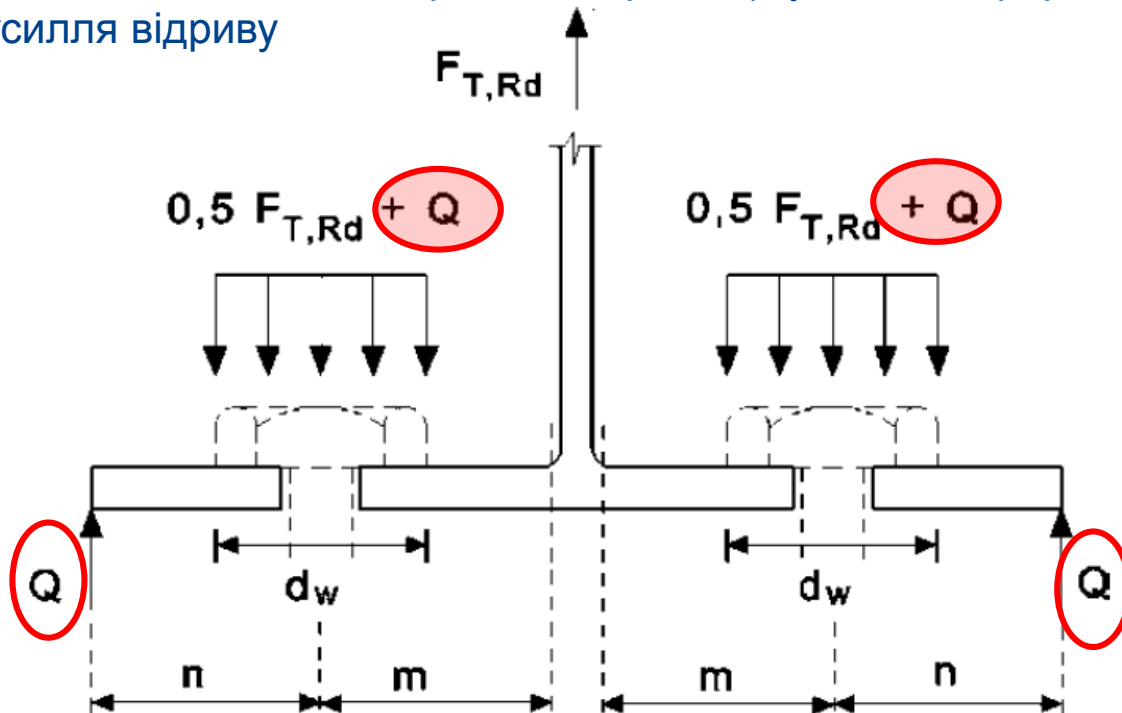


# Зусилля відриву (ефект важеля)

## 3.11 Зусилля відриву

Кріпильні деталі, що сприймають розтягувальне зусилля, слід перевіряти на дію додаткового зусилля відриву, якщо воно може виникнути.

ПРИМІТКА. Правила розрахунку, наведені у 6.2.4 (Еквівалентний Т-подібний елемент, що працює на розтяг), у неявній формі враховують зусилля відриву



Важільне  
зусилля  $Q$

# Важельні зусилля

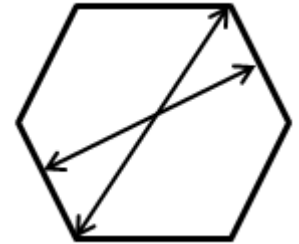
---

- Несуча здатність болтового з'єднання (включно з болтами з прихованою голівкою на  $90^\circ$ ) повинна враховувати важельні зусилля. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8 не включає конкретних правил із визначення важельних зусиль. Однак, їх опосередковано враховують принципи закладені у розділ 6.2.4 ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8.
- Важельні зусилля виникають у розтягнутих з'єднаннях. Розділ 6.2.4 ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8 дає підхід, який враховує важельні зусилля.

## Несуча здатність на продавлювання

- Із Таблиці 3.4:

$$B_{p,Rd} = 0,6\pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$$



- $d_m$  – середній розмір між точками плоских ділянок найменшої із гайок чи голівок болтів

## Сумісна дія розтягу і зсуву

Із Таблиці 3.4

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

## З'єднання із попереднім натягом

---

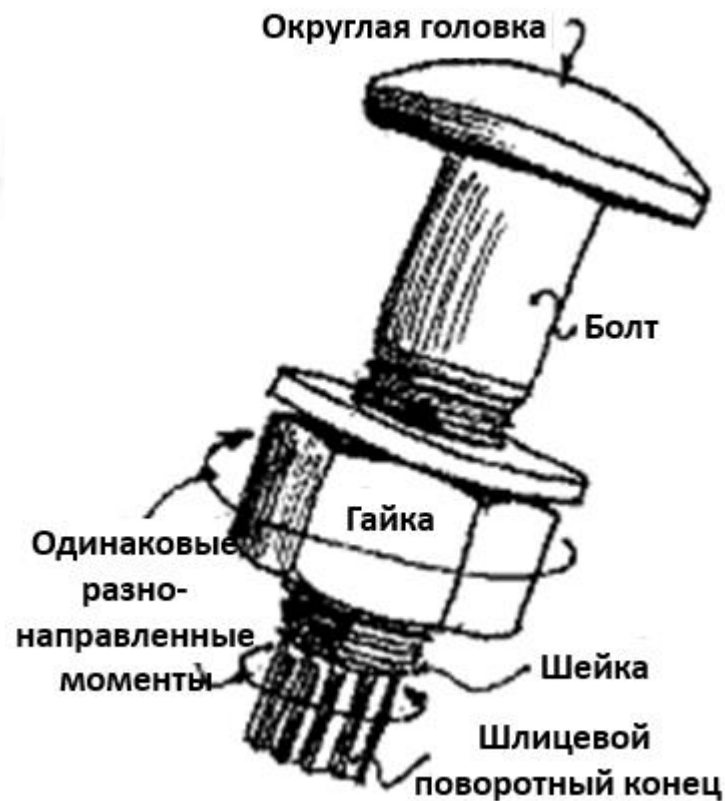
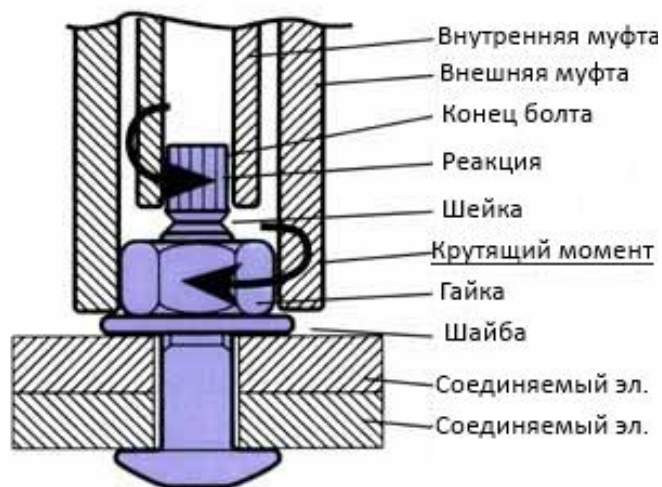
- Використовуються як крайня міра
  - Підготовка і захист поверхонь тертя є недешевими заходами
  - Збільшує вартість монтажу
- Використовуються :
  - Якщо треба запобігти проковзування, наприклад, в монтажних стиках, які сприймають момент
  - При наявності вібрацій та інших динамічних навантажень

Натяг  $F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$



# З'єднання із попереднім натягом

## Болти із контролем крутного момента



## З'єднання із попереднім натягом

- **Категорія В** – фрикційне з'єднання в граничному стані за експлуатаційною придатністю

$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$	Следует применять болты класса 8.8 или 10.9 с предварительным натяжением.
$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$	Несущая способность на сдвиг контактных поверхностей в предельном состоянии по эксплуатационной пригодности определяется по 3.9
$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	

- Несуча здатність з'єднання, як фрикційного, перевіряється на навантаження для граничного стану за експлуатаційною придатністю
- Несуча здатність на зріз перевіряється на навантаження для граничного стану за несучою здатністю
- Несуча здатність на зминання перевіряється на навантаження для граничного стану за несучою здатністю

## З'єднання із попереднім натягом

- **Категорія С** – фрикційне з'єднання в граничному стані за несучою здатністю

$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$	Следует применять болты класса 8.8 или 10.9 с предварительным натяжением. Несущая способность на сдвиг контактных поверхностей в предельном состоянии по несущей способности определяется по 3.9. $N_{net,Rd}$ — см. 3.4.1(1) в)
$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	
$F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	

- Несуча здатність з'єднання, як фрикційного, перевіряється на навантаження для граничного стану за несучою здатністю
- Несуча здатність на зминання перевіряється на навантаження для граничного стану за несучою здатністю
- Перевірка з'єднаних елементів по площі перерізу нетто



## Несуча здатність фрикційного з'єднання

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C}$$

Т.3.6.

Опис	$k_s$
Болти, встановлені у нормальні отвори	1,0
Болти, встановлені в отвори з великим зазором або у короткі овальні отвори при передачі навантаження перпендикулярно до поздовжньої осі отвору.	0,85
Болти, встановлені у довгі овальні отвори при передачі навантаження перпендикулярно до поздовжньої осі отвору.	0,7
Болти, встановлені у короткі овальні отвори при передачі навантаження паралельно поздовжній осі отвору.	0,76
Болти, встановлені у довгі овальні отвори при передачі навантаження паралельно поздовжній осі отвору.	0,63

# Несуча здатність фрикційного з'єднання

**Таблиця 3.7 Значення коефіцієнта тертя для болтів із попереднім натягом**

Клас поверхонь тертя (див. стандарти, на які посилається група 7 (див. 1.2.7))	Коефіцієнт тертя $\mu$
A	0,5
B	0,4
C	0,3
D	0,2

ПРИМІТКА 1. Вимоги до випробувань наведені у стандартах, на які посилається група 7 (див. 1.2.7). ПРИМІТКА 2. Класифікація обробки будь-яких інших поверхонь повинна бути заснована на результатах випробувань зразків поверхонь за процедурою, викладеною у стандартах, на які посилається група 7 (див. 1.2.7). ПРИМІТКА 3. Визначення класів поверхонь тертя наведені у стандартах, на які посилається група 7 (див. 1.2.7). ПРИМІТКА 4. Оброблена фарбована поверхня з плином часу може втратити попередній натяг.

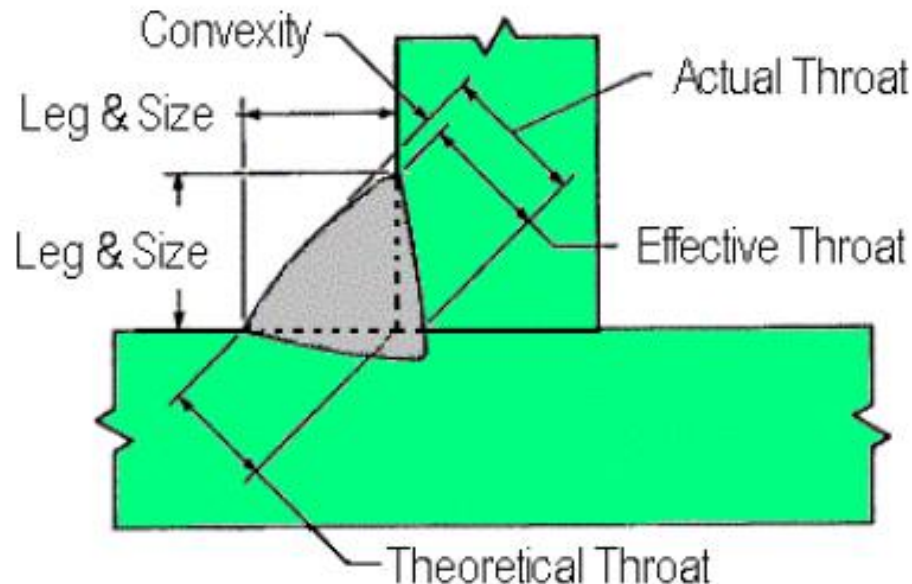
Див.  
EN 1090-2-1

**Таблиця 18 Класифікація, яка може бути прийнята для поверхонь тертя**

Обработка поверхности	Класс	Коеф. трения $\mu$
Поверхности после дробеструйной или пескоструйной обработки, без ржавчины и раковин	A	0,50
Поверхности после дробеструйной или пескоструйной обработки: а) Металлизированное покрытие с алюминиевым или цинковым напылением б) Лако-красочное покрытие силикатами щелочных металлов (цинк) толщиной от 50 до 80 мкм	B	0,40
Поверхности, очищенные металлическими щетками или горелкой, без ржавчины и грязи	C	0,30
Прокатные или аналогичные поверхности	D	0,20

# Зварні з'єднання

- Найбільш поширеними є кутові шви з катетом 6 мм і 8 мм
- Зварні шви :
  - **Кутові** (для з'єднання деталей, зварювані поверхні яких розташовані під кутом від  $60^\circ$  до  $120^\circ$ )
  - **Стикові** (зварні з'єднання із повним проваром, якщо по всій товщині з'єднання забезпечена глибина провару і зплавлення металу шва із основним металом).



# Процес зварювання

---

- Вимоги щодо кваліфікації зварювальника із відповідним рівнем підготовки :
  - Положення,
  - Технологія,
  - Тип зварювання
- Потрібний контроль технології виконання для мінімізації ризику утворення тріщин
  - Контроль вуглецевого еквіваленту (CEV)
  - Контроль загальної товщини (теплопоглинання)
  - Із точки зору технологічного процесу, зварювальних матеріалів, перемінних параметрів режиму зварювання (сила електричного струму, напруга, швидкість, положення)

# Довжина зварного шва

---

- Як правило, приймається загальна довжина шва за відніманням величин його висоти ( $a$ ) з обох кінців (початок і кінець – місця виникнення недосконалостей)
- (1) Розрахункову довжину зварного шва / слід приймати рівною довжині, протягом якої шов є повнорозмірним. Її можна прийняти рівною повній довжині шва, **віднявши його подвоєну розрахункову товщину  $a$** . Зниження розрахункової довжини зварного шва не потребується за умови, що зварний шов є повнорозмірним по всій його довжині, включаючи початок та кінець шва.
  - (2) Зварний кутовий шов розрахунковою довжиною менше 30 мм або менше 6 товщин зварного шва (враховується більше з цих значень) не є несучим швом.

# Несуча здатність зварних швів

- Прямий метод - зусилля, що передаються зварним швом одиничної довжини, розкладаються на наступні складові: паралельну та поперечну відносно поздовжньої осі зварного шва, а також нормальну та поперечну складові до площини його перерізу. (4.5.3.2)

- Спрощений метод – п.4.5.3.3

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw.d} a$$

$a$  - висота зварного шва:

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

$f_u$  - межа міцності на розтяг найменш міцної деталі

$\beta_w$  – залежить від марки сталі:

= 0.8 для S 235

= 0.85 для S 275

= 0.9 для S 355

Сталь	$a$
S235	0,37t
S355	0,45t
S420M	0,61t
S460M	0,63t

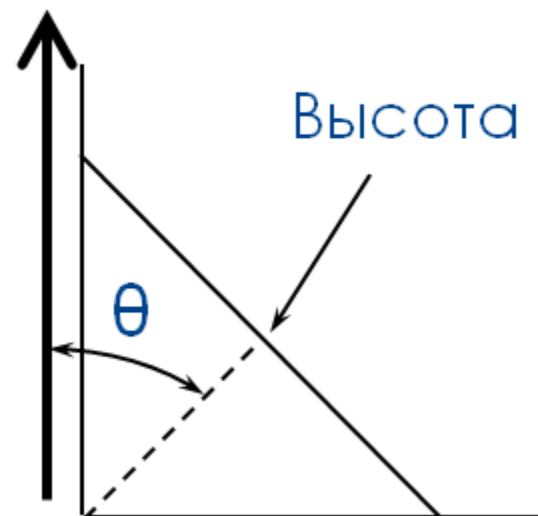
# Несуча здатність зварних швів поперек шва

- Поперечні зварні шви розраховують як повдзовжні, з урахуванням коефіцієнту  $K$

$$K = \sqrt{\frac{3}{1 + 2 \cos^2 \theta}}$$

Расчетная несущая способность шва

Катет шва	Высота шва	Соппротивление вдоль шва	Соппротивление поперек шва
s мм	a мм	$F_{w,L,Rd}$ кН/мм	$F_{w,T,Rd}$ кН/мм
3.0	2.1	0.47	0.57
4.0	2.8	0.62	0.76
5.0	3.5	0.78	0.96
6.0	4.2	0.94	1.15
8.0	5.6	1.25	1.53
10.0	7.0	1.56	1.91
12.0	8.4	1.87	2.29
15.0	10.5	2.34	2.87
18.0	12.6	2.81	3.44
20.0	14.0	3.12	3.82
22.0	15.4	3.43	4.20
25.0	17.5	3.90	4.78



При  $\theta = 45^\circ$ ,  
 $K = 1.225$



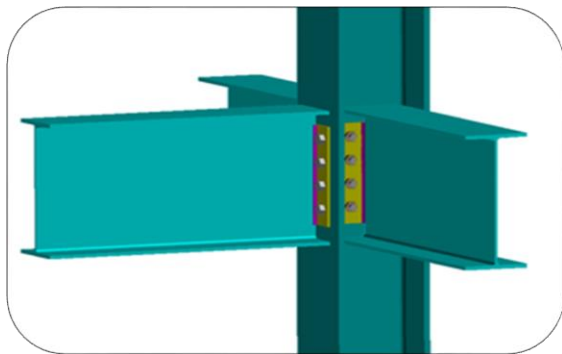
# Шарнірні з'єднання

## Два широко розповсюджених типи з'єднань

- Опорний фланець (на всю висоту або частину висоти)
- Через ребро

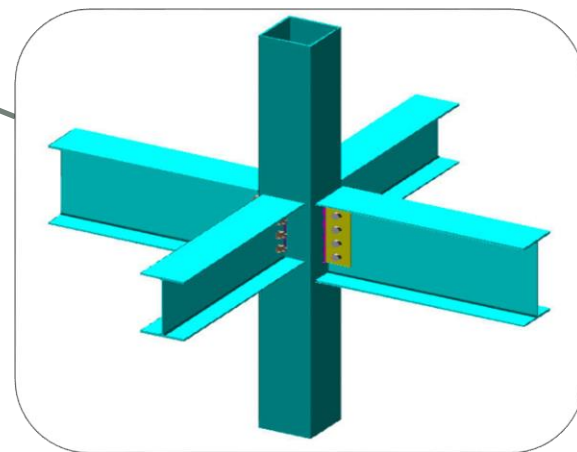
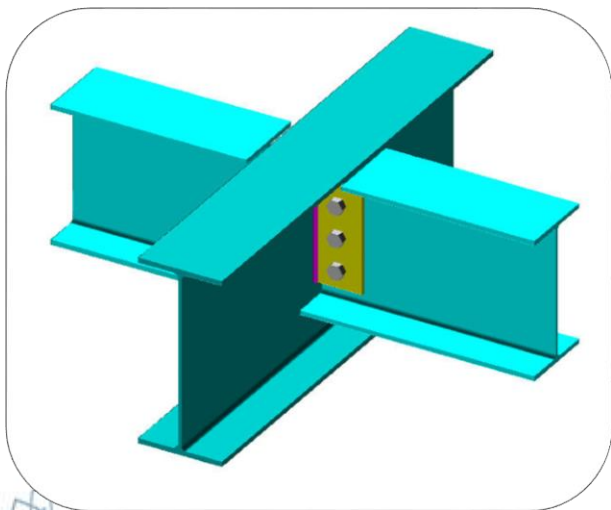
Фланець на частину висоти виконують, як мінімум, на 60% висоти перерізу і приварюють тільки до стінки

### Фланцеві шарнірні вузли





## Шарнірні вузли з ребром

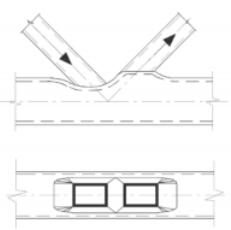
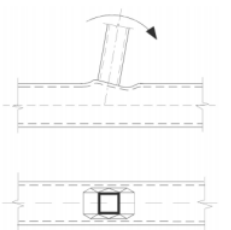
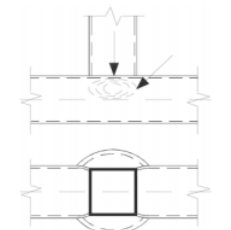
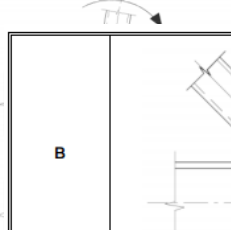
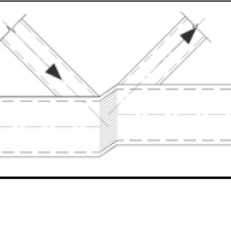
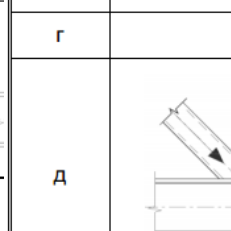


# Вузли елементів із замкнених профілів

- Перевірки засновані на серіях випробувань
- EN 1993-1-8 містить відповідні розрахункові методики

Вид отказа	При действии осевой силы	При действии изгибающего момента
а		
б		
в		
г		

Рис. 7.1, 7.2, 7.3

Вид отказа	При действии осевой силы	При действии изгибающего момента
а		
б		
в		

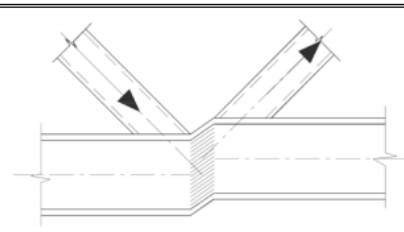
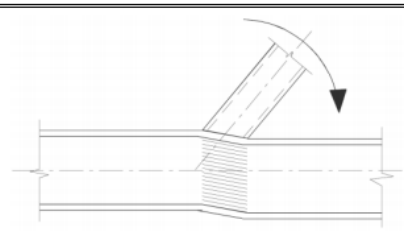
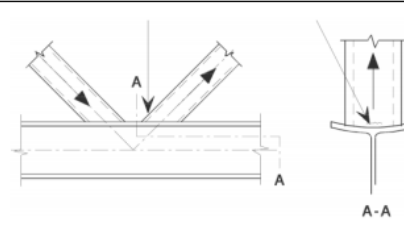
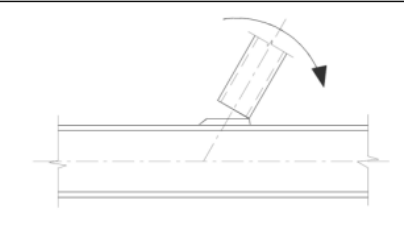
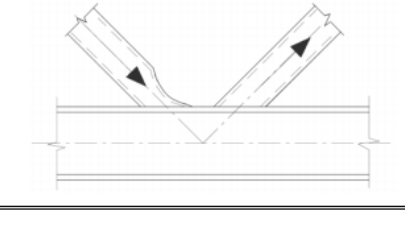
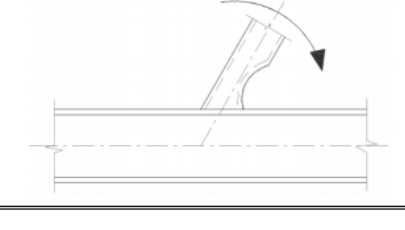
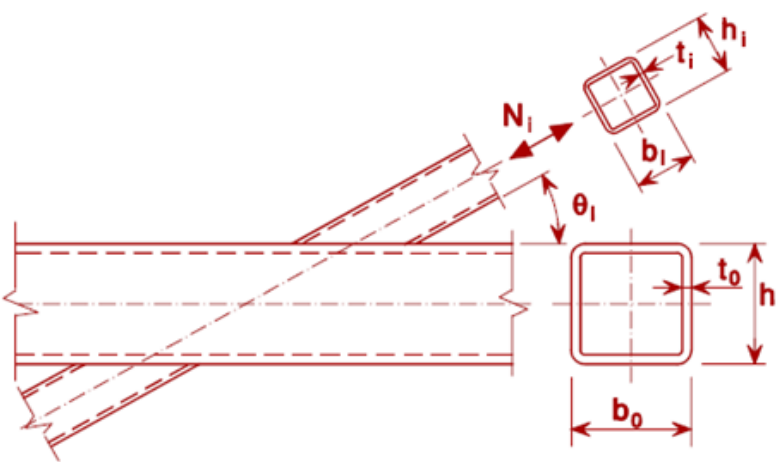
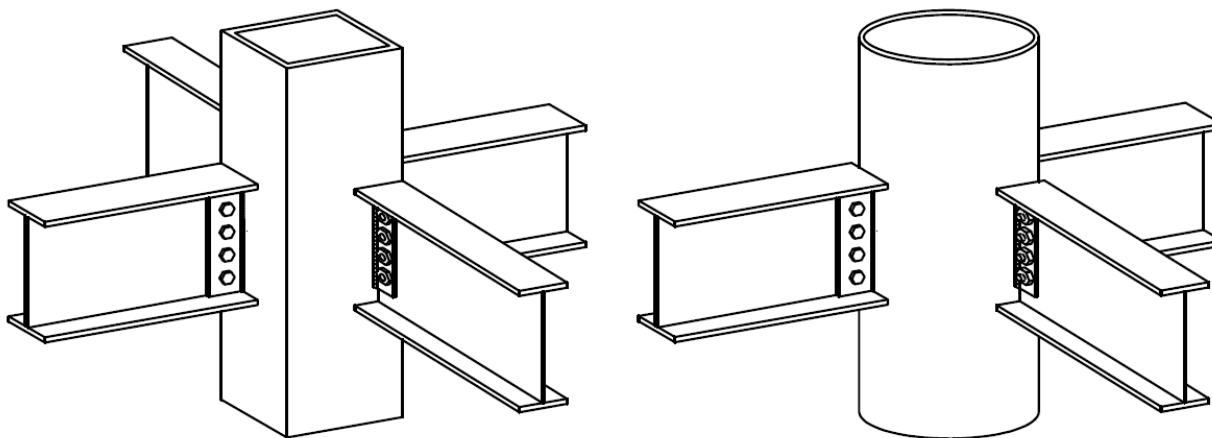
в		
г	—	—
д		
е		

Рис. 7.1, 7.2, 7.3

Тип узла	Несущая способность [ $i = 1$ ]
	Разрушение по грани пояса $\beta \leq 0,85$
	$N_{i,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_1} \left( \frac{2\eta}{\sin \theta_1} + 4\sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$
	Потеря устойчивости стенки пояса <sup>1)</sup> $\beta = 1,0$ <sup>2)</sup>
	$N_{i,Rd} = \frac{f_b t_0}{\sin \theta_i} \left( \frac{2h_i}{\sin \theta_1} + 10t_0 \right) / \gamma_{M5}$
	Отказ элемента решетки $\beta \geq 0,85$
	$N_{i,Rd} = f_{yi} t_i (2h_i - 4t_i + 2b_{eff}) / \gamma_{M5}$
	Продавливание $0,85 \leq \beta \leq (1 - 1/\gamma)$
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_0}{\sqrt{3} \sin \theta_1} \left( \frac{2h_i}{\sin \theta_1} + 2b_{e,p} \right) / \gamma_{M5}$

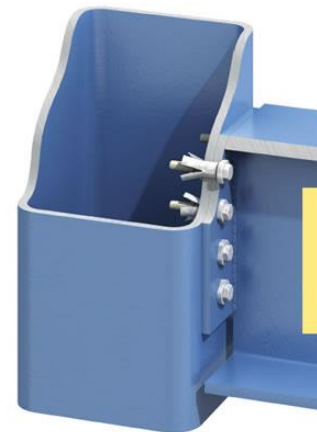
# Вузли елементів із замкнених профілів

- Як правило, мають несучу здатність нижче, чим елементи конструкції
  - Будь який проект повинен передбачати ретельний вибір елементів конструкції та перевірку вузлів (не тільки елементів)
- В ідеалі – слід використовувати програмне забезпечення

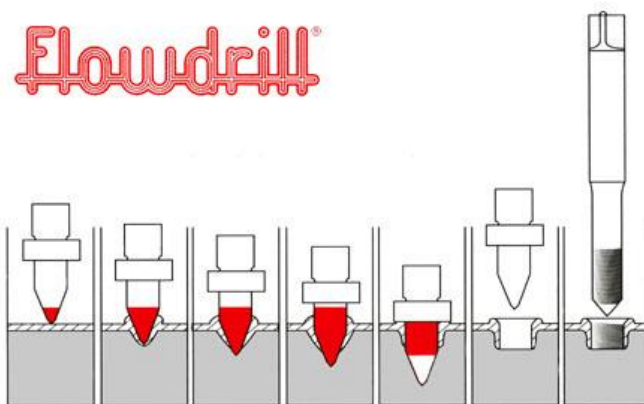


## З'єднання елементів із замкнених профілів

- Розпірні болти Holo або аналоги



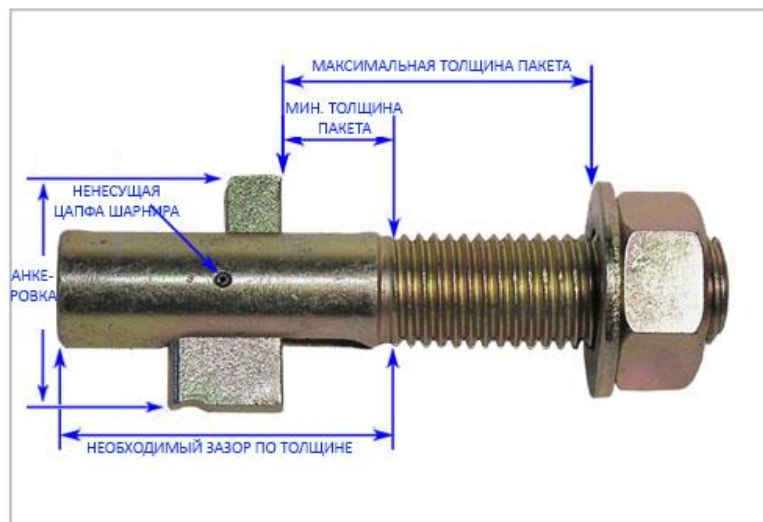
- Свердла Flowdrill



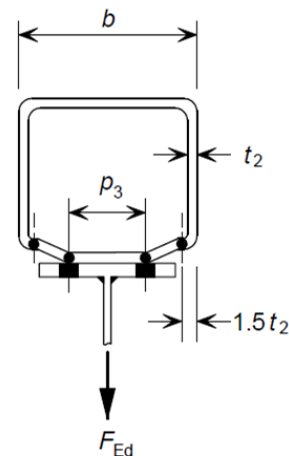
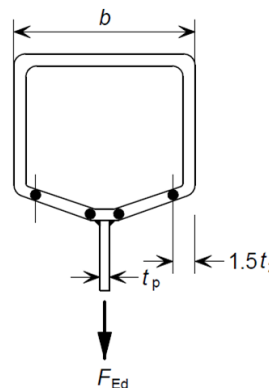


# З'єднання елементів із замкнених профілів

## ➤ Прихований болт

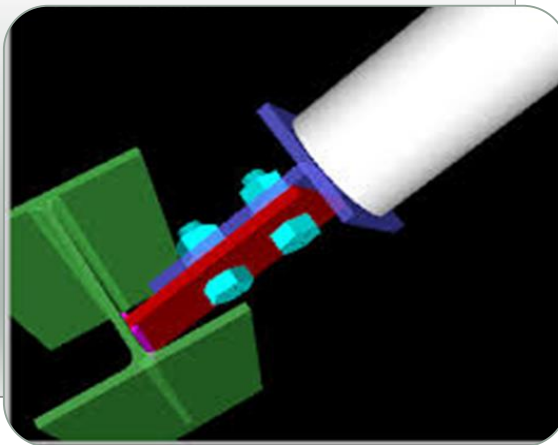


**Слід звертати увагу на розтяг у стінці!**

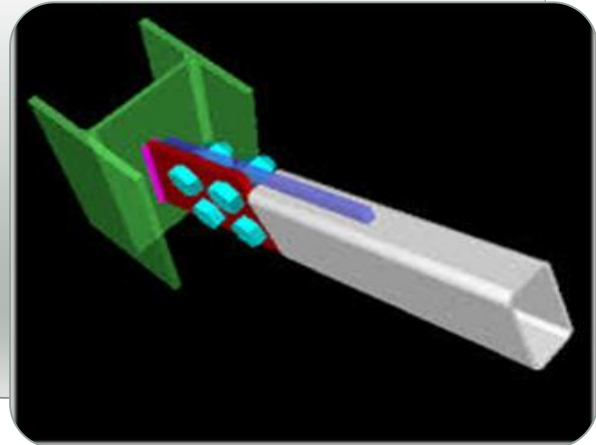


## Два широко поширених типи:

Т-подібний (тавровий)



Із врізкою



## Із врізкою



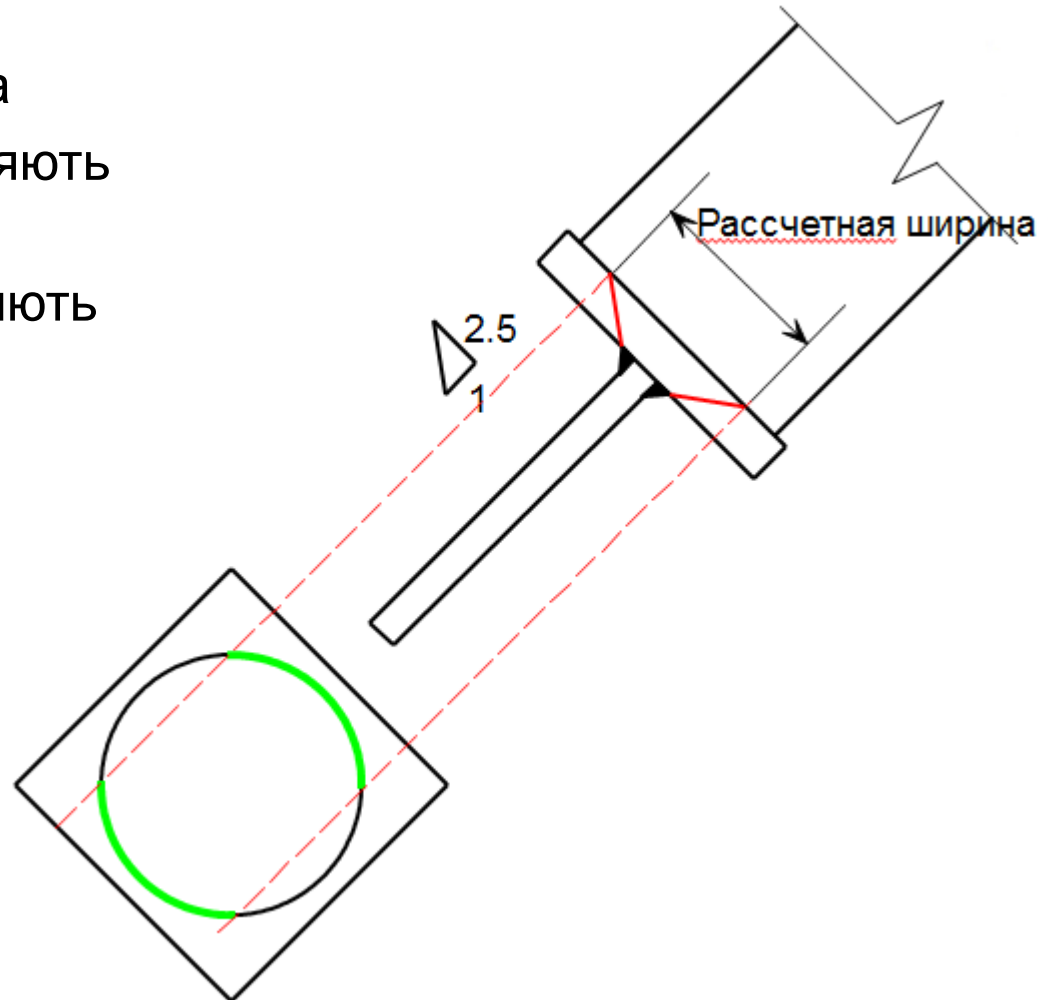
- Як правило, для більш високих навантажень

# Т-подібне (таврове) з'єднання



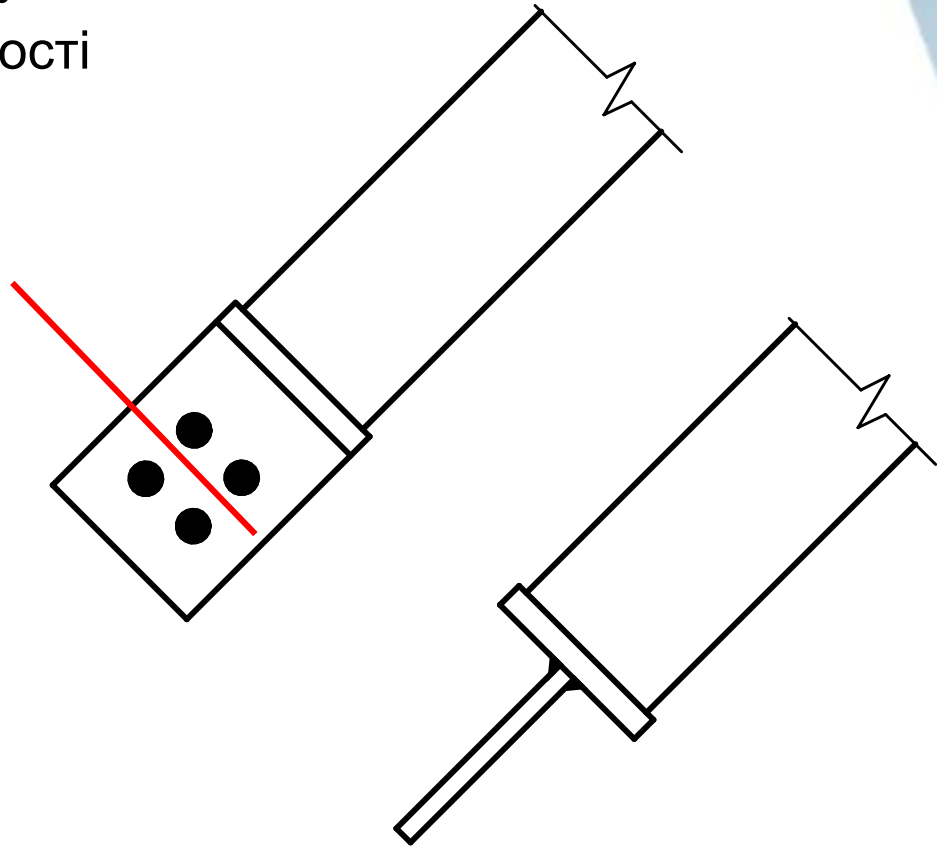
## З'єднання компонентів у вузлах в'язей

- Розрахункова ширина
- Зварний шов перевіряють на цій ділянці
- Стінку труби перевіряють на цій ділянці



# З'єднання компонентів у вузлах в'язей

- Перевірки фасонки:
  - Переріз бруто за межею текучості
  - Переріз нетто за межею міцності
  - Місцева стійкість
- Болтові з'єднання
  - На зріз
  - На зминання



**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**

**ПИТАННЯ?**