

Лекція № 37

Тема 16. Зварні з'єднання

16.1. Загальна характеристика

Способи зварювання:

- 1) ручне дугове зварювання металевим електродом;
- 2) автоматичне дугове зварювання металевим електродом під флюсом;
- 3) електрошлакове зварювання металевим електродом;
- 4) контактне зварювання .

Ручне дугове зварювання металевим електродом.

Електрод – сталевий стержень з товстим захисним покриттям, яке при плавленні виділяє велику кількість шлаку та газу, що утворює захисне середовище для шва і цим забезпечує підвищення його якості.

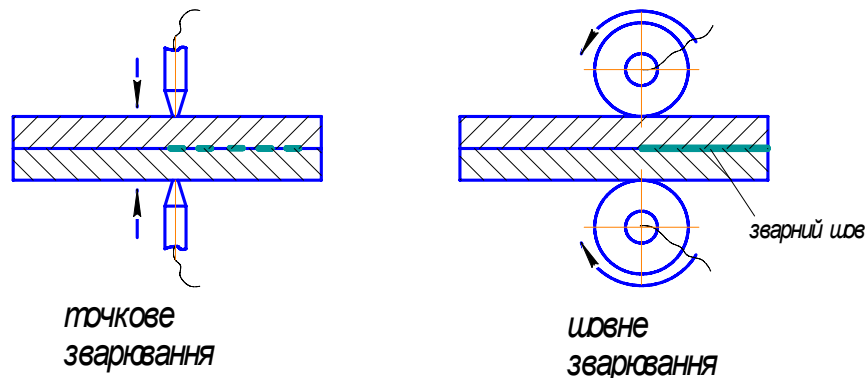
Теплота, що виділяється від дуги, виникає між деталлю та електродом, оплавляє краї деталі і розплавляє електрод, метал з якого йде на формування шва. Ручне дугове зварювання виконується для з'єднання короткими швами, або складними за конфігураціями швами в індивідуальному та малосерійному виробництвах. З'єднуються деталі завтовшки 1-60 мм і більше.

Автоматичне дугове зварювання металевим електродом під флюсом. Зварювання виконується машинами. До флюсу входять шлакоутворювальні (для захисту від впливу зовнішнього середовища), легуючі та розкислювальні компоненти. Забезпечується висока продуктивність та якість зварних швів. Цей метод економічний для прямолінійних і кільцевих швів значної довжини, використовується у великосерійному і масовому виробництвах. Зварюються деталі завтовшки 2- 180 мм і більше.

Електрошлакове зварювання металевим електродом.

Джерелом нагрівання є теплота, що виділяється при проходженні струму від електроду до деталі через шлакову ванну. Зварюються деталі із сталі і чавуну завтовшки до 1 м (станини, корпуси).

Контактне зварювання використовується для з'єднання деталей, виготовлених із тонколистових елементів. Нагрівання стику з'єднуваних деталей відбувається теплотою, яка виділяється при проходженні електричного струму через стик деталей.



Матеріал при цьому переходить в пластичний стан або оплавляється і після подальшого деформування (стискуванням) зварюється.

Крім вищевказаних, використовуються спеціальні способи зварювання: в середовищі інертних газів (аргону, гелію); у вакуумних камерах електронним променем, дифузійне зварювання. Ці методи дозволяють зварювати високолеговані сталі, кольорові метали, тугоплавкі метали і неметалеві матеріали (кераміка).

Зварювання використовують не тільки як спосіб з'єднання деталей, а як технологічний метод виготовлення самих деталей (зварних станин, рам, ферм, труб, корпусів суден, резервуарів та ін.). Зварні деталі із успіхом замінюють деталі ковани, штамповані або виготовлені литтям.

Переваги зварних з'єднань:

- 1) Відсутність додаткових з'єднувальних елементів.
- 2) Рівномірність шва і елементів деталей, що з'єднуються.
- 3) Економія матеріалу та зменшення маси виробів.
- 4) Висока продуктивність та простота процесу зварювання.

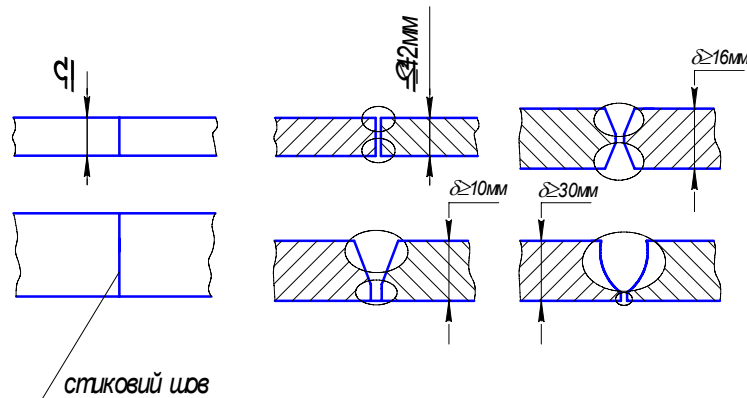
Недоліки зварних з'єднань:

- 1) Поява температурних напружень і пов'язане з цим викривлення деталей після зварювання.
- 2) Значна концентрація напружень в області зварних швів.
- 3) Знижена стійкість проти корозії.

16.2. Види зварних з'єднань і типи зварних швів

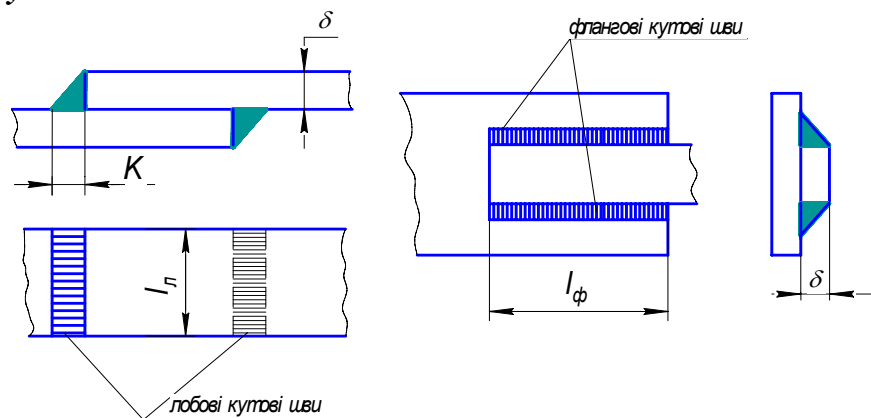
Види зварних з'єднань: стикові, внапуск, таврові та кутові.

Стикове з'єднання



Стиковий шов виконується контактним або дуговим зварюванням.

З'єднання внапуск

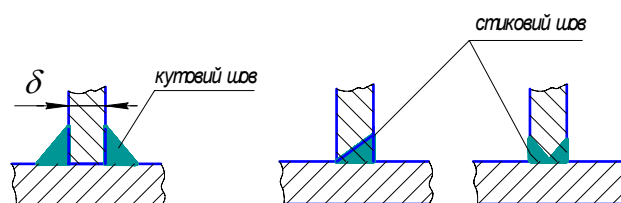


Катет зварного шва $K \leq \delta$, але не менше 3 мм при $\delta \geq 3\text{мм}$.

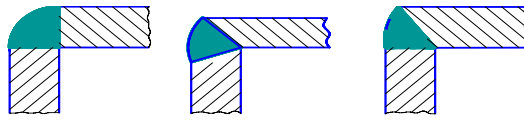
Довжина лобових швів l_n не обмежується. Довжина флангових швів $l_\phi \leq 50K$, оскільки зі збільшенням l_ϕ підвищується нерівномірність розподілення напружень у шві.

Таврове з'єднання.

Таврові з'єднання виконуються кутовими або стиковими швами.

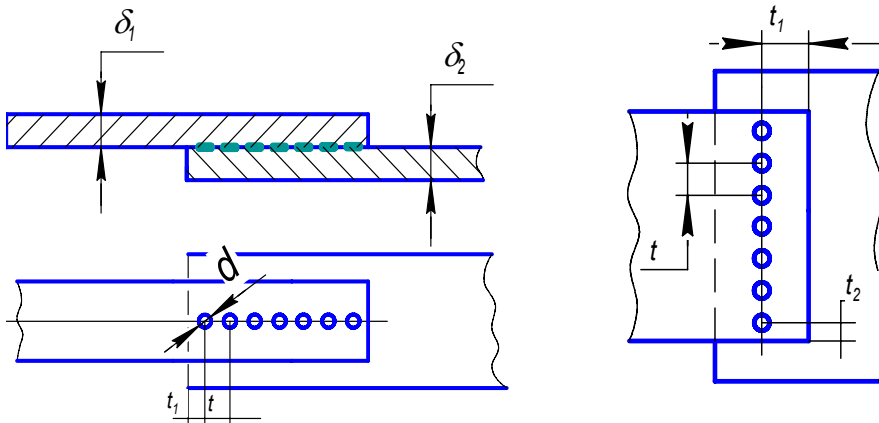


Кутове з'єднання

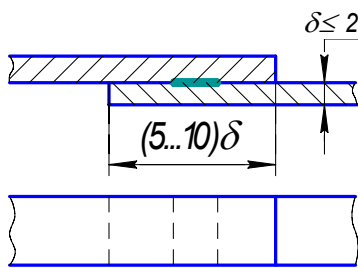


Контактне з'єднання:

а) точкове контактне зварювання



б) шовне контактне зварювання



Рекомендації щодо проектування точкових з'єднань:

$$\delta_1 + \delta_2 \leq (8 \dots 10) \text{ мм}$$

При $\delta_{\min} \geq 2 \text{ мм}$

$$d = 1,2S + 4 \text{ мм при } S \leq 3 \text{ мм};$$

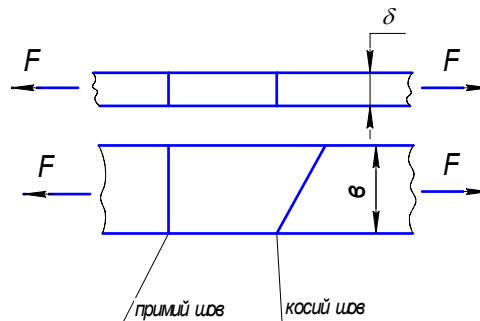
$$d = 1,5S + 5 \text{ мм при } S > 3 \text{ мм}.$$

$$\text{Крок } t \leq 3d; \quad t_1 \geq 2d;$$

$$t_2 \geq 1,5d;$$

16.3. Розрахунок зварних з'єднань

1. Розрахунок стикових з'єднань.



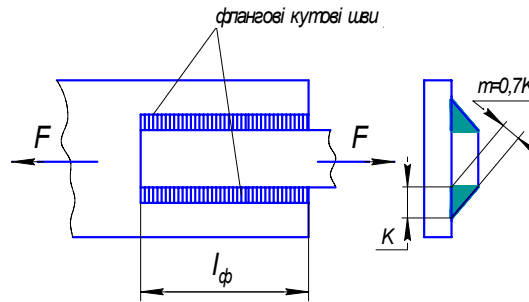
Для прямих і косих швів розрахунок на розтяг:

$$\sigma = \frac{F}{\delta \cdot B} \leq [\sigma]'$$

Концентрація напружень для підсилення швів $K_\sigma \leq 1,6$, для швів із знятим механічним способом підсиленням $K_\sigma = 1$.

2. Розрахунок з'єднань внапуск

а) Розрахунок флангових швів



$$\tau = \frac{F}{A_{зр.}} \leq [\tau]'$$

Розрахунок на зріз:

$$\tau = \frac{F}{0.7 \cdot K \cdot l_p} \leq [\tau]'$$

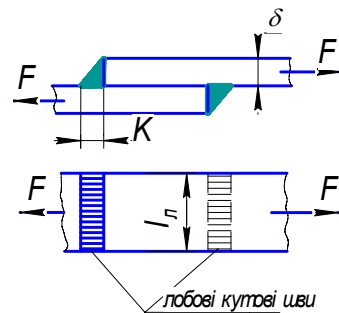
K – катет шва; $A_{зр.} = m \cdot l_p$ – розрахункова площа зрізу, $m = K \cdot \sin 45^\circ \approx 0.7K$
 $A_{зр.} = 0.7K \cdot l_p$; $l_p = 2l_\phi$ – розрахункова довжина швів.

б) Розрахунок лобових швів

$$\tau = \frac{F}{A_{зр.}} \leq \frac{F}{0.7 \cdot K \cdot l_p} \leq [\tau]'$$

Довжина швів розрахункова:

$$l_p = 2l_n$$

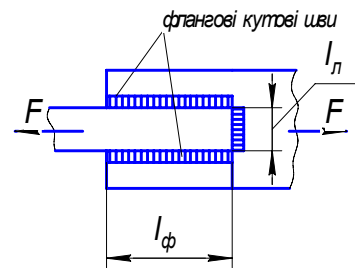


в) Розрахунок комбінованих з'єднань

$$\tau = \frac{F}{0.7 \cdot K \cdot l_p} \leq [\tau]'$$

$$l_p = 0.3l_n + 1.5l_\phi$$

Коефіцієнти враховують нерівномірність розподілення навантаження на флангові шви. Рекомендується $l_\phi = 0.5l_n$;

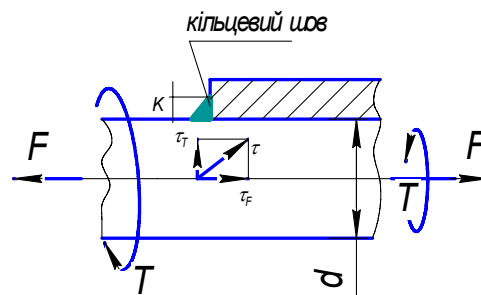


г) Розрахунок кільцевих швів, навантажених осовою силою і крутним моментом

$$\tau_F = \frac{F}{0.7K\pi d};$$

$$\tau_T = \frac{F_t}{0.7K\pi d}; \quad F_t = \frac{2T}{d};$$

$$\tau_T = \frac{2T}{0.7K\pi d^2}; \quad \tau = \sqrt{\tau_F^2 + \tau_T^2} \leq [\tau]'$$



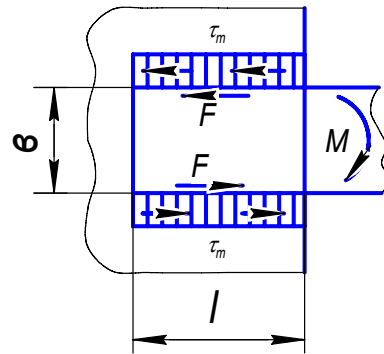
д) Розрахунок з'єднань, навантажених моментом або довільно орієнтованою силою

З'єднання, навантажене моментом M .

Для коротких швів $l < b$
припускають, що τ розподіляються
рівномірно вздовж швів.

$$F = \frac{M}{b};$$

$$\tau_M = \frac{F}{0.7 \cdot K \cdot l} = \frac{M}{0.7 \cdot K \cdot l \cdot b} \leq [\tau]'$$



З'єднання, навантажене силою F .

Шви навантажуються:

$$F_1 = F \cos \alpha;$$

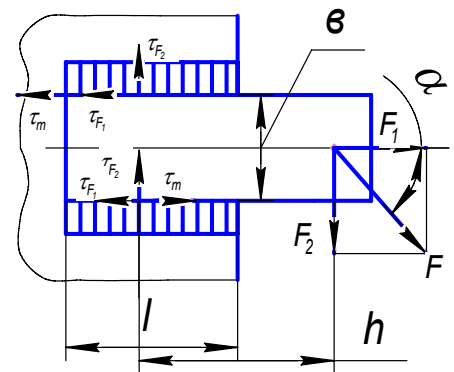
$$F_2 = F \sin \alpha;$$

$$M = F_2 h;$$

$$\tau_{F_1} = \frac{F_1}{2 \cdot 0.7 \cdot K \cdot l}; \tau_{F_2} = \frac{F_2}{2 \cdot 0.7 \cdot K \cdot l};$$

$$\tau_M = \frac{M}{0.7 \cdot K \cdot l \cdot b};$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{(\tau_M + \tau_{F_1})^2 + \tau_{F_2}^2} \leq [\tau]'$$



3. Розрахунок таврових з'єднань

З'єднання виконане кутовими швами.

Шви навантажені зусиллями:

$$F_1 = F \cos \alpha;$$

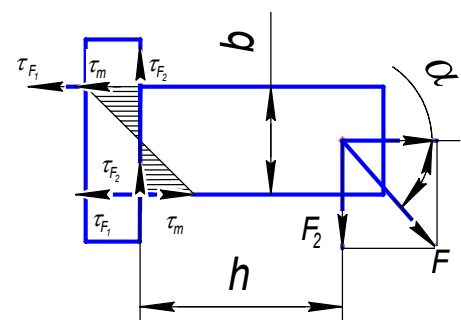
$$F_2 = F \sin \alpha;$$

$$M = F_2 h;$$

$$\tau_{F_1} = \frac{F_1}{2 \cdot 0.7 \cdot K \cdot b}; \tau_{F_2} = \frac{F_2}{2 \cdot 0.7 \cdot K \cdot b};$$

$$\tau_M = \frac{3M}{0.7 \cdot K \cdot b^2};$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{(\tau_M + \tau_{F_1})^2 + \tau_{F_2}^2} \leq [\tau]'$$



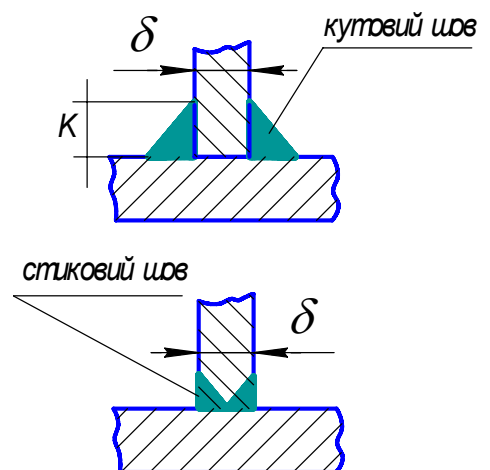
З'єднання виконано стиковим швом

Напруження в стиковому шві:

$$\sigma_{F_1} = \frac{F_1}{b \cdot \delta}; \sigma_{F_2} = \frac{F_2}{b \cdot \delta}; \sigma_M = \frac{M}{W_0}; W_0 = \frac{\delta \cdot b^2}{6}$$

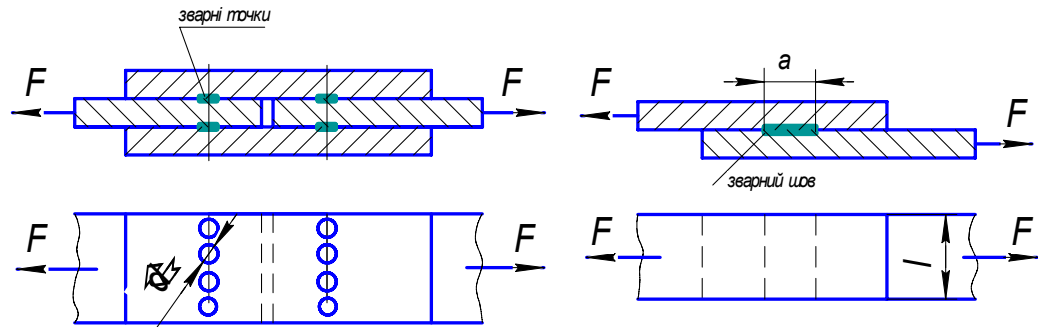
$$\sigma_M = \frac{6M}{\delta \cdot b^2}$$

За III теорією міцності маємо:



$$\tau_{\max} = \sqrt{(\tau_M + \tau_{F_1})^2 + \tau_{F_2}^2} \leq [\tau]_p'$$

4. Розрахунок з'єднань, виконаних контактним зварюванням.



$$\tau = \frac{4F}{\pi \cdot d^2 \cdot z \cdot i} \leq [\tau]';$$

z – число зварних точок;
 i – число площин зрізу;
 ($z=4$; $i=2$).

$$\tau = \frac{F}{a \cdot l} \leq [\tau]';$$

a – ширина шва;
 l – довжина шва.

5. Допустимі напруження

Для ручного дугового і контактного зварювання: $[\tau]' = 0,60[\sigma]_p$;

для автоматичного зварювання: $[\tau]' = 0,65[\sigma]_p$.

Допустиме напруження на розтяг для матеріалів з'єднувальних деталей $[\sigma]_p = \frac{\sigma_T}{n}$,
 де запас міцності $n = 1,2 \dots 1,8$.

При циклічному навантаженні зварного шва $[\tau]_R' = [\tau]' \gamma$,

$$\text{де } \gamma = \frac{1}{(0,6 \cdot K_e \pm 0,25) - (0,6 \cdot K_e \mp 0,25)R}$$

Тут K_e – ефективний коефіцієнт концентрації напружень;

для кутових флангових швів $K_e = 3,4$;

для лобових швів при ручному зварюванні $K_e = 2,3$;

при автоматичному зварюванні $K_e = 1,7$.

R – коефіцієнт асиметрії циклу $R = \frac{\tau_{\min}}{\tau_{\max}}$

Верхні знаки, коли середнє напруження в циклі $\tau_M = \frac{\tau_{\max} + \tau_{\min}}{2} > 0$

$\left(\sigma_M = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} > 0 \right)$. Нижні знаки, коли $\tau_M < 0$ $\sigma_M < 0$.

Допустимі напруження для стикових швів:

автоматичне зварювання: $[\sigma]_p' = [\sigma]_c' = [\sigma]_p$;

ручне дугове зварювання: $[\sigma]_p' = 0,9[\sigma]_p$; $[\sigma]_c = [\sigma]_p$.

Допустимі напруження для різних випадків зварювання, навантаження наведені в таблицях.