

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

**З ДИСЦИПЛІНИ «МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ»**

для студентів всіх форм навчання спеціальності

G19 Будівництво та цивільна інженерія

**2025**



## ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	4
Практичне заняття №1. Розрахунок зварних з'єднань встик .....	5
Задачі для самостійного вирішення .....	13
Практичне заняття №2. Розрахунок зварних з'єднань внапуск .....	17
Задачі для самостійного вирішення .....	26
Практичне заняття №3. Розрахунок зварних з'єднань в тавр .....	31
Задачі для самостійного вирішення .....	36
Практичне заняття №4. Розрахунок болтових з'єднань на зсув.....	40
Завдання для самостійного рішення .....	45
Практичне заняття №5. Розрахунок болтових з'єднань на розтяг .....	49
Завдання для самостійного рішення .....	51
Практичне заняття №6. Розрахунок з'єднань на високоміцних болтах.....	53
Завдання для самостійного рішення .....	55
Перелік джерел посилання .....	59
Додаток А .....	61
Додаток Б .....	62
Додаток В.....	65

## Вступ

Дисципліна «Металеві конструкції» є однією з базових у підготовці фахівців спеціальності G19 Будівництво та цивільна інженерія. Її вивчення спрямоване на формування у студентів знань щодо принципів роботи, розрахунку та проєктування сталевих конструктивних елементів будівель і споруд.

Практичні заняття забезпечують закріплення теоретичного матеріалу та формування навичок інженерних розрахунків, необхідних для професійної діяльності. У методичних вказівках подано алгоритми виконання розрахунків основних типів з'єднань металевих конструкцій: зварних у стику, внапуск та в тавр, а також болтових з'єднань. Наведено приклади застосування чинних нормативних документів та довідкових даних.

Метою виконання практичних робіт є:

- відпрацювання методів визначення несучої здатності зварних та болтових з'єднань;
- набуття навичок використання нормативних матеріалів при розрахунках;
- формування вмінь аналізувати й перевіряти міцність та надійність металевих елементів у різних умовах роботи;
- підготовка до виконання курсових і дипломних проєктів;

Отримані компетентності створюють основу для практичного застосування сучасних методів розрахунку та підвищують готовність студентів до вирішення інженерних завдань у сфері промислового та цивільного будівництва.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1. РОЗРАХУНОК ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ВСТИК

З'єднання встик є найпростішим і надійнішим способом з'єднання металевих конструкцій.

При дії на зварний шов осьових розтягуючих або стискаючих зусиль (рис. 1.1, а) міцність стикового шва перевіряють за формулою:

$$\sigma_w = \frac{N}{A} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c, \quad (1.1)$$

де  $A_w$  - площа зварного шва;

$R_{wy}$  - розрахунковий опір стикового шва;

$\gamma_c$  - коефіцієнт умови роботи конструкції, що приймається за [1]; якщо значення коефіцієнта в умові задачі не обумовлено, то його приймають рівним одиниці.

В швах, що працюють на стиснення, розрахунковий опір шва приймається рівним розрахунковому опору сталі елементів, що з'єднуються, тобто  $R_{wy} = R_y$ .

В швах, що працюють на розтягування,  $R_{wy} = R_y$  тільки за наявності фізичних методів контролю якості шва, при візуальному контролі якості шва  $R_{wy} = 0,85R_y$ .

Розрахункові опори сталей різних марок  $R_y$  залежно від виду прокату і товщини приведені в табл. А.1 додатку А. Якщо з'єднуються встик два листи (рис. 1.1, а), то площа шва:

$$A_w = t_w \cdot l_w,$$

і умова міцності (1.1) запишеться у вигляді:

$$\sigma_w = \frac{N}{t_w \cdot l_w} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c, \quad (1.2)$$

де  $t_w$  - товщина зварного шва, що приймається рівній якнайменшій товщині листів, що з'єднуються, тобто  $t_w = t_{min}$ ;

$l_w$  - розрахункова довжина стикового шва.

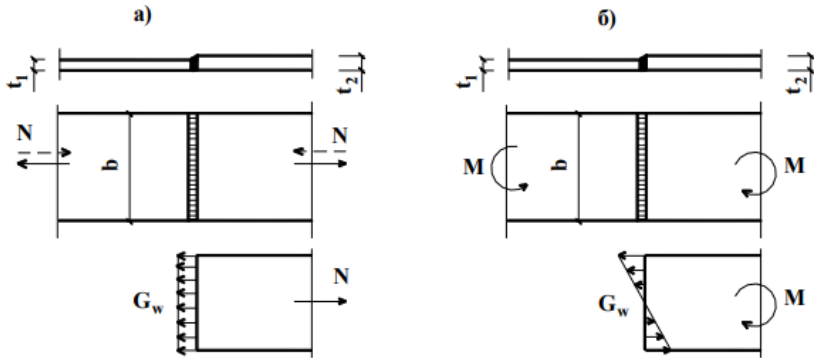


Рисунок 1.1 - До розрахунку стикових швів:

а - на дію подовжнього зусилля; б - на дію згинаючого моменту.

Якщо зварка проводиться з виводом кінців шва за межі стику, то розрахункова довжина шва приймається рівній ширині елементів, що з'єднуються, тобто  $l_w = b$ .

Якщо шов не виводиться за межі стику, то його кінці будуть через непровар неякісними; розрахункова довжина шва приймається менше ширини листів, що з'єднуються, на величину  $t_w$  з кожного кінця. В цьому випадку  $l_w = b - 2 \cdot t_w$ .

З умови міцності (1.2) з'єднання двох листів можна визначити несучу здатність з'єднання:

$$N = t_w \cdot l_w \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c;$$

або параметри зварного шва:

- його довжину:

$$l_w = \frac{N}{t_w \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c};$$

- його товщину:

$$t_w = \frac{N}{l_w \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c}.$$

При дії згинаючого моменту (рис. 1.1, б) стиковий шов працює на чистий вигин. Міцність стикового шва перевіряють за формулою:

$$\sigma = \frac{M}{W_w} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c, \quad (1.3)$$

де  $W_w$  - момент опору подовжнього перетину шва;

$R_{wy}$  - розрахунковий опір шва при вигині; при фізичних методах контролю якості шва  $R_{wy} = R_y$ , при візуальному контролі якості шва  $R_{wy} = 0,85 R_y$ .

Розрахунковий опір сталі  $R_y$ , з якої виконані деталі, що з'єднуються, приймають залежно від марки сталі за табл. А.1 додатку А.

Якщо з'єднуються встик два листи (рис. 1.1, б), то момент опору подовжнього перетину шва:

$$W_w = \frac{t_w \cdot l_w^2}{6}$$

і умова міцності (1.3) запишеться у вигляді:

$$\sigma_w = \frac{6 \cdot M}{t_w \cdot l_w^2} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c \quad (1.4)$$

При дії поперечної (зсовуючої) сили (рис. 1.2, а)  $Q$  перевірку міцності шва на зріз виконують за формулою:

$$\tau_w = \frac{Q \cdot S_w}{I_w \cdot t_w} \leq R_{ws} \cdot \gamma_c, \quad (1.5)$$

де  $S_w$ ,  $I_w$  - відповідно статичний момент і момент інерції перетину шва;  
 $t_w$  - товщина шва;

$R_{ws}$  - розрахунковий опір шва зрізу, що приймається рівним розрахунковому опору сталі на зріз, тобто  $R_{ws} = R_s = 0,85R_y$ .

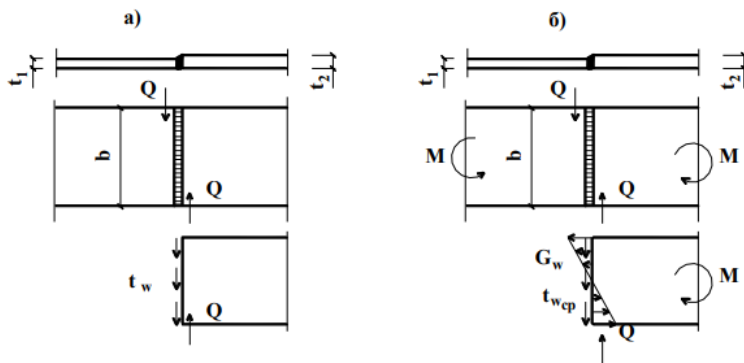


Рисунок 1.2 - До розрахунку стикових швів:

а - на дію поперечної сили; б - на дію поперечної сили і згинаючого моменту.

Значення  $R_y$  залежно від марки сталі приймається за табл. А.1 додатку А. Якщо з'єднуються встик два листи (рис. 1.2, а), то для прямокутного перетину шва:

$$S_w = \frac{t_w \cdot l_w^2}{8}; \quad I_w = \frac{t_w \cdot l_w^3}{12}.$$

З урахуванням цього формула (1.5) прийме вигляд:

$$\tau_w = \frac{3}{2} \frac{Q}{t_w \cdot l_w} \leq R_{ws} \cdot \gamma_c \quad (1.6)$$

При сумісній дії в зварному шві осьового зусилля  $N$  і згинаючого моменту  $M$  (рис. 1.3, а) нормальні напруження від обох чинників підсумовуються:

$$\sigma_w = \frac{N}{A_w} + \frac{M}{W_w} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c \quad (1.7)$$

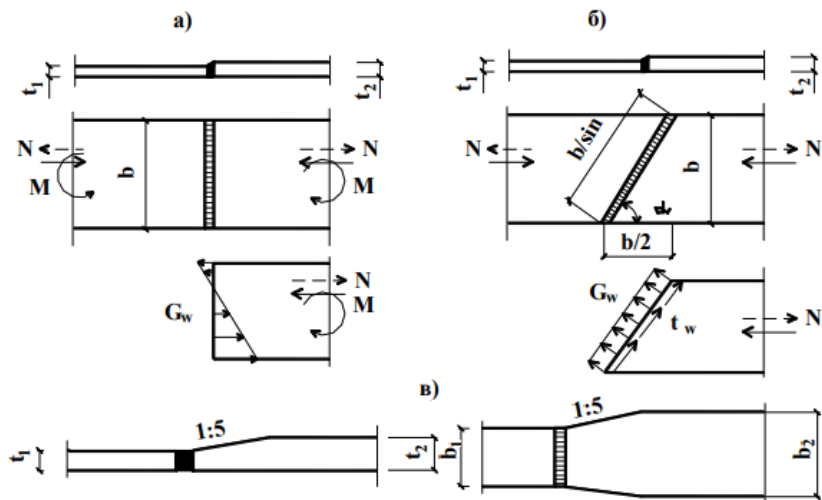


Рисунок 1.3 - До розрахунку стикових швів: а - при сумісній дії осевого зусилля і згинаючого моменту; б - косий шов; в - скоси при різній товщині (ширині) листів.

Якщо встик з'єднуються два листи (рис. 1.3, а), умова (1.7) запишеться у вигляді:

$$\sigma_w = \frac{N}{t_w \cdot l_w} + \frac{6 \cdot M}{t_w \cdot l_w^2} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c \quad (1.8)$$

Якщо в перетині шва, що сполучає два листи, одночасно діють нормальні напруження від осевого зусилля  $N$  і (або) згинаючого моменту  $M$ , дотичні напруження від дії поперечної сили  $Q$  (рис. 1.2, б), то роздільно перевіряється міцність по нормальним напруженням (формули 1.2, 1.4 або 1.7) і по дотичних напруженням (формула 1.6). Окрім цього необхідна додаткова перевірка на сумісну дію нормальних і дотичних напружень, яку виконують за формулою:

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_w^2 + 3\tau_{w,cp}^2} \leq 1.15 \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c \quad (1.9)$$

де  $\tau_{w,cp}$  - середні дотичні напруження.

Оскільки при візуальному контролі якості шва в розтягнутих елементах  $R_{wy} < R_y$ , тобто зварний шов нерівномісний основному металу, прагнуть до збільшення довжини шва. З цією метою застосовують з'єднання встик косим швом (рис. 1.3, б). В цьому випадку міцність перевіряють як за нормальними, так і за дотичними напруженнями:

$$\sigma_w = \frac{N \cdot \sin a}{t_w \cdot l_w} \leq R_{wy} \cdot \gamma_c \quad (1.10)$$

$$\sigma_w = \frac{N \cdot \cos a}{t_w \cdot l_w} \leq R_{ws} \cdot \gamma_c, \quad (1.11)$$

де  $l_w$  - розрахункова довжина косоного шва;

$l_w = (b/\sin a) - 2t_w$  - при зварці без виводу кінців шва за межі стику;

$l_w = (b/\sin a)$  - при зварці з виводом кінців шва.

На практиці косий стик часто влаштовують із заложенням 2:1 (рис. 1.3, б), що відповідає куту нахилу  $\alpha = 63^\circ 26'$ .

При з'єднанні встик листів різної товщини (або ширини) необхідно, щоб розміри листів в зоні стику, щоб уникнути різкої зміни перетину були однакові. Для цього в товщому (або широкому) листі влаштовують скоси з ухилом не більше 1:5 (рис. 1.3, в). Стики без скосів по товщині допустимі при різниці товщини  $t_2 - t_1$  не більше 4мм і не більше 1/8 товщини найтоншого листу.

Якщо зварним швом з'єднуються встик два елементи колони складового перетину (рис. 1.4), то перевірку міцності з'єднання колони при дії стискаючої сили  $N$  слід виконувати за формулою (1.1).

Оскільки встик суцільним швом з'єднуються і стінка і пояси колони, то площа перетину шва  $A_w$  дорівнюватиме площі перетину колони:

$$A_w = t_w \cdot l_w + 2b_f \cdot t_f$$

Несуча здатність стикового шва балки при роботі на стиск (рис. 1.5, а) визначається за формулою (1.1):

$$N = A_w \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c$$

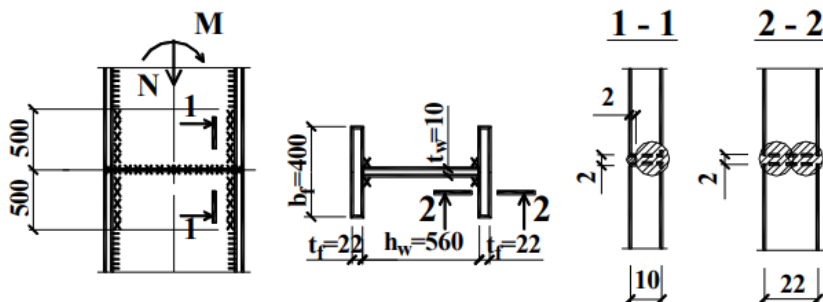


Рисунок 1.4 - З'єднання встик колони складового перетину.

При сумісній дії в стикі колони стискаючої сили  $N$  і згинаючого моменту  $M$  (рис. 1.4) перевірку міцності з'єднання слід виконувати за формулою (1.7), в якій  $A_w$  - площа перетину  $W_w$  і - момент опору шва, визначувані за формулами:

$$A_w = l_w \cdot h_w + 2b_f \cdot t_f$$

$$A_w = \frac{2 \cdot I_w}{h}$$

де  $h$  - повна висота колони;

$l_w$  - момент інерції перетину зварного шва;

$$h = h_w + 2t_f$$

$$I_w = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12} + 2 \frac{b_f \cdot t_f^3}{12} + 2b_f \cdot t_f \left( \frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right)^2$$

Якщо стиковим зварним швом з'єднують два елементи балки (рис. 1.5, а), то перевірку міцності шва на згин виконують за формулою (1.3); момент опору шва прирівнюється до моменту опору поперечного перетину двутавра, тобто  $W_w = W_x$  (шов заповнює весь перетин балки). Значення  $W_x$  для заданих перетинів приймається за сортаментом.

При сумісній дії в стикі балки згинаючого моменту  $M$  і поперечної сили  $Q$  (рис. 1.5, а) перевірку міцності шва за нормальними

напруженнями виконують за формулою (1.3), за дотичними напруженнями - за формулою (1.5).

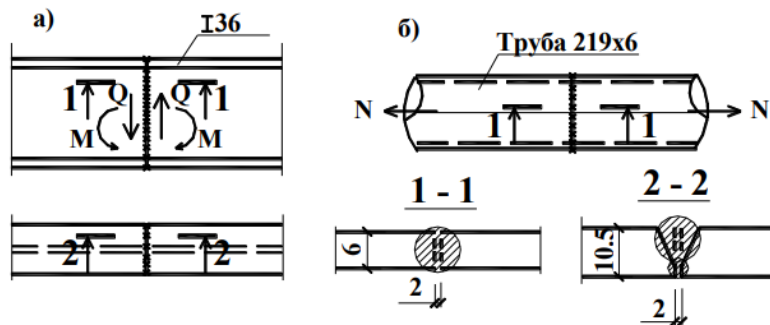


Рисунок 1.5 - З'єднання стиковими швами елементів сталевих конструкцій.

Геометричні характеристики перетину шва приймаються рівними геометричним характеристикам перетину балки ( $W_w = W_x$ ,  $l_w = l_x$ ,  $S_w = S_x$ ,  $t_w = d$ ), що містяться в сортаменті. Окрім цього необхідна додаткова перевірка на сумісну дію нормальних і дотичних напружень, яку виконують за формулою (1.3); середні дотичні напруження в перетині балки визначаються за формулою:

$$\tau_{w,cp} = \frac{Q}{A_w},$$

де  $A_w$  - площа перетину шва, рівна площі перетину балки, що приймається за сортаментом ( $A_w = A$ ).

При з'єднанні встик двох трубчастих елементів (рис. 1.5, б) перевірку міцності шва при дії осевого зусилля перевіряють за формулою (1.1), в якій  $A_w$  - площа перетину стикового шва - визначається за формулою:

$$A_w = \frac{\pi}{4} (d_3^2 - d_6^2),$$

де  $d_3$  і  $d_6$  - відповідно зовнішній і внутрішній діаметри труби.

Несуча здатність з'єднання встик двох трубчастих елементів (рис. 1.5, б) при роботі на стиснення або розтягування:

$$N = A_w \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c = \frac{\pi}{4} \cdot (d_3^2 - d_B^2) \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c$$

У приведених нижче задачах для самостійного вирішення у всіх розрахункових формулах слід приймати  $\gamma_c = 1$ , якщо значення коефіцієнта умови роботи конструкції в задачі не обумовлено. Всі марки сталей відповідають ДСТУ 8539:2015.

### Задачі для самостійного вирішення

**Задача 1.1.** Перевірити міцність з'єднання встик листів перетином  $b \cdot t = 500 \cdot 8$  мм на сумісну дію згинаючого моменту  $M = 30$  кНм і поперечної сили  $Q = 400$  кН (рис. 1.2, б). Матеріал листів - сталь марки С255. Зварка проводиться без виводу кінців шва за межі стику при візуальному контролі якості.

**Задача 1.2.** З умови міцності стикового шва, що з'єднує два листи із сталі марки С255 завтовшки  $t = 10$  мм, визначити ширину листів  $b$ . З'єднання сприймає згинаючий момент  $M = 13,6$  кНм (рис. 1.1, б). Зварка проводиться з виводом кінців шва за межі стику при візуальному контролі якості.

**Задача 1.3.** Перевірити міцність стикового шва, що з'єднує два листи перетином  $b \cdot t = 500 \cdot 6$  мм, при дії нормальної стискаючої сили  $N = 960$  кН (рис. 1.1, а). Матеріал листів - сталь марки С345. Зварка проводиться з виводом кінців шва за межі стику. При контролі якості шва застосовуються фізичні методи.

**Задача 1.4.** З умови міцності стикового шва, що з'єднує два листи перетином  $b \cdot t = 500 \cdot 10$  мм, визначити максимальну несучу здатність  $N$  з'єднання при роботі на вигин (рис. 1.1, б). Матеріал листів - сталь марки С375. Зварка проводиться з виводом кінців шва за межі стику. При контролі якості шва застосовуються фізичні методи.

**Задача 1.5.** Перевірити міцність з'єднання встик листів перетином  $b \cdot t = 400 \cdot 12$  мм на сумісну дію нормальної розтягуючої сили  $N = 600$  кН і згинаючого моменту  $M = 20$  кНм (рис. 1.3, а).

Матеріал листів - сталь марки С235. Зварка проводиться без виводу кінців шва за межі стику. При контролі якості шва застосовуються фізичні методи.

**Задача 1.6.** З умови міцності стикового шва, що з'єднує два листи перетином  $b \cdot t = 500 \cdot 10$  мм, визначити максимальну несучу здатність з'єднання при роботі на розтягування (рис. 1.1, а). Матеріал листів - сталь марки С275. Зварка проводиться з виводом кінців шва за межі стику при візуальному контролі якості.

**Задача 1.7.** Перевірити міцність з'єднання встик двох листів завтовшки  $t_1 = 12$  мм і  $t_2 = 16$  мм і шириною  $b = 250$  мм при дії поперечної сили  $Q = 260$  кН (рис. 1.2, а). Матеріал листів - сталь марки С255. Зварка проводиться з виводом кінців шва за межі стику. При контролі якості шва застосовуються фізичні методи.

**Задача 1.8.** З умови міцності стикового шва, що з'єднує два листи із сталі марки С285, шириною  $b = 200$  мм, визначити товщину листів  $t_1 = t_2$ . З'єднання сприймає нормальну розтягуючу силу  $N = 325$  кН (рис. 1.1, а). Зварка проводиться з виводом кінців шва за межі стику при візуальному контролі якості.

**Задача 1.9.** Перевірити міцність з'єднання встик косим швом із заложенням 2:1 (рис. 1.3, б) двох листів перетином  $b \cdot t = 250 \cdot 10$  мм при дії розтягуючого зусилля  $N = 850$  кН. Матеріал листів - сталь марки С375. Зварка проводиться з виводом кінців шва за межі стику при візуальному контролі якості.

**Задача 1.10.** З умови міцності стикового шва, що з'єднує два листи завтовшки  $t_1 = 10$  мм і  $t_2 = 12$  мм із сталі марки С345, визначити ширину листів  $b$ . З'єднання сприймає нормальну стискаючу силу  $N = 1105$  кН (рис. 1.1, а). Зварка проводиться з виводом кінців шва за межі стику при візуальному контролі якості.

**Задача 1.11.** Перевірити міцність з'єднання встик двох листів завтовшки  $t_1 = 8$  мм і  $t_2 = 10$  мм і шириною  $b = 350$  мм при дії згинаючого моменту  $M = 30$  кНм (рис. 1.1, б). Матеріал листів - сталь марки С235. Зварка проводиться без виводу кінців шва за межі стику. При контролі якості шва застосовуються фізичні методи.

**Задача 1.12.** З умови міцності стикового шва, що з'єднує два листи із сталі марки С440, шириною  $b = 400$  мм, визначити товщину  $t_1 = t_2$ . З'єднання сприймає нормальну стискаючу силу  $N = 600$  кН і згинаючий момент  $M = 70$  кНм (рис. 1.3, а). Зварка проводиться з

виводом кінців шва за межі стику. При контролі якості шва застосовуються фізичні методи.

**Задача 1.13.** Перевірити міцність з'єднання встик косим швом із заложенням 2:1 (рис. 1.3, б) двох листів перетином  $b \cdot t = 200 \cdot 12$  мм при дії розтягуючого зусилля  $N = 460$  кН. Матеріал листів - сталь марки С235. Зварка проводиться без виводу кінців шва за межі стику при візуальному контролі якості.

**Задача 1.14.** З умови міцності стикового шва, що з'єднує два листи із сталі марки С345, завтовшки  $t_1 = t_2 = 8$  мм, визначити ширину листів  $b$ . З'єднання сприймає нормальну розтягуючу силу  $N = 260$  кН (рис. 1.1, а). Зварка проводиться з виводом кінців шва за межі стику. При контролі якості шва застосовуються фізичні методи.

**Задача 1.15.** Перевірити міцність з'єднання встик листів перетином  $b \cdot t = 300 \cdot 8$  мм на сумісну дію нормальної розтягуючої сили  $N = 120$  кН і згинаючого моменту  $M = 12$  кНм і поперечної сили  $Q = 240$  кН (рис. 1.2, б; рис. 15 1.3, а). Матеріал листів - сталь марки С245. Зварка проводиться з виводом кінців шва за межі стику. При контролі якості шва застосовуються фізичні методи.

**Задача 1.16.** З умови міцності стикового шва, що з'єднує два листи перетином  $b \cdot t = 400 \cdot 10$  мм, визначити максимальну несучу здатність з'єднання при роботі на зсув (рис. 1.2, а). Матеріал листів - сталь марки С375. Зварка проводиться з виводом кінців шва за межі стику. При контролі якості шва застосовуються фізичні методи.

**Задача 1.17.** Перевірити міцність зварного з'єднання (рис. 1.4). Колона запроектована із сталі марки С235. На колону діє нормальна стискаюча сила  $N = 2300$  кН. При контролі якості шва застосовуються фізичні методи.

**Задача 1.18.** З умови міцності стикового шва, що з'єднує два листи перетином  $b \cdot t = 200 \cdot 8$  мм, визначити максимальну несучу здатність з'єднання при роботі на стиснення (рис. 1.1, а). Матеріал листів - сталь марки С255. Зварка проводиться без виводу кінців шва за межі стику при візуальному контролі якості.

**Задача 1.19.** Перевірити міцність зварного з'єднання встик прокатної балки (рис. 1.5, а) із сталі марки С255. Зварний стиковий шов сприймає згинаючий момент  $M = 100$  кНм і поперечну силу  $Q = 540$  кН. Контроль якості шва - візуальний, коефіцієнт умови роботи  $\gamma_c = 1,1$ .

**Задача 1.20.** З умови міцності стикового шва прокатної балки (рис. 1.5, а) визначити несучу здатність з'єднання при роботі на вигин.

Матеріал конструкції - сталь марки С255. Контроль якості шва - візуальний, коефіцієнт умови роботи  $\gamma_c = 1,1$ .

**Задача 1.21.** Перевірити міцність зварного з'єднання встик труби (рис. 1.5, б), виготовленої із сталі марки С235. Зварний стиковий шов сприймає нормальну розтягуючу силу  $N = 410$  кН. Контроль якості шва - візуальний, коефіцієнт умови роботи  $\gamma_c = 0,95$ .

**Задача 1.22.** З умови міцності стикового шва труби (рис. 1.5, б), визначити максимальну несучу здатність з'єднання при роботі на стиснення. Матеріал конструкції - сталь марки С255. Контроль якості шва - візуальний, коефіцієнт умови роботи  $\gamma_c = 0,95$ .

**Задача 1.23.** З умови міцності стикового шва зварної колони (рис. 1.4) визначити максимальну несучу здатність з'єднання при роботі на стиснення. Матеріал конструкції - сталь марки С255. Контроль якості шва - візуальний, коефіцієнт умови роботи  $\gamma_c = 0,95$ .

**Задача 1.24.** Перевірити міцність з'єднання встик двох листів завтовшки  $t_1 = 8$  мм і  $t_2 = 10$  мм і шириною  $b = 300$  мм при сумісній дії нормальної стискаючої сили  $N = 100$  кН і згинаючого моменту  $M = 15$  кНм (рис. 1.3, а). Матеріал листів - сталь марки С245. Зварка проводиться без виводів кінців шва за межі стику при візуальному контролі якості.

**Задача 1.25.** Перевірити міцність з'єднання встик листів перетином  $b \cdot t = 300 \cdot 8$  мм на сумісну дію нормальної розтягуючої сили  $N = 450$  кН і поперечної сили  $Q = 270$  кН (рис. 1.2, б). Матеріал листів - сталь марки С285. Зварка проводиться з виводом кінців шва за межі стику при візуальному контролі якості.

**Задача 1.26.** З умови міцності стикового шва труби (рис. 1.5, б), визначити максимальну несучу здатність з'єднання при роботі на розтягування. Матеріал конструкції - сталь марки С375. Контроль якості шва - візуальний.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2. РОЗРАХУНОК ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ВНАПУСК

З'єднання внапуск здійснюють фланговими (рис. 2.1, а), лобовими (рис. 2.1, б) і косими (рис. 2.1, в) кутовими швами.

У з'єднаннях внапуск передача зусилля з одного елемента на інший відбувається нерівномірно як по довжині шва, так і по його поперечному перетину. Тому розрахунок кутових швів, незалежно від їх розташування, носить характер умовний і виходить з можливості зрізу швів за двома 17 площинами (рис. 2.1, г): по металу шва (по бісектрисі кута перетину шва) - перетин  $f - f$  і по металу межі сплаву - перетин  $z - z$ .

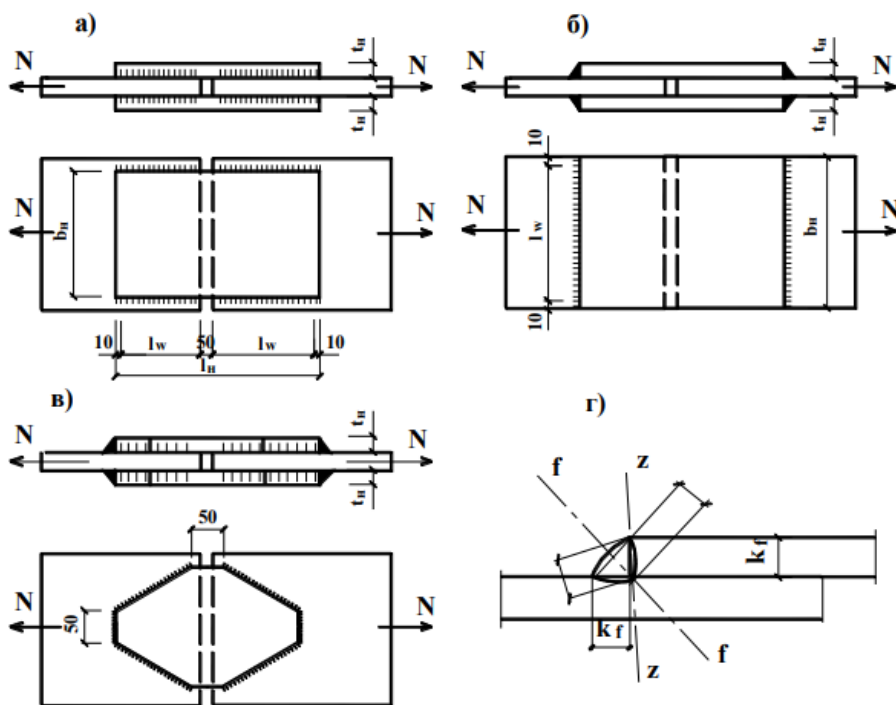


Рисунок 2.1 - До розрахунку з'єднання внапуск.

При дії подовжньої (або поперечної) сили перевірку міцності кутових швів з'єднань внапуск, виконаних лобовими, фланговими або косими швами, виконують за формулами:

- зріз по металу шва (перетин  $f - f$ ):

$$\tau_{wf} = \frac{N}{\beta_f k_f \Sigma l_w} \leq R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c; \quad (2.1)$$

$$\Sigma l_w = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c},$$

- зріз по металу межі сплаву (перетин  $z - z$ ):

$$\tau_{wz} = \frac{N}{\beta_z k_f \Sigma l_w} \leq R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c; \quad (2.2)$$

де  $\beta_f$  і  $\beta_z$  - коефіцієнти глибини провару шва, що приймаються залежно від виду зварки і положення шва для сталей з межею текучості  $\sigma_m < 580$  МПа за табл. Б.3 додатка Б; для ручної зварки незалежно від положення шва  $\beta_f = 0,7$  і  $\beta_z = 1$ ;

$k_f$  - катет кутового шва;

$\Sigma l_w$  - розрахункова сумарна довжина кутових швів, розташованих по одну сторону від стику, при цьому розрахункова довжина окремих швів приймається менше їх повної довжини на 10 мм (за рахунок непровара і кратера на кінцях швів);

$R_{wf}$  і  $R_{wz}$  - розрахункові опори металу шва і металу межі сплаву;

$\gamma_{wf}$  і  $\gamma_{wz}$  - коефіцієнти умов роботи швів, залежні від розрахункової температури кліматичного району експлуатації конструкцій; при температурі вище  $-40^\circ\text{C}$   $\gamma_{wf} = 1$  і  $\gamma_{wz} = 1$ ;

$\gamma_c$  - коефіцієнт умови роботи конструкції, що приймається за [1]; якщо значення коефіцієнта  $\gamma_c$  в умові задачі не обумовлено, то його приймають рівним одиниці.

Розрахунковий опір металу шва:

$$R_{wf} = \frac{0.55 \cdot R_{wun}}{\gamma_{wn}}, \quad (2.3)$$

де  $R_{wun}$  - нормативний опір металу шва, що приймається за табл. Б.2 додатку Б залежно від типу електроду і марки зварювального дроту;

$\gamma_{wn}$  - коефіцієнт надійності за матеріалом шва, що приймається рівним 1,25 при значеннях  $R_{wun} \leq 490$  Мпа, у всіх інших випадках  $\gamma_{wn} = 1,35$ .

Значення  $R_{wf}$  не обов'язково обчислювати за формулою (2.3), готові значення  $R_{wf}$  залежно від типу електроду і марки зварювального дроту приведені в табл. Б.2 додатку Б. Вибір зварювальних матеріалів для конструкцій (типа електроду для ручної зварки і марку зварювального дроту 19 для автоматичної і напівавтоматичної зварки), залежно від марки сталі і кліматичного району будівництва, виконують відповідно до табл. Б.1 додатка Б.

Розрахунковий опір металу межі сплаву залежить від міцності сталі елементів, що сполучаються, і визначається за формулою:

$$R_{wf} = 0.45 \cdot R_{un},$$

де  $R_{un}$  - нормативний опір основного металу за межею міцності; для найпоширеніших марок сталі значення  $R_{un}$  приведені в табл. А.1 додатку А.

При розрахунку зварних з'єднань на кутових швах необов'язково одночасно користуватися формулами (2.1) і (2.2). Достатньо виявити самий небезпечний для даного шва перетин ( $f - f$  або  $z - z$ ) і виконати розрахунок за одною з формул. Небезпечному перетину відповідатиме менший з двох добутків:  $R_{wf} \cdot \beta_f$  і  $R_{wz} \cdot \beta_z$ .

З умови міцності небезпечного перетину - формули (2.1) або (2.2) - можна визначити несучу здатність шва або його параметри. Так, якщо:  $R_{wf} \cdot \beta_f < R_{wz} \cdot \beta_z$ , то небезпечним буде перетин  $f - f$ ; з умови (2.1) визначається:

- несуча здатність з'єднання:

$$N = \beta_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_{c'};$$

- необхідний катет кутового шва:

$$k_f = \frac{N}{\beta_f \cdot \Sigma l_w \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c};$$

- необхідна довжина кутових швів:

$$\Sigma l_w = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c}.$$

Виходячи із знайдених параметрів шва, можна визначити розміри накладок, їх довжину або товщину. Так для з'єднання внапук, яке приведенне на рис. 2.1, а, довжина накладки:

$$l_H = 2 \cdot l_w + 50 + 2 \cdot 10\text{мм.}$$

Для з'єднання, яке приведенне на рис. 2.1, б, довжина одного лобового шва:

$$l_w = \Sigma l_w / 2;$$

ширина накладки:

$$b_H = l_w + 2 \cdot 10\text{мм.}$$

Катет шва звичайно пов'язують з товщиною накладок.

1. Катети кутових швів не повинні перевищувати максимальних значень, вказаних на рис. 2.2. Якщо товщина накладки перевершує товщину листу, до якого вона приварюється (рис. 2.2, а), то максимальний катет:

$$k_f^{max} = 1.2t_{min},$$

де  $t_{min}$  - мінімальна товщина листів, що з'єднуються.

Якщо тонша накладка приварюється до товщого листу (рис. 2.2, б), то максимальний катет:

$$k_f^{max} = t_{min} = t_H.$$

Якщо до листа приварюється полиця прокатного кутника, швелера (рис. 2.2, в), то максимальний катет у обушка:

$$k_f^{max} = 1.2t_{min}.$$

Максимальний катет шва у закруглюючого краю (пера) рекомендують приймати на 2 мм менше товщини полиці.

2. Катети кутових швів  $k_f$  приймають за розрахунком, але не менше значень, які вказані в табл. Б. 4 додатку Б.

3. Розрахункова довжина кутового зварного шва повинна бути не менше  $4 k_f$  і не менше 40 мм.

4. Розрахункова довжина кутового флангового шва повинна бути не більше  $85 \beta_f \cdot k_f$ , за винятком шва, в якому зусилля діє на всьому протязі шва (наприклад, поясні шви в балках).

5. Розмір напуску повинен бути не менше  $5t$ , де  $t$  - товщина тоншого елементу.

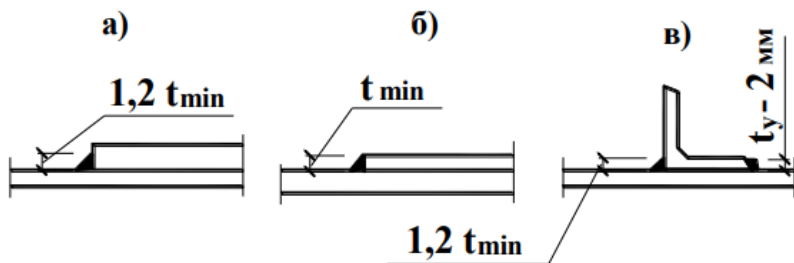


Рисунок 2.2 - Максимальні катети швів.

При розрахунку кутових зварних швів, що прикріплюють кутники до фасонки (рис. 2.3), необхідно мати на увазі, що шов у обушка, який розташований ближче до центру тяжіння перетину, завантажений сильніше, ніж шов у пера. Звичайно шви у обушка розраховують на силу:

$$N_B = a \cdot N,$$

а шви у пера - на силу:

$$N_p = (1 - a) \cdot N,$$

де  $N$  - зусилля в перетині, що складається з двох кутників;  
 $a$  - коефіцієнт, значення якого приведені на рис. 2.3.

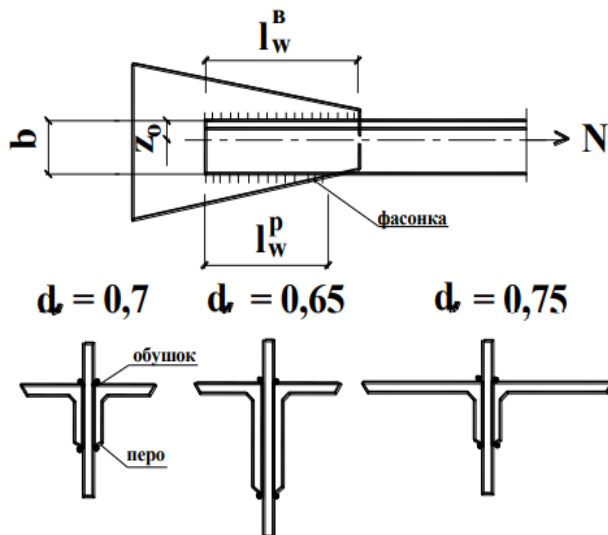


Рисунок 2.3 - З'єднання кутовими швами внапуск кутників з фасонками.

Умови міцності швів у обушка і у пера по перетину  $f$  -  $f$ :

$$\tau_{wf,B} = \frac{N_B}{2\beta_f \cdot k_{f,B} \cdot l_{w,B}} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c; \quad (2.4)$$

$$\tau_{wf,P} = \frac{N_p}{2\beta_f \cdot k_{f,P} \cdot l_{w,P}} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c. \quad (2.5)$$

Якщо небезпечним є перетин  $z$  -  $z$ , то умови міцності швів у обушка і у пера запишуться відповідно у вигляді:

$$\tau_{wz,B} = \frac{N_B}{2\beta_z \cdot k_{f,B} \cdot l_{w,B}} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c; \quad (2.6)$$

$$\tau_{wf,p} = \frac{N_p}{2\beta_z \cdot k_{f,p} \cdot l_{w,p}} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c. \quad (2.7)$$

Із умов міцності по небезпечному перетину можна знайти параметри зварних швів. Так, якщо небезпечним є перетин  $f - f$ , то катети зварних швів у обушка і пера:

$$k_{f,B} = \frac{N_B}{2\beta_f \cdot l_{w,B} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c};$$

$$k_{f,p} = \frac{N_p}{2\beta_f \cdot l_{w,p} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c},$$

довжини швів у обушка і пера:

$$l_{w,B} = \frac{N_B}{2\beta_f \cdot k_{f,B} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c};$$

$$l_{w,p} = \frac{N_p}{2\beta_f \cdot k_{f,p} \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c}.$$

Якщо зварний кутовий шов, що з'єднує планку з гілками колони (рис. 2.4, а), сприймає згинаючий момент  $M$ , то перевірки міцності виконують за формулами:

$$\tau_{wf} = \frac{6M}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c;$$

$$\tau_{wz} = \frac{6M}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w^2} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c.$$

При дії на зварний шов зсовуючої сили  $Q$  (рис. 2.4, а) формули для перевірки міцності мають вигляд:

$$\tau_{wf} = \frac{Q}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c;$$

$$\tau_{wz} = \frac{Q}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c.$$

При одночасній дії на зварний шов зсовуючої сили  $Q$  і згинаючого моменту  $M$  (рис. 2.4, а) перевірку міцності по перетину  $f-f$  виконують за формулами:

$$\tau_{wf}^{\text{сум}} = \sqrt{(\tau_{wf}^Q)^2 + (\tau_{wf}^M)^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c;$$

$$\tau_{wf}^Q = \frac{Q}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w}; \quad \tau_{wf}^M = \frac{6M}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w^2}.$$

Якщо небезпечним є перетин  $z-z$ , то перевірку міцності слід виконувати за формулами:

$$\tau_{wz}^{\text{сум}} = \sqrt{(\tau_{wz}^Q)^2 + (\tau_{wz}^M)^2} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c;$$

$$\tau_{wz}^Q = \frac{Q}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w}; \quad \tau_{wz}^M = \frac{6M}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w^2}.$$

Перевірку міцності зварних швів, що прикріплюють швелер до фасонки колони (рис. 2.4, б) при дії подовжньої сили  $N$  виконують за формулами (2.1) або (2.2), в яких сумарна розрахункова довжина зварних швів визначається за формулою:

$$\Sigma l_w = 2 \cdot l_{w1} + l_{w2},$$

у якій  $l_{w1} = b$ ;  $l_{w2} = h$  ( $b$  - розмір напуску,  $h$  - висо та швелера).

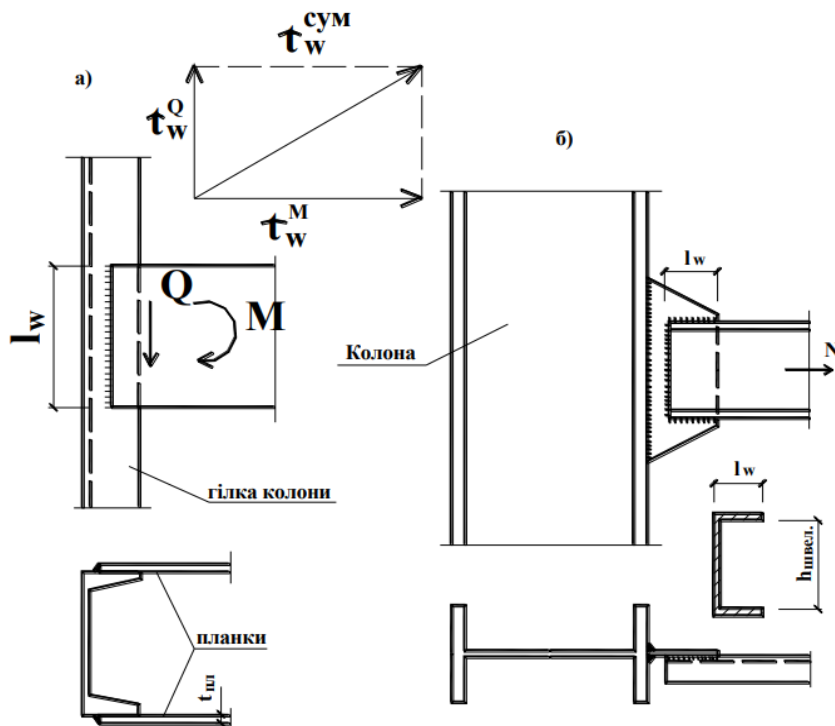


Рисунок 2.4 - З'єднання кутовими швами внапуск елементів сталевих конструкцій.

У приведених нижче задачах для самостійного вирішення прийнято, що з'єднання відносяться до конструкцій, що зводяться в кліматичних районах з розрахунковою температурою вище  $-40^{\circ}\text{C}$ , і значення коефіцієнтів  $\gamma_{wf}$  і  $\gamma_{wz}$  слід прийняти рівними одиниці. Коефіцієнт умов роботи конструкцій  $\gamma_c$  також слід прийняти рівним одиниці, якщо його значення в умовах задачі не обумовлено. Всі марки сталей відповідають ДСТУ 8539:2015.

## Задачі для самостійного вирішення

**Задача 2.1.** З умови міцності з'єднання внапуск (рис. 2.1, а) визначити довжину  $l_H$  накладок при дії сили  $N = 450$  кН. Ширина накладок  $b_H = 100$  мм, товщина накладок  $t_H = 10$  мм товщина листів, що з'єднуються  $t_l = 16$  мм. Катети швів прийняти максимальними. Матеріал листів і накладок - сталь марки С255. Зварка проводиться вручну.

**Задача 2.2.** Перевірити міцність кутових флангових швів з'єднання внапуск (рис. 2.1, а) за умови, що довжина накладок  $l_H = 210$  мм, катет зварного шва  $k_f = t_H = 10$  мм і  $N = 330$  кН. Матеріал листів і накладок - сталь марки С255. Зварка проводиться вручну.

**Задача 2.3.** З умови міцності з'єднання внапуск (рис. 2.1, а) визначити максимальну несучу здатність при роботі на розтягування. Довжина накладок  $l_H = 230$  мм, катет кутового шва  $k_f = t_H = 12$  мм. Матеріал листів і накладок - сталь марки С375. Зварка напівавтоматична в середовищі вуглекислого газу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм; положення шва нижнє.

**Задача 2.4.** З умови міцності з'єднання внапуск (рис. 2.1, а) визначити катет  $k_f$  кутових флангових швів, що прикріплюють накладки до листів, при дії сили  $N = 720$  кН. Довжина накладки  $l_H = 250$  мм. Матеріал листів і накладок - сталь марки С345. Зварка проводиться вручну.

**Задача 2.5.** Перевірити міцність кутових лобових швів з'єднання внапуск (рис. 2.1, б) за умови, що ширина накладки  $b_H = 200$  мм, катет зварного шва  $k_f = t_H = 14$  мм,  $N = 600$  кН. Матеріал листів і накладок - сталь марки С235. Зварка напівавтоматична під шаром флюсу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08А діаметром 2 мм; положення шва нижнє.

**Задача 2.6.** З умови міцності з'єднання внапуск (рис. 2.1, б) визначити товщину накладок  $k_f = t_H$  при дії сили  $N = 450$  кН. Ширина накладок  $b_H = 200$  мм. Матеріал листів і накладок - сталь марки С275. Зварка проводиться вручну.

**Задача 2.7.** З умови міцності з'єднання внапуск (рис. 2.1, б) визначити ширину накладки  $b_H$  при дії сили  $N = 150$  кН. Товщина накладок  $b_H = 12$  мм, товщина листів, що з'єднуються  $t_l = 16$  мм.

Матеріал листів і накладок - сталь марки С255. Зварка проводиться вручну. Катет шва  $k_f$  прийняти мінімальним.

**Задача 2.8.** З умови міцності з'єднання внапуск (рис. 2.1, б) визначити максимальну несучу здатність при роботі на розтягування. Ширина накладок  $b_H = 200$  мм, товщина накладок  $t_H = 16$  мм, товщина листів, що з'єднуються  $t_l = 20$  мм. Матеріал листів і накладок - сталь марки С255. Зварка проводиться вручну. Катет шва  $k_f$  прийняти максимальним.

**Задача 2.9.** Перевірити міцність кутових косих швів з'єднання внапуск (рис. 2.1, в) за умови, що ширина накладок  $b_H = 180$  мм, довжина накладок  $t_H = 230$  мм, катет швів  $k_f = t_H = 10$  мм,  $N = 840$  кН. Матеріал листів і накладок - сталь марки С235. Зварка проводиться вручну.

**Задача 2.10.** З умови міцності з'єднання внапуск (рис. 2.1, в) визначити максимальну несучу здатність при роботі на розтягування. Довжина накладок  $l_H = 250$  мм, ширина накладок  $b_H = 130$  мм, катет швів  $k_f = t_H = 10$  мм. Матеріал листів і накладок - сталь марки С390. Зварка напіваавтоматична в середовищі 27 вуглекислого газу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм; положення шва нижнє.

**Задача 2.11.** З умови міцності кутових зварних швів, що прикріплюють два рівнополочних кутника  $b \cdot t = 50 \cdot 5$  мм до фасонки завтовшки  $t_\phi = 8$  мм (рис. 2.3), визначити необхідні довжини швів у обушка і пера кутників. З'єднання сприймає зусилля  $N = 120$  кН. Матеріал фасонки і кутників - сталь марки С285. Зварка проводиться вручну. Катети швів прийняти максимальними. Коефіцієнт умови роботи  $\gamma_c = 0,95$ .

**Задача 2.12.** З умови міцності кутових зварних швів, що прикріплюють два рівнополочних кутника  $b \cdot t = 110 \cdot 10$  мм до фасонки завтовшки  $t_\phi = 12$  мм (рис. 2.3), визначити необхідні катети швів у обушка і пера кутників. Довжина швів у обушка і пера  $l_{w,p} = l_{w,e} = 80$  мм. З'єднання сприймає зусилля  $N = 300$  кН. Матеріал фасонки і кутників - сталь марки С285. Зварка проводиться вручну.

**Задача 2.13.** З умови міцності кутових зварних швів, що прикріплюють два нерівнополочних кутника  $B \cdot b \cdot t = 125 \cdot 80 \cdot 10$  мм до фасонки великою полицею (рис. 2.3), визначити необхідні довжини швів у обушка і пера  $t_\phi = 12$  мм. З'єднання сприймає зусилля  $N = 300$  кН. Матеріал фасонки і кутників - сталь марки С255. Зварка

напівавтоматична в середовищі вуглекислого газу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм; положення шва нижнє. Катети швів прийняті мінімальними.

**Задача 2.14.** З умови міцності кутових зварних швів, що прикріплюють два нерівнополочних кутника  $B \cdot b \cdot t = 75 \cdot 50 \cdot 5$  мм до фасонки меншою полицею (рис. 2.3), визначити необхідні катети швів у обушка і пера кутників. Товщина фасонки  $t_{\phi} = 10$  мм. З'єднання сприймає зусилля  $N = 150$  кН. Довжина швів у обушка і пера  $l_{w,p} = l_{w,s} = 50$  мм. Матеріал фасонки і кутників - сталь марки С345. Зварка проводиться вручну. Коефіцієнт умови роботи  $\gamma_c = 0,95$ .

**Задача 2.15.** Перевірити міцність кутових зварних швів, що прикріплюють два нерівнополочних кутника  $B \cdot b \cdot t = 100 \cdot 63 \cdot 8$  мм меншою полицею до 28 фасонки завтовшки  $t_{\phi} = 8$  мм (рис. 2.3). Довжина швів у обушка і пера  $l_{w,p} = l_{w,s} = 60$  мм, катети швів  $k_{f,b} = 8$  мм,  $k_{f,p} = 6$  мм. З'єднання сприймає зусилля  $N = 170$  кН. Матеріал фасонки і кутників - сталь марки С275. Зварка проводиться вручну.

**Задача 2.16.** Перевірити міцність кутових зварних швів, що прикріплюють два рівнополочних кутника  $b \cdot t = 140 \cdot 10$  мм до фасонки завтовшки  $t_{\phi} = 12$  мм (рис. 2.3). Довжина швів у обушка  $l_{w,s} = 55$  мм, у пера  $l_{w,p} = 40$  мм; катети швів прийняті максимальними. З'єднання сприймає зусилля  $N = 300$  кН. Матеріал фасонки і кутників - сталь марки С255. Зварка напівавтоматична в середовищі вуглекислого газу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм; положення шва нижнє.

**Задача 2.17.** Перевірити міцність кутових зварних швів, що прикріплюють планки до гілок колони (рис. 2.4, а). Перетин гілок колони - швелер № 24, товщина планок  $t = 8$  мм, ширина планок  $b = 100$  мм. Кожний із швів сприймає поперечну силу  $Q = 54$  кН і згинаючий момент  $M = 0,9$  кНм. Матеріал колони - сталь марки С235. Зварка напівавтоматична в середовищі вуглекислого газу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм; положення шва нижнє. Катети швів  $k_f$  прийняті мінімальними.

**Задача 2.18.** З умови міцності кутових зварних швів, що прикріплюють планки до гілок колони (рис. 2.4, а), визначити товщину планки  $t = k_f$ . Кожний з швів сприймає поперечну силу  $Q = 100$  кН і згинаючий момент  $M = 2,4$  кНм. Ширина планок  $b = 180$  мм. Матеріал колони - сталь марки С235. Зварка проводиться вручну. Коефіцієнт умови роботи  $\gamma_c = 0,95$ .

**Задача 2.19.** З умови міцності кутових зварних швів, що прикріплюють планки до гілок колони (рис. 2.4, а), визначити ширину планки  $b$ . Перетин гілок колони - швелер № 30, товщина планок  $t = 10$  мм. Кожний з швів сприймає поперечну силу  $Q = 126$  кН. Матеріал колони - сталь марки С375. Зварка напівавтоматична в середовищі вуглекислого газу із застосуванням 29 зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм; положення швів нижнє. Катети швів  $k_f$  прийняти максимальними.

**Задача 2.20.** Перевірити міцність кутових зварних швів, що прикріплюють планки до гілок колони (рис. 2.4, а). Перетин гілок колони - швелер № 36, товщина планок  $t = 10$  мм, ширина планок  $b = 200$  мм. Кожний із швів сприймає поперечну силу  $Q = 160$  кН і згинаючий момент  $M = 4,3$  кНм. Матеріал колони - сталь марки С245. Зварка проводиться вручну. Катети швів  $k_f$  прийняти максимальними.

**Задача 2.21.** З умови міцності кутових зварних швів, що прикріплюють планки до гілок колони (рис. 2.4, а), визначити катет  $k_f$ . Кожний з швів сприймає поперечну силу  $Q = 150$  кН і згинаючий момент  $M = 4,5$  кНм. Перетин планок  $b \cdot t = 200 \cdot 10$  мм, перетин гілок колони - швелер № 24. Матеріал колони - сталь марки С235. Зварка проводиться вручну. Коефіцієнт умови роботи  $\gamma_c = 0,95$ .

**Задача 2.22.** Перевірити міцність кутових зварних швів, які заварюють по контуру і прикріплюють швелер № 16 до фасонки завтовшки 8 мм (рис. 2.4, б). З'єднання сприймає подовжню силу  $N = 240$  кН. Матеріал конструкції - сталь марки С245. Розмір напуску  $b = 80$  мм. Зварка проводиться вручну. Катети швів  $k_f$  прийняти рівними товщині стінки швелера.

**Задача 2.23.** З умови міцності кутових зварних швів, які заварюють по контуру і прикріплюють швелер № 20 до фасонки завтовшки 10 мм (рис. 2.4, б), визначити максимальну несучу здатність при роботі на розтягування. Розмір напуску  $b = 70$  мм. Матеріал конструкції - сталь марки С375. Зварка напівавтоматична в середовищі вуглекислого газу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм; положення швів нижнє. Катети швів  $k_f$  прийняти максимальними.

**Задача 2.24.** Перевірити міцність кутових зварних швів, які заварюють по контуру і прикріплюють швелер № 16 до фасонки завтовшки 8 мм (рис. 2.4, б). З'єднання сприймає розтягуючу силу  $N = 200$  кН. Матеріал конструкції - сталь марки С245. Розмір напуску  $b =$

60 мм. Зварка проводиться вручну. Катети швів  $k_f$  прийняти рівними товщині стінки швелера.

**Задача 2.25.** З умови міцності кутових зварних швів, які заварюють по контуру і прикріплюють швелер № 20 до фасонки завтовшки 10 мм (рис. 2.4, б), визначити максимальну несучу здатність при роботі на розтягування. Розмір напуску  $b = 70$  мм. Матеріал конструкції - сталь марки С345. Зварка напівавтоматична в середовищі вуглекислого газу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм; положення швів нижнє. Катети швів  $k_f$  прийняти максимальними.

### ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3. РОЗРАХУНОК ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ В ТАВР

З'єднання втавр здійснюються, як правило, двома кутовими швами без розділу кромки.

При дії поперечної сили  $Q$  (рис. 3.1, а) перевірку міцності кутових швів виконують за формулами:

- зріз по металу шва (перетин  $f - f$ ):

$$\tau_{wf} = \frac{Q}{2A_{wf}} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c;$$

- зріз по металу межі сплаву (перетин  $z - z$ ):

$$\tau_{wz} = \frac{Q}{2A_{wz}} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c;$$

де  $A_{wz}$  і  $A_{wf}$  - площа перетину одного шва відповідно для перетинів  $f - f$  і  $z - z$ :

$$A_{wf} = \beta_f \cdot k_f \cdot l_w;$$

$$A_{wz} = \beta_z \cdot k_f \cdot l_w.$$

Умови міцності можна записати у вигляді

$$\tau_{wf} = \frac{Q}{2\beta_f \cdot k_f \cdot l_w} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c; \quad (3.1)$$

$$\tau_{wz} = \frac{Q}{2\beta_z \cdot k_f \cdot l_w} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c; \quad (3.2)$$

де  $l_w = b - 2 \cdot 10$  мм - розрахункова довжина одного шва, решта позначень та ж, що у формулах (2.1) і (2.2).

У з'єднаннях в тавр, також як і в з'єднаннях внапуск, необов'язково виконувати перевірки міцності за обома перетинами (формули 3.1 і 3.2). Достатньо визначити самий небезпечний для даного шва перетин ( $f - f$  або  $z - z$ ) і виконати розрахунок тільки за цим

перетином. Небезпечному перетину відповідатиме менший з двох добутків:  $R_{wf}\beta_f$  і  $R_{wz}\beta_z$ .

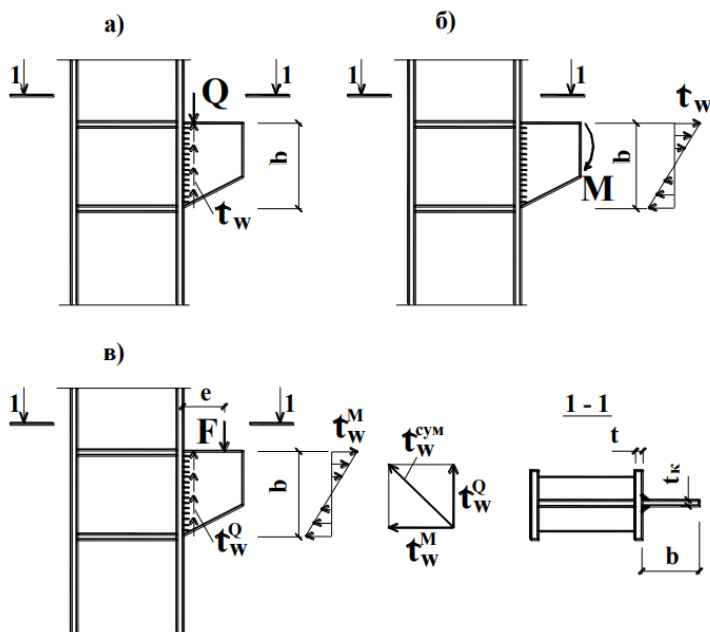


Рисунок 3.1 - До розрахунку з'єднання в тавр.

З умови міцності небезпечного перетину - формули (3.1) або (3.2) - можна визначити несучу здатність шва або його параметри.

Якщо небезпечним є перетин  $f-f$ , то з умови (3.1) можна визначити:

- несучу здатність з'єднання:

$$Q = 2\beta_f \cdot k_f \cdot l_w \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c,$$

- необхідний катет кутового шва:

$$k_f = \frac{Q}{2\beta_f \cdot l_w \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c},$$

- необхідну довжину кутового шва:

$$l_w = \frac{Q}{2\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c}$$

При дії згинаючого моменту  $M$  (рис. 3.1, б) перевірку міцності шва слід виконувати за однією з формул:

$$\tau_{wf} = \frac{M}{2W_{wf}} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c;$$

$$\tau_{wz} = \frac{M}{2W_{wz}} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c,$$

де  $W_{wf}$  і  $W_{wz}$  - моменти опору одного шва для перетинів  $f-f$  і  $z-z$ :

$$W_{wf} = \frac{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w^2}{6};$$

$$W_{wz} = \frac{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w^2}{6}.$$

З урахуванням цієї умови міцності шва можна записати у вигляді:

$$\tau_{wf} = \frac{3M}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c; \quad (3.3)$$

$$\tau_{wz} = \frac{3M}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w^2} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c. \quad (3.4)$$

При дії сили  $F$  з ексцентриситетом  $e$  (рис. 3.1, в) в перетині шва одночасно діють поперечна сила  $Q = F$  і згинаючий момент  $M = F \cdot e$ . Перевірку міцності виконують за формулами:

$$\tau_{wf} = \sqrt{(\tau_{wf}^Q)^2 + (\tau_{wf}^M)^2} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c; \quad (3.5)$$

$$\tau_{wz} = \sqrt{(\tau_{wz}^Q)^2 + (\tau_{wz}^M)^2} \leq R_{wz} \cdot \gamma_{wz} \cdot \gamma_c; \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} \tau_{wf}^Q &= \frac{Q}{2\beta_f \cdot k_f \cdot l_w}; & \tau_{wf}^M &= \frac{3M}{\beta_f \cdot k_f \cdot l_w^2}; \\ \tau_{wz}^Q &= \frac{Q}{2\beta_z \cdot k_f \cdot l_w}; & \tau_{wz}^M &= \frac{3M}{\beta_z \cdot k_f \cdot l_w^2}. \end{aligned}$$

Сильно навантажені консолі проектують у вигляді зварного двутавра змінного перетину (рис. 3.2, а).

Момент в консолі  $M = D \cdot e$  розкладається на пару сил  $H = M/h$ , одна з яких (верхня) відриває консоль від колони, друга сила (нижня) притискає консоль до колони. На силу  $H$  розраховують верхні зварні шви Ш2, умова міцності яких за перетином  $f-f$  має вигляд:

$$\tau_{wf} = \frac{H}{\beta_f \cdot k_f \cdot \Sigma l_w} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c, \quad (3.7)$$

де  $\Sigma l_w = 2\beta_f \cdot t_w$ .

Вертикальну силу  $D$  сприймають два вертикальні шви Ш1. Умова міцності швів Ш1 за перетином  $f-f$ :

$$\tau_{wf} = \frac{D}{2 \cdot \beta_f \cdot k_f \cdot l_w} \leq R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c \quad (3.8)$$

де  $l_w = h_w - h - 2t_f$ .

Якщо необхідно визначити несучу здатність консолі (значення сили  $D$ , яке може бути сприйняте консоллю) потрібно знайти з умови (3.7) силу  $H$ , а потім з умови  $H = D \cdot e/h$  знайти значення  $D$ . З умови міцності вертикальних швів (3.8) також знаходимо значення  $D$ . Несучу здатність колони характеризує найменше із знайдених значень  $D$ .

З умов міцності (3.7) і (3.8) можна знайти також значення катетів швів  $k_f$  Ш1 і Ш2.

На рис. 3.2, б представлена база суцільної колони, в якій траверси приварюються до стержня колони кутовими вертикальними швами, число яких  $n = 4$ . Умова міцності швів за перетином  $f-f$ .

З умови міцності можна знайти висоту траверси:

$$\Sigma l_w = \frac{N}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_{wf} \cdot \gamma_c};$$

$$h_{tr} = \frac{\Sigma l_w}{4} + 10 \text{ мм.}$$

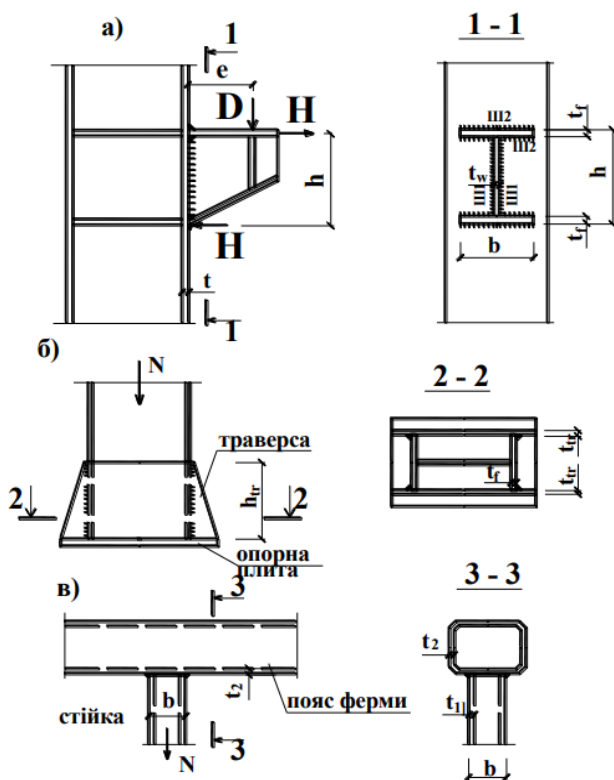


Рисунок 3.2 - З'єднання в тавр елементів сталевих конструкцій.

На рис. 3.2, в притик з'єднуються між собою два елементи з гнотозварних замкнутих профілів. Вертикальний елемент, що з'єднується з горизонтальним елементом, обварюється суцільним швом по контуру. Перевірку міцності виконують за формулою (3.9), в якій  $\Sigma l_w = 4b$ .

У приведених нижче задачах для самостійного вирішення прийнято, що з'єднання відносяться до конструкцій, що зводяться в кліматичних районах з розрахунковою температурою вище  $-40^{\circ}\text{C}$ , і значення коефіцієнтів  $\gamma_{wf}$  і  $\gamma_{wz}$  слід прийняти рівними одиниці. Коефіцієнт умов роботи конструкцій  $\gamma_c$  також слід прийняти рівним одиниці, якщо його значення в умовах задачі не обумовлено. Всі марки сталей відповідають ДСТУ 8539:2015 Прокат для сталевих конструкцій. Загальні технічні умови.

### Задачі для самостійного вирішення

**Задача 3.1.** З умови міцності зварного з'єднання втавр визначити максимальну несучу здатність при роботі на зсув (рис. 3.1, а). Консоль має товщину  $t_k = 10$  мм, ширину  $b = 150$  мм, приварюється до полиці колони, товщина якої  $t = 12$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С275. Зварка напівавтоматична в середовищі вуглекислого газу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм, положення шва «в човник». Катети швів прийняти мінімальними.

**Задача 3.2.** Перевірити міцність кутових зварних швів, що прикріплюють консоль до колони, при дії вертикальної сили  $Q = 120$  кН (рис. 3.1, а). Консоль має товщину  $t_k = 10$  мм, ширину  $b = 100$  мм і приварюється до полиці колони, товщина якої  $t = 12$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С275. Зварка проводиться вручну. Катети швів прийняти максимальними. Коефіцієнт умови роботи  $\gamma_c = 0.95$ .

**Задача 3.3.** З умови міцності зварного з'єднання втавр визначити катет кутових швів при дії вертикальної сили  $Q = 150$  кН (рис. 3.1, а). Консоль має товщину  $t_k = 10$  мм, ширину  $b = 200$  мм і приварюється до полиці колони, товщина якої  $t = 12$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С375. Зварка проводиться вручну. Коефіцієнт умови роботи  $\gamma_c = 1,1$ .

**Задача 3.4.** З умови міцності зварного з'єднання в тавр визначити ширину консолі  $b$  при дії вертикальної сили  $Q = 250$  кН (рис. 3.1, а). Консоль має товщину  $t_k = 10$  мм і приварюється до полиці колони, товщина якої  $t = 14$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С275. Зварка напівавтоматична в середовищі вуглекислого газу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм, положення шва нижнє. Катети швів прийняти максимальними.

**Задача 3.5.** З умови міцності зварного з'єднання в тавр визначити максимальну несучу здатність при роботі на вигин (рис. 3.1, б). Консоль має товщину  $t_k = 10$  мм, ширину  $b = 150$  мм і приварюється до полиці колони, товщина якої  $t = 12$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С345. Зварка напівавтоматична під шаром флюсу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08ГА діаметром 2 мм, положення швів «в човник». Катети швів прийняти мінімальними.

**Задача 3.6.** Перевірити міцність кутових зварних швів, що прикріплюють консоль до колони, при дії згинаючого моменту  $M = 30$  кНм (рис. 3.1, б). Консоль має товщину  $t_k = 12$  мм, ширину  $b = 100$  мм і приварюється до полиці колони, товщина якої  $t = 10$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С275. Зварка проводиться вручну. Катети швів прийняти максимальними.

**Задача 3.7.** З умови міцності зварного з'єднання в тавр визначити катет кутових швів при дії згинаючого моменту  $M = 60$  кНм (рис. 3.1, б). Консоль має товщину  $t_k = 10$  мм, ширину  $b = 150$  мм і приварюється до полиці колони, товщина якої  $t = 12$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С390. Зварка проводиться вручну.

**Задача 3.8.** З умови міцності зварного з'єднання в тавр визначити ширину консолі  $b$  при дії згинаючого моменту  $M = 34$  кНм (рис. 3.1, б). Консоль має товщину  $t_k = 12$  мм і приварюється до полиці колони, товщина якої  $t = 10$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С375. Зварка напівавтоматична в середовищі вуглекислого газу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм, положення швів нижнє. Катети швів прийняти максимальними.

**Задача 3.9.** Перевірити міцність кутових зварних швів, що прикріплюють консоль до колони, при дії вертикальної сили  $F = 20$  кН з ексцентриситетом  $e = 200$  мм (рис. 3.1, в). Консоль має товщину  $t_k = 10$  мм, ширину  $b = 100$  мм і приварюється до полиці колони, товщина якої  $t = 12$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С275. Зварка напівавтоматична в середовищі вуглекислого газу із застосуванням

зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм, положення шва нижнє. Катети швів прийняти максимальними.

**Задача 3.10.** З умови міцності зварного з'єднання в тавр визначити катет кутових швів при дії вертикальної сили  $F = 30$  кН з ексцентриситетом  $e = 100$  мм (рис. 3.1, в). Матеріал конструкції сталь марки С345. Консоль має товщину  $t_k = 12$  мм, ширину  $b = 150$  мм. Зварка проводиться вручну. Коефіцієнт умови роботи  $\gamma_c = 1,1$ .

**Задача 3.11.** Перевірити міцність зварних швів, що прикріплюють консоль до колони, при дії вертикальної сили  $D = 50$  кН, ексцентриситет  $e = 200$  мм (рис. 3.2, а). Товщина стінки консолі  $t_w = 10$  мм, товщина поясів  $t_f = 20$  мм, висота консолі  $h = 200$  мм, ширина  $b = 80$  мм. Консоль приварюється до полиці колони, товщина якої  $t = 14$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С235. Зварка напівавтоматична в середовищі вуглекислого газу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм, положення шва нижнє. Катети швів прийняти максимальними.

**Задача 3.12.** Визначити максимальне значення вертикальної сили  $D$ , яке може бути сприйняте консоллю з розмірами:  $h = 250$  мм,  $b = 100$  мм,  $t_w = 10$  мм,  $t_f = 20$  мм (рис. 3.2, а). Сила  $D$  діє з ексцентриситетом  $e = 100$  мм. Консоль приварюється до полиці колони, товщина якої  $t = 10$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С275. Зварка проводиться вручну. Катети швів прийняти максимальними.

**Задача 3.13.** З умови міцності зварних швів, що прикріплюють консоль до колони (рис. 3.2, а), визначити необхідні катети швів. Вертикальна сила  $D = 600$  кН діє з ексцентриситетом  $e = 100$  мм. Матеріал конструкції - сталь марки С235. Зварка проводиться вручну. Коефіцієнт умови роботи  $\gamma_c = 1,1$ .

**Задача 3.14.** Перевірити міцність зварних швів, що прикріплюють траверси до полиць колони (рис. 3.2, б). Зусилля в колоні  $N = 500$  кН. Товщина траверси  $t_{tr} = 10$  мм, висота  $h_{tr} = 300$  мм, товщина полиць колони  $t_f = 20$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С235. Зварка напівавтоматична в середовищі 39 вуглекислого газу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм, положення шва нижнє. Катети швів  $k_f = t_{tr}$ .

**Задача 3.15.** З умови міцності зварних швів, що прикріплюють траверси до полиць колони (рис. 3.2, б), визначити висоту траверси  $h_{tr}$ . Зусилля в колоні  $N = 1600$  кН, товщина траверси  $t_{tr} = 10$  мм, товщина

полиць колони  $t_f = 20$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С235. Зварка проводиться вручну. Катети швів прийняти максимальними.

**Задача 3.16.** З умови міцності зварних швів, що прикріплюють траверси до полиць колони (рис. 3.2, б), визначити необхідні катети швів, якщо зусилля в колоні  $N = 1600$  кН, висота траверси  $h_{tr} = 250$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С275. Зварка проводиться вручну.

**Задача 3.17.** З умови міцності зварних швів, що прикріплюють траверси до полиць колони (рис. 3.2, б), визначити максимальну несучу здатність колони  $N$ . Товщина траверси  $t_{tr} = 10$  мм, висота  $h_{tr} = 250$  мм, товщина полиць колони  $t_f = 18$  мм. Матеріал конструкції сталь марки С235. Зварка напівавтоматична в середовищі вуглекислого газу із застосуванням зварювального дроту марки Св08Г2С діаметром 2 мм, положення шва нижнє. Катети швів прийняти максимальними.

**Задача 3.18.** З умови міцності зварних швів, що прикріплюють стійку ферми до верхнього поясу (рис. 3.2, в), визначити розмір  $b$  гнutoзварного замкнутого профілю квадратного перетину. Зусилля в стійці  $N = 400$  кН, товщина стінок  $t_1 = 6$  мм,  $t_2 = 8$  мм. Ферма запроектована із сталі марки С255. Зварка проводиться вручну. Катети швів прийняти мінімальними.

**Задача 3.19.** З умови міцності зварних швів, що прикріплюють стійку до верхнього поясу (рис. 3.2, в), визначити необхідний катет швів, якщо зусилля в стійці  $N = 450$  кН. Ферма запроектована із сталі марки С345. Розмір стійки  $b \cdot t_1 = 80 \cdot 6$  мм. Зварка проводиться вручну.

**Задача 3.20.** З умови міцності зварних швів, що прикріплюють стійку до верхнього поясу (рис. 3.2, в), визначити максимальну несучу здатність стійки розмірами  $b \cdot t_1 = 80 \cdot 6$  мм. Товщина стінки поясу ферми  $t_2 = 8$  мм. Ферма запроектована із сталі марки С375. Зварка проводиться вручну. Катети швів прийняти максимальними.

**Задача 3.21.** Переверіти міцність зварних швів, що прикріплюють стійку розмірами  $b \cdot t_1 = 80 \cdot 6$  мм до верхнього поясу ферми (рис. 3.2, в). Катети швів  $k_f = t_1$ . Зусилля, діюче в стійці  $N = 200$  кН. Ферма запроектована із сталі марки С375. Зварка напівавтоматична в середовищі вуглекислого газу із застосуванням зварювального дроту марки Св-08Г2С діаметром 2 мм, положення шва нижнє.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4. РОЗРАХУНОК БОЛТОВИХ З'ЄДНАНЬ НА ЗСУВ

Робота на зсув є основним видом роботи болтових з'єднань (рис. 4.1). Зсув включає зріз стержня болта і зминання металу елементів, що з'єднуються, або накладок. Болти грубої і нормальної точності для сталі з  $R_{un} > 390$  мПа застосовувати не рекомендується.

Перевірку міцності з'єднань болтів грубої, нормальної і підвищеної точності проводять за формулами:

- на зріз:

$$\tau_{bs} = \frac{N}{n \cdot n_s \frac{\pi d^2}{4}} \leq R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c; \quad (4.1)$$

- на зминання:

$$\sigma_{bp} = \frac{N}{n \cdot d \Sigma t_{min}} \leq R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c. \quad (4.2)$$

У формулах (4.1) і (4.2) прийняті такі позначення:

$n$  - кількість болтів в з'єднанні по одну сторону від стику;

$n_s$  - кількість площин зрізу одного болта;

$d$  - діаметр болта;

$\gamma_b$  - коефіцієнт умов роботи з'єднання на болтах, що приймається за табл. В.1 додатку В;

$R_{bs}$  - розрахунковий опір болтів зрізу, що приймається за табл. В.2 додатку В у залежності від класу міцності болтів;

$R_{bp}$  - розрахунковий опір болтового з'єднання зминання, що приймається за табл. В.3 додатку В залежно від тимчасового опору сталі;

$R_{un}$  - елементів, що з'єднуються. Значення  $R_{un}$  для деяких марок сталі приведено в табл. А.1 додатку А;

$\Sigma t_{min}$  - найменша сумарна товщина елементів, що зминаються в одному напрямку.

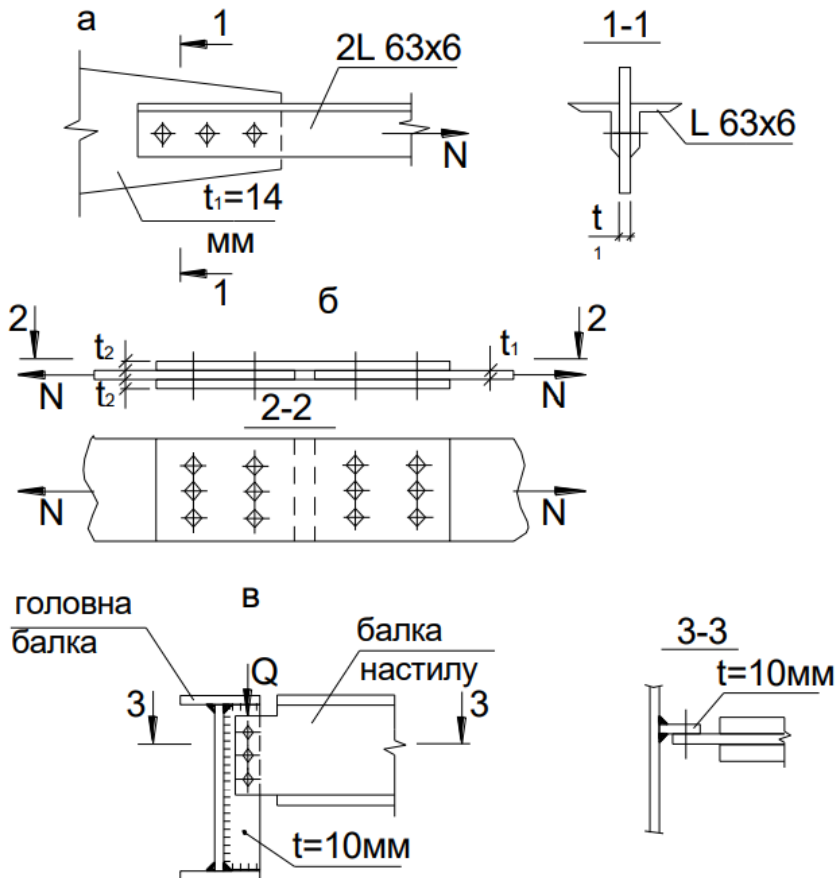


Рисунок 4.1 - До розрахунку болтових з'єднань на зсув.

Якщо болти з'єднують пакет з двох елементів (рис. 4.1, в; рис. 4.2, а; рис. 4.2, б) то  $\Sigma t_{min} = t_{min}$  та  $n_s = 1$ .

Якщо в пакеті з'єднуються три листи (рис. 4.1, а; рис. 4.1, б; рис. 4.2, в), то товщини накладок, що працюють спільно (в одному напрямку) сумуються та зрівнюються з товщиною з'єднаних елементів; як  $\Sigma t_{min}$  приймається найменше значення з величин, що порівнюються.

У пакеті з трьох листів (рис. 4.1, а; рис. 4.1, б; рис. 4.2, в) кількість площин зрізу одного болта  $n_s = 2$ .

При розрахунку на зрізу болтів підвищеної точності (клас А)  $\gamma_b = 1,0$ ; болтів грубої і нормальної точності (класи В і С)  $\gamma_b = 0,9$ .

При розрахунках на зминання листів  $\gamma_b$  залежить від параметрів  $a$ ,  $s$  і  $d$ , де  $a$  - відстань від краю елемента до центру отвору вдовж лінії дії зусилля,  $s$  - відстань між центрами отворів вдовж лінії дії зусилля,  $d$  - діаметр отвору для болта. Коефіцієнт  $\gamma_b$  для багато болтового з'єднання визначається за формулами.

Для сталі з межею текучості  $R_{yn} \leq 290$  МПа при значеннях:

$$1,5 \leq a/d \leq 2,0; \quad \gamma_b = 0,4(a/d) + 0,2;$$

$$2,0 \leq s/d \leq 2,5; \quad \gamma_b = 0,4(s/d).$$

Для сталі з межею текучості  $290 < R_{yn} \leq 390$  МПа при значеннях:

$$1,5 \leq a/d \leq 2,0; \quad \gamma_b = 0,5(a/d);$$

$$2,0 \leq s/d \leq 2,5; \quad \gamma_b = 0,5(s/d) - 0,25.$$

Таким чином, для маловуглецевої сталі звичайної міцності і сталі підвищеної міцності при відношеннях  $a/d = 2,0$  і  $s/d = 2,5$  згідно з наданими формулами  $\gamma_b = 1$ . Для болтів грубої і нормальної точності (класа В і С) значення коефіцієнтів  $\gamma_b$  слід множити на 0,9.

Формули (4.1) і (4.2) призначені для перевірки міцності з'єднань на болтах. З цих формул можна визначити необхідний діаметр болтів:  
- з формули (4.1):

$$d = \sqrt{\frac{4N}{n \cdot n_s \cdot \pi \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c}},$$

- з формули (4.2):

$$d = \frac{N}{n \cdot \Sigma t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c}.$$

Остаточно діаметр приймають по найбільшому із знайдених значень.

З формул (4.1) і (4.2) можна визначити необхідну кількість болтів в з'єднанні:

$$n = \frac{4N}{n_s \cdot \pi \cdot d^2 \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c},$$

$$n = \frac{N}{d \cdot \Sigma t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c}.$$

Остаточно кількість болтів приймають по найбільшому із знайдених значень.

З формул (4.1) і (4.2) можна визначити несучу здатність з'єднання:

$$N = n \cdot n_s \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot R_{bs} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c;$$

$$N = n \cdot d \cdot \Sigma t_{min} \cdot R_{bp} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c.$$

Остаточно несучу здатність призначають, виходячи з меншого значення  $N$ .

Перевірити міцність з'єднання на болтах балки настилу з двутавру № 20 з головною балкою (рис. 4.1, в), що перебуває під дією поперечної сили  $Q = 90$  кН. Кількість болтів  $n = 2$ . Болти нормальної точності класу 5.6. Діаметр болтів 20 мм. Матеріал конструкції - сталь марки С235.

У болтовому з'єднанні двох кутників з фасонкою (рис. 4.1, а) для визначення  $\Sigma t_{min}$  порівнюють товщину фасонки  $t_\phi$  і суму товщини полиць двох кутників; як  $\Sigma t_{min}$  приймають найменше з них.

У з'єднанні на болтах двох балок в одному рівні (рис. 4.1, в) як  $\Sigma t_{min}$  приймають найменше значення з двох товщин: товщини ребра  $t_1$  і товщини стінки двутавра  $t_2$ , що приймається за сортаментом залежно від номера двутавра (по сортаменту  $t_2 = d$ ).

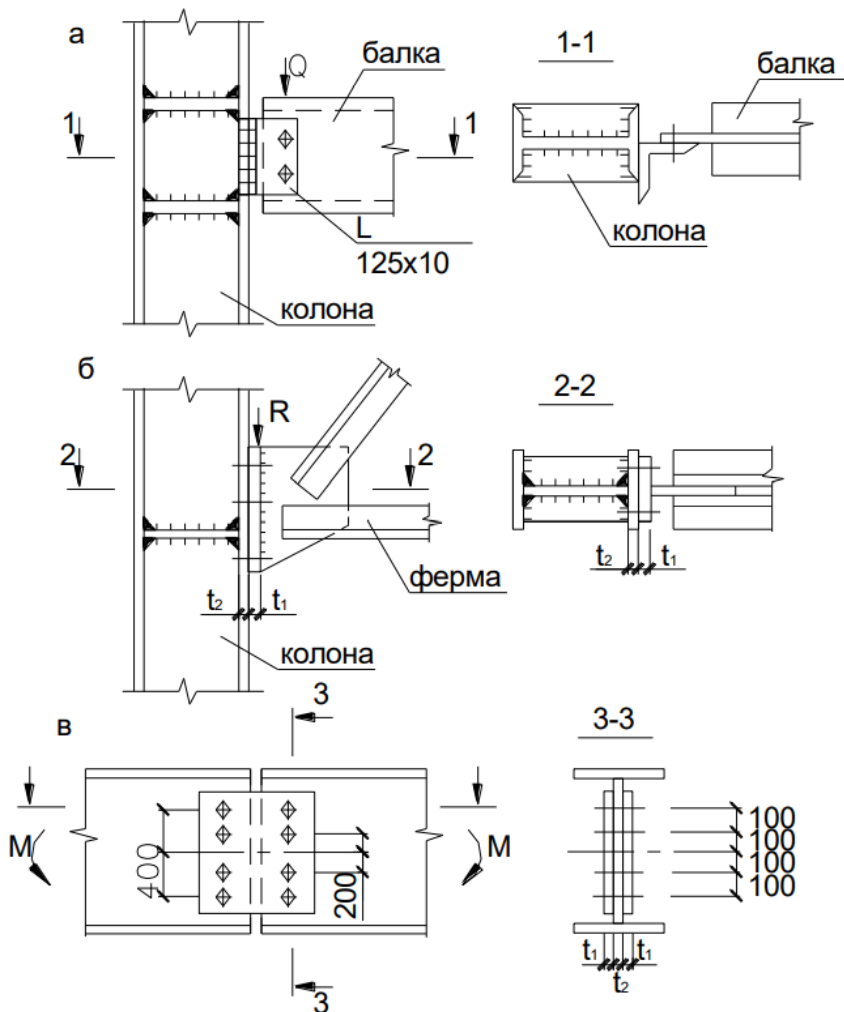


Рисунок 4.2 - Болтові з'єднання сталевих конструкцій.

У болтовому з'єднанні балки з колоною (рис. 4.2, а) для визначення  $\Sigma t_{min}$  порівнюють товщину стінки кутника і товщину стінки балки, яку приймають по сортаменту;  $\Sigma t_{min} = t_{min}$ .

У сполученні двох балок (рис. 4.2, в) болтове з'єднання сприймає згинаючий момент  $M$ . Найбільше зусилля  $N$  від моменту виникає в

болтах, що найвіддалені від центру болтового поля. Максимальне зусилля, що доводиться на один болт, визначається за формулою:

$$N = M \frac{y_2}{y_1^2 + y_2^2},$$

де  $y_1$  і  $y_2$  - відстані між симетричними рядами болтів.

Перевірку міцності самого віддаленого болта проводять за формулами (4.1) і (4.2) при  $n = 1$ . Болтове з'єднання двохзрізне ( $n_s = 2$ ); як  $\Sigma t_{min}$  приймають товщину стінки  $t_1$  або сумарну товщину двох накладок  $2t_2$  (те, що менше).

У приведених нижче задачах для самостійного рішення у всіх розрахункових формулах слід прийняти  $\gamma_c = 1$ , якщо значення коефіцієнта умови роботи конструкції в задачі не обумовлено. Всі марки сталей відповідають ДСТУ 8539:2015.

### Завдання для самостійного рішення

**Задача 4.1.** Визначити максимальну несучу здатність з'єднання на болтах кутників з фасонкою (рис. 4.1, а). Болти нормальної точності класу 5.6 діаметром 16 мм. Кількість болтів  $n = 2$ . Матеріал конструкції – сталь марки С235.

**Задача 4.2.** Перевірити міцність з'єднання на болтах, що перебуває під дією повздовжньої сили  $N = 60$  кН (рис. 4.1, а). Кількість болтів  $n = 2$ . Болти нормальної точності класу 4.8 діаметром 12 мм. Матеріал конструкції – сталь марки С245.

**Задача 4.3.** Визначити необхідну кількість болтів у з'єднанні (рис. 4.1, а), що перебуває під дією повздовжньої сили  $N = 300$  кН. Болти підвищеної точності класу 8.8 діаметром 14 мм. Матеріал конструкції – сталь марки С235.

**Задача 4.4.** Визначити діаметр болтів у з'єднанні (рис. 4.1, а), що перебуває під дією повздовжньої сили  $N = 120$  кН. Кількість болтів  $n = 3$ . Болти нормальної точності класу 5.6. Матеріал конструкції – сталь марки С245.

**Задача 4.5.** Визначити максимальну несучу здатність з'єднання на болтах (рис. 4.1, б). Болти нормальної точності класу 5.6 діаметром

14 мм. Кількість болтів  $n = 6$ . Товщина з'єднаних деталей  $t_1 = 12$  мм, товщина накладок  $t_1 = 8$  мм. Матеріал конструкцій – сталь марки С235.

**Задача 4.6.** Перевірити міцність з'єднання на болтах (рис. 4.1, б), що перебуває під дією повздовжньої сили  $N = 580$  кН. Кількість болтів  $n = 10$ . Болти підвищеної точності класу 5.8 діаметром 16 мм. Товщина з'єднаних деталей  $t_1 = 10$  мм,  $t_1 = 6$  мм. Матеріал конструкцій – сталь марки С235.

**Задача 4.7.** Визначити необхідну кількість болтів у з'єднанні (рис. 4.1, б), що перебуває під дією повздовжньої сили  $N = 500$  кН. Болти нормальної точності класу 6.6 діаметром 14 мм. Товщина з'єднаних елементів  $t_1 = 10$  мм, накладок  $t_2 = 6$  мм. Матеріал конструкції – сталь марки С255.

**Задача 4.8.** Визначити діаметр болтів у з'єднанні (рис. 4.1, б), що перебуває під дією повздовжньої сили  $N = 600$  кН. Кількість болтів  $n = 6$ . Болти нормальної точності класу 8.8. Товщина з'єднаних елементів  $t_1 = 12$  мм, накладок  $t_2 = 8$  мм. Матеріал конструкції – сталь марки С255.

**Задача 4.9.** Визначити несучу здатність з'єднання на болтах балки настилу з двутавру № 24 з головною балкою (рис. 4.1, в). Кількість болтів  $n = 4$ . Болти нормальної точності класу 4.8. діаметром 16 мм. Матеріал конструкції – сталь марки С275.

**Задача 4.10.** Перевірити міцність з'єднання на болтах балки настилу з двутавру № 20 з головною балкою (рис. 4.1, в), що перебуває під дією поперечної сили  $Q = 90$  кН. Кількість болтів  $n = 2$ . Болти нормальної точності класу 5.6. Діаметр болтів 20 мм. Матеріал конструкції – сталь марки С235.

**Задача 4.11.** Визначити необхідну кількість болтів у з'єднанні на болтах балки настилу з двутавру № 30 з головною балкою (рис. 4.1, в), що знаходиться під дією поперечної сили  $Q = 100$  кН. Болти підвищеної точності класу 4.8 діаметром 18 мм. Матеріал конструкції – сталь марки С255.

**Задача 4.12.** Визначити діаметр болтів у з'єднанні балки настилу з двутавру № 24 з головною балкою (рис. 4.1, в), що перебуває під дією поперечної сили  $Q = 150$  кН. Кількість болтів  $n = 3$ . Болти нормальної точності класу 5.8. Матеріал конструкції – сталь марки С285.

**Задача 4.13.** Визначити несучу здатність з'єднання на болтах балки настилу з двутавру № 20 з колоною (рис. 4.2, а). Кількість болтів

$n = 2$ . Болти нормальної точності класу 5.6 діаметром 16 мм. Матеріал конструкції – сталь марки С235.

**Задача 4.14.** Перевірити міцність з'єднання на болтах балки з двутавру № 24 з колоною (рис. 4.2, а), що перебуває під дією поперечної сили  $Q = 30$  кН. Кількість болтів  $n = 3$ . Болти нормальної точності класу 4.6. Діаметр болтів 16 мм. Матеріал конструкції – сталь марки С285.

**Задача 4.15.** Визначити необхідну кількість болтів у з'єднанні балки з двутавру № 40 з колоною (рис. 4.2, а), що знаходиться під дією поперечної сили  $Q = 500$  кН. Болти підвищеної точності класу 8.8 діаметром 24 мм. Матеріал конструкції – сталь марки С255.

**Задача 4.16.** Визначити діаметр болтів у з'єднанні балки з двутавру № 30 з колоною (рис. 4.2, а), що перебуває під дією поперечної сили  $Q = 300$  кН. Кількість болтів  $n = 4$ . Болти нормальної точності класу 6.6. Матеріал конструкції – сталь марки С285.

**Задача 4.17.** Визначити несучу здатність з'єднання на болтах ферми з колоною (рис. 4.2, б). Кількість болтів  $n = 6$ . Болти підвищеної точності класу 5.8 діаметром 20 мм. Товщина з'єднуваних елементів  $t_1 = 20$  мм,  $t_2 = 16$  мм. Матеріал конструкції – сталь марки С245.

**Задача 4.18.** Перевірити міцність з'єднання на болтах ферми з колоною (рис. 4.2, б), що перебуває під дією сили  $R = 180$  кН. Кількість болтів  $n = 4$ . Болти нормальної точності класу 4.8 діаметром 20 мм. Товщина з'єднуваних елементів  $t_1 = 14$  мм,  $t_2 = 10$  мм. Матеріал конструкції – сталь марки С255.

**Задача 4.19.** Визначити необхідну кількість болтів у з'єднанні ферми з колоною (рис. 4.2, б), що знаходиться під дією сили  $R = 100$  кН. Болти нормальної точності класу 4.6 діаметром 18 мм. Товщина з'єднуваних елементів  $t_1 = 20$  мм,  $t_2 = 16$  мм. Матеріал конструкції – сталь марки С235.

**Задача 4.20.** Визначити діаметр болтів у з'єднанні ферми з колоною (рис. 4.2, б), що перебуває під дією сили  $R = 200$  кН. Кількість болтів  $n = 6$ . Болти підвищеної точності класу 5.8. Товщина з'єднуваних елементів  $t_1 = 16$  мм,  $t_2 = 18$  мм. Матеріал конструкції – сталь марки С245.

**Задача 4.21.** Визначити максимальний згинаючий момент, що сприймається з'єднанням на болтах (рис. 4.2, в). Кількість болтів  $n = 8$ . Болти підвищеної точності класу 8.8, діаметром 20 мм. Товщина з'єднуваних елементів  $t_1 = 10$  мм,  $t_2 = 16$  мм. Матеріал конструкції – сталь марки С245.

**Задача 4.22.** Перевірити міцність з'єднання на болтах (рис. 4.2, в), що перебуває під дією згинаючого моменту  $M = 45$  кНм. Кількість болтів  $n = 8$ . Болти нормальної точності класу 6.6 діаметром 16 мм. Товщина з'єднуваних елементів  $t_1 = 12$  мм,  $t_2 = 16$  мм. Матеріал конструкції – сталь марки С245.

**Задача 4.23.** Визначити діаметр болтів у з'єднанні (рис. 4.2, в), що перебуває під дією згинаючого моменту  $M = 30$  кНм. Кількість болтів  $n = 8$ . Болти нормальної точності класу 5.6 діаметром 16 мм. Товщина з'єднуваних елементів  $t_1 = 10$  мм,  $t_2 = 14$  мм. Матеріал конструкції – сталь марки С255.

**Задача 4.24.** Визначити максимальне зусилля у болтовому з'єднанні (рис. 4.2, в) від дії згинаючого моменту  $M = 90$  кНм, а також необхідний діаметр болта. Кількість болтів  $n = 8$ . Болти нормальної точності класу 8.8. Товщина з'єднуваних елементів  $t_1 = 12$  мм,  $t_2 = 20$  мм. Матеріал конструкції – сталь марки С285.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5. РОЗРАХУНОК БОЛТОВИХ З'ЄДНАНЬ НА РОЗТЯГ

З'єднання, що працюють на розтяг називаються фланцевими.

Перевірку міцності болтового з'єднання, що працює на розтяг, виконують за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{n \cdot A_{bn}} \leq R_{bt} \cdot \gamma_c, \quad (5.1)$$

де  $n$  - число болтів в з'єднанні;

$A_{bn}$  - площа болта-нетто (з урахуванням внутрішнього діаметру різьблення), що приймається за табл. В.4 додатку В;

$R_{bt}$  - розрахунковий опір матеріалу болта розтягу, приймається за табл. В.2 додатку В;

$\gamma_c$  - коефіцієнт умов роботи конструкції.

З формули (5.1) можна знайти число болтів в з'єднанні:

$$n = \frac{N}{A_{bn} \cdot R_{bt} \cdot \gamma_c},$$

несучу здатність з'єднання на болтах:

$$N = n \cdot A_{bn} \cdot R_{bt} \cdot \gamma_c,$$

або площу болта:

$$A_{bn} = \frac{N}{n \cdot R_{bt} \cdot \gamma_c},$$

з врахуванням якої призначають діаметр болта (табл. В.4 додатку В).

В задачах для самостійного вирішення, що приводяться нижче, у всіх розрахункових формулах слід прийняти  $\gamma_c = 1$ , якщо значення коефіцієнта умови роботи в задачі не обумовлено.

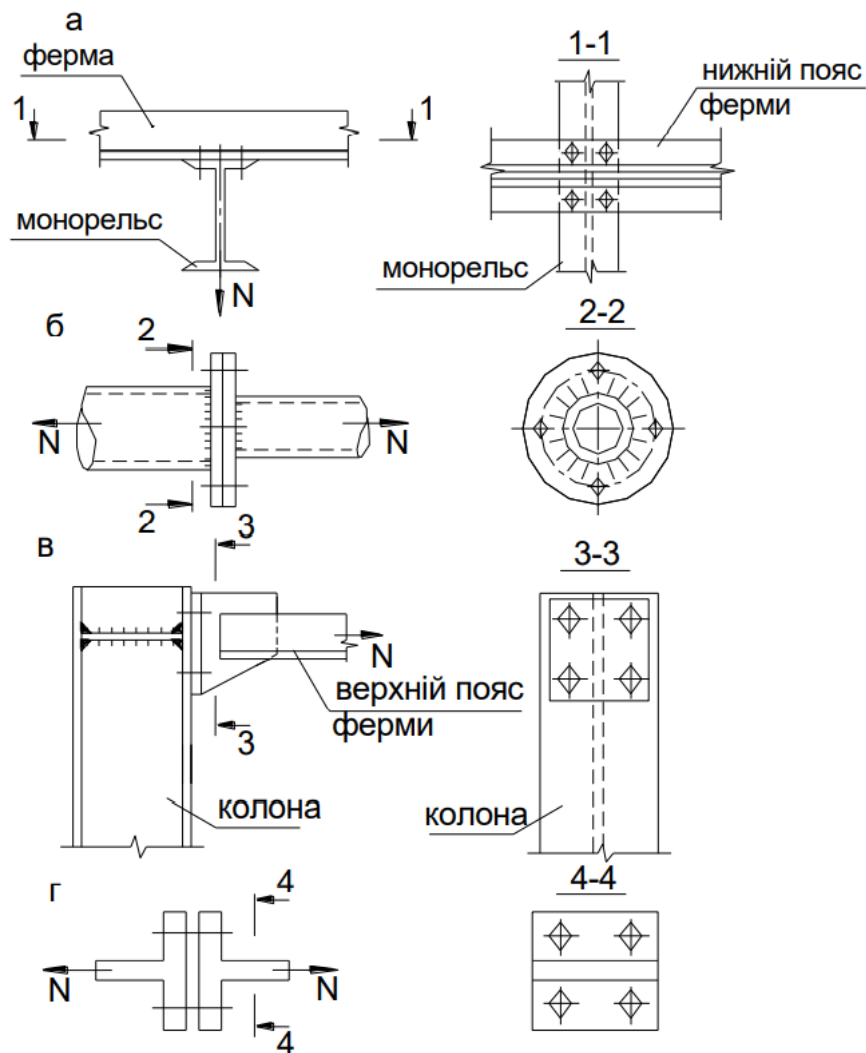


Рисунок 5.1 - До розрахунку болтових з'єднань на розтягання.

### Завдання для самостійного рішення

**Задача 5.1.** Визначити діаметр болтів у з'єднанні (рис. 5.1, б), що знаходиться під дією сили  $N = 200$  кН. Кількість болтів  $n = 3$ . Болти класу 5.8.

**Задача 5.2.** Перевірити міцність з'єднання на болтах що знаходиться під дією сили  $N = 125$  кН (рис. 5.1, а). Кількість болтів  $n = 4$ . Болти класу 5.8 діаметром  $d = 16$  мм.

**Задача 5.3.** Визначити необхідну кількість болтів у з'єднанні (рис. 5.1, а), що знаходиться під дією сили  $N = 270$  кН. Болти класу 8.8 діаметром  $d = 18$  мм, коефіцієнт умов роботи  $\gamma_c = 0,9$ .

**Задача 5.4.** Визначити діаметр болтів у з'єднанні (рис. 5.1, а), що знаходиться під дією сили  $N = 250$  кН. Кількість болтів  $n = 4$ . Болти класу 6.6, коефіцієнт умов роботи  $\gamma_c = 0,9$ .

**Задача 5.5.** Визначити несучу здатність з'єднання на болтах (рис. 5.1, б). Кількість болтів  $n = 6$ . Болти класу 4.6 діаметром  $d = 24$  мм.

**Задача 5.6.** Перевірити міцність з'єднання на болтах що знаходиться під дією сили  $N = 80$  кН (рис. 5.1, б). Кількість болтів  $n = 4$ . Болти класу 4.8 діаметром  $d = 16$  мм.

**Задача 5.7.** Визначити необхідну кількість болтів у з'єднанні (рис. 5.1, б), що знаходиться під дією сили  $N = 400$  кН. Болти класу 5.6 діаметром  $d = 20$  мм.

**Задача 5.8.** Визначити несучу здатність з'єднання на болтах (рис. 5.1, а). Кількість болтів  $n = 4$ . Болти класу 5.6 діаметром  $d = 20$  мм.

**Задача 5.9.** Визначити несучу здатність з'єднання на болтах (рис. 5.1, в). Кількість болтів  $n = 4$ . Болти класу 6.6 діаметром  $d = 24$  мм.

**Задача 5.10.** Перевірити міцність з'єднання на болтах що знаходиться під дією сили  $N = 850$  кН (рис. 5.1, в). Кількість болтів  $n = 4$ . Болти класу 8.8 діаметром  $d = 30$  мм.

**Задача 5.11.** Визначити необхідну кількість болтів у з'єднанні (рис. 5.1, в) що знаходиться під дією сили  $N = 190$  кН. Болти класу 5.8 діаметром  $d = 20$  мм. Коефіцієнт умов роботи  $\gamma_c = 1,1$ .

**Задача 5.12.** Визначити діаметр болтів у з'єднанні (рис. 5.1, в) що знаходиться під дією сили  $N = 150$  кН. Кількість болтів  $n = 4$ . Болти класу 5.6.

**Задача 5.13.** Визначити несучу здатність з'єднання на болтах (рис. 5.1, г). Кількість болтів  $n = 4$ . Болти класу 4.8 діаметром  $d = 24$  мм.

**Задача 5.14.** Перевірити міцність з'єднання на болтах що знаходиться під дією сили  $N = 180$  кН (рис. 5.1, г). Кількість болтів  $n = 6$ . Болти класу 5.8 діаметром  $d = 16$  мм.

**Задача 5.15.** Визначити необхідну кількість болтів у з'єднанні (рис. 5.1, г), що знаходиться під дією сили  $N = 380$  кН. Болти класу 8.8 діаметром  $d = 20$  мм.

**Задача 5.16.** Визначити діаметр болтів у з'єднанні (рис. 10, г), що знаходиться під дією сили  $N = 300$  кН. Кількість болтів  $n = 4$ . Болти класу 6.6. Коефіцієнт умов роботи конструкції  $\gamma_c = 0,95$ .

**Задача 5.17.** Визначити несучу здатність з'єднання на болтах (рис. 5.1, б). Кількість болтів  $n = 8$ . Болти класу 6.6 діаметром  $d = 20$  мм.

**Задача 5.18.** Перевірити міцність з'єднання на болтах (рис. 5.1, б), що знаходиться під дією сили  $N = 85$  кН. Кількість болтів  $n = 4$ . Болти класу 6.6 діаметром  $d = 16$  мм.

**Задача 5.19.** Визначити необхідну кількість болтів у з'єднанні (рис. 5.1, б), що знаходиться під дією сили  $N = 400$  кН. Болти класу 8.8 діаметром  $d = 16$  мм. Коефіцієнт умов роботи  $\gamma_c = 0,9$ .

**Задача 5.20.** Визначити діаметр болтів у з'єднанні (рис. 5.1, б), що знаходиться під дією сили  $N = 360$  кН. Кількість болтів  $n = 6$ . Болти класу 8.8.

**Задача 5.21.** Визначити несучу здатність з'єднання на болтах (рис. 5.1, а). Кількість болтів  $n = 4$ . Болти класу 8.8 діаметром  $d = 30$  мм.

**Задача 5.22.** Перевірити міцність з'єднання на болтах (рис. 5.1, а), що знаходиться під дією сили  $N = 450$  кН. Кількість болтів  $n = 4$ . Болти класу 8.8 діаметром  $d = 22$  мм.

**Задача 5.23.** Визначити необхідну кількість болтів у з'єднанні (рис. 5.1, а) що знаходиться під дією сили  $N = 600$  кН. Болти класу 6.6 діаметром  $d = 30$  мм.

**Задача 5.24.** Визначити діаметр болтів у з'єднанні (рис. 5.1, б), що знаходиться під дією сили  $N = 500$  кН. Кількість болтів  $n = 4$ . Болти класу 8.8. Коефіцієнт умов роботи конструкції  $\gamma_c = 0,95$ .

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №6. РОЗРАХУНОК З'ЄДНАНЬ НА ВИСОКОМІЦНИХ БОЛТАХ

З'єднання на високоміцних болтах, що працюють на зсув, розраховуються з урахуванням сили тертя між поверхнями з'єднуваних елементів, яка виникає від натягнення високоміцних болтів.

Несучу здатність одного високоміцного болта при роботі на зріз виконують за формулою:

$$Q_{bh} = R_{bh} \cdot A_{bn} \cdot \mu \cdot n_{\mu} \cdot \gamma_b / \gamma_h, \quad (6.1)$$

де  $R_{bh}$  - розрахунковий опір розтягуванню високоміцного болта;

$A_{bn}$  - площа болта-нетто, приймається за табл. В.4 додатку В;

$\mu$  - коефіцієнт тертя, що приймається за табл. В.5 додатку В;

$n_{\mu}$  - кількість площин тертя;

$\gamma_b$  - коефіцієнт умови роботи болтового з'єднання, залежний від кількості болтів  $n$ , необхідних для сприйняття розрахункового зусилля, приймається рівним: при  $n < 5$  -  $\gamma_b = 0,8$ ; при  $5 < n < 10$  -  $\gamma_b = 0,9$ ; при  $n > 10$  -  $\gamma_b = 1$ ;

$\gamma_h$  - коефіцієнт надійності для з'єднання на високоміцних болтах, приймається за табл. В.5 додатку В залежно від способу обробки поверхні і способу регулювання натягнення болтів (за моментом закручування  $M$  або за кутом повороту гайки  $a$ ).

$$R_{bh} = 0,7 \cdot R_{bun},$$

де  $R_{un}$  - найменший тимчасовий опір болта розриву, що приймається за табл. В.6 додатку В;

Кількість високоміцних болтів у з'єднанні по одну сторону від стику (на напівнакладці) при дії сили зсуву  $Q$  визначають за формулою:

$$n \geq \frac{Q}{Q_{bn} \gamma_c}, \quad (6.2)$$

де  $Q_{bn}$  - несуча здатність одного високоміцного болта (6.1);

$\gamma_c$  - коефіцієнт умов роботи конструкції.

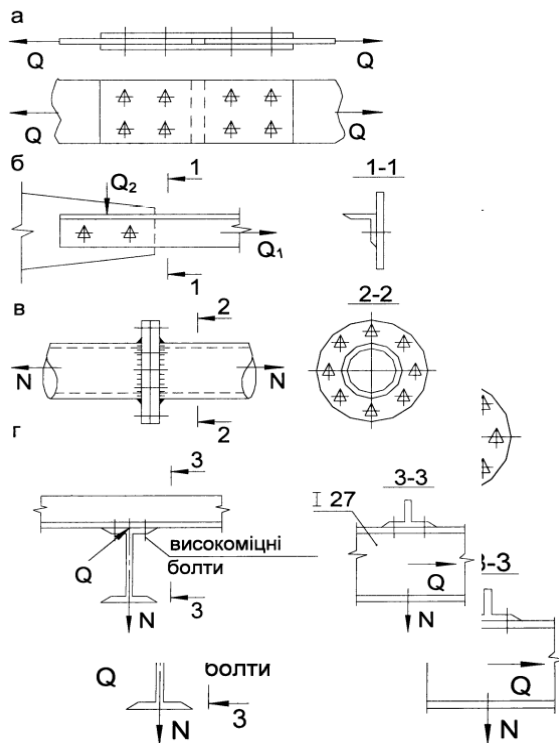


Рисунок 6.1 - До розрахунку з'єднань на високоміцних болтах.

Натягнення високоміцного болта проводять зусиллям  $P = R_{bh} \cdot A_{bn}$  і контролюють за кутом повороту гайки або за моментом закручування.

При роботі високоміцного болта на розтяг його несуча здатність дорівнює натягненню високоміцного болта:

$$N_{bh} = R_{bh} \cdot A_{bn}, \quad (6.3)$$

де  $R_{bh}$  і  $A_{bn}$  - те ж, що і у формулі (6.1).

Кількість високоміцних болтів в з'єднаннях, що працюють на розтяг, при дії сили  $N$  визначають за формулою

$$n = \frac{N}{N_{bh} \cdot \gamma_c}. \quad (6.4)$$

У з'єднанні, представленому на рис. 6.1, б, діють у взаємно перпендикулярних площинах дві сили зсуву  $Q_1$  і  $Q_2$ , задалегідь слід знайти сумарну силу зсуву і  $Q = \sqrt{Q_1^2 + Q_2^2}$  далі в рішенні задач користуватися формулами (6.1) і (6.2).

У з'єднанні, представленому на рис. 6.1, г, діє сила зсуву  $Q$  і сила розтягу  $N$ . За формулами (6.1) і (6.2) болти розраховуються на зсув, за формулами (6.3) і (6.4) - на розтяг.

У приведених нижче задачах для самостійного рішення у всіх розрахункових формулах слід прийняти  $\gamma_c = 1$ , якщо значення коефіцієнту умов роботи в задачі на обумовлено.

### Завдання для самостійного рішення

**Задача 6.1.** Перевірити несучу здатність високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, а), що знаходиться під дією сили  $Q = 700$  кН. Марка сталі болтів 30ХЗМФ, діаметр болтів 20 мм. Кількість болтів з однієї сторони від стику  $n = 6$ . Обробка поверхні з'єднаних елементів - сталевими щітками без консервування; контроль натягу болта - за кутом повороту гайки.

**Задача 6.2.** Визначити необхідну кількість високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, а), що знаходиться під дією сили  $Q = 880$  кН. Марка сталі болтів 38ХС «селект», діаметр болтів 20 мм. Обробка поверхні з'єднаних елементів - піскоструминна кварцовим піском без консервування; контроль натягу болта - за кутом повороту гайки.

**Задача 6.3.** Визначити необхідний діаметр болтів у з'єднанні (рис. 6.1, а), що знаходиться під дією сили  $Q = 800$  кН. Марка сталі болтів 40Х «селект», Кількість болтів з однієї сторони від стику  $n = 4$ . Обробка поверхні з'єднаних елементів - газополум'яним способом без консервування; контроль натягу 57 болта - за моментом закручування. Коефіцієнт умов роботи конструкції  $\gamma_c = 0,95$ .

**Задача 6.4.** Визначити максимальну несучу здатність з'єднання на високоміцних болтах (рис. 6.1, а). Марка сталі болтів 40Х «селект», діаметр болтів 16 мм. Кількість болтів з однієї сторони від стику  $n = 4$ . Обробка поверхні з'єднаних елементів - газополум'яним способом без консервування; контроль натягу болта - за згинаючим моментом.

**Задача 6.5.** Визначити максимальну несучу здатність  $Q_1$  з'єднання на високоміцних болтах (рис. 6.1, б). Марка сталі болтів 40X «селект», діаметр болтів 16 мм. Кількість болтів  $n = 2$ . Обробка поверхні з'єднаних елементів - газополум'яним способом без консервування; контроль натягу болта - за згинаючим моментом.

**Задача 6.6.** Визначити необхідну кількість високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, б), що знаходиться під дією сили  $Q_1 = 350$  кН. Марка сталі болтів 38X «селект», діаметр болтів 16 мм. Обробка поверхні з'єднаних елементів - піскоструминна кварцовим піском без консервування; контроль натягу болта - за кутом повороту гайки.

**Задача 6.7.** Визначити необхідний діаметр високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, б), що знаходиться під дією сили  $Q_2 = 360$  кН. Марка сталі болтів 40X «селект». кількість болтів  $n = 4$ . Обробка поверхні з'єднаних елементів - піскоструминна кварцовим піском з консервуванням напилом цинку; контроль натягу болта - за моментом закручування. Коефіцієнт умов роботи конструкції  $\gamma_c = 0,95$ .

**Задача 6.8.** Перевірити несучу здатність високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, б), що знаходиться під дією сили  $Q_1 = 600$  кН. Марка сталі болтів 30XЗМФ, діаметр болтів 20 мм. Кількість болтів  $n = 4$ . Поверхні з'єднаних елементів не обробляються, контроль натягу болта - за моментом закручування.

**Задача 6.9.** Визначити максимальну несучу здатність з'єднання на високоміцних болтах (рис. 6.1, в). Марка сталі болтів 40X «селект», діаметр болтів 20 мм. Кількість болтів  $n = 8$ .

**Задача 6.10.** Визначити необхідну кількість високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, в), що знаходиться під дією сили  $N = 880$  кН. Марка сталі болтів 40 X «селект», діаметр болтів 24 мм.

**Задача 6.11.** Визначити необхідний діаметр високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, в), що знаходиться під дією сили  $N = 500$  кН. Марка сталі болтів 38 ХС «селект», кількість болтів  $n = 6$ .

**Задача 6.12.** Перевірити несучу здатність високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, в), що знаходиться під дією сили  $N = 800$  кН. Марка сталі болтів 30 ХЗМФ, діаметр болтів 20 мм. Кількість болтів  $n = 4$ .

**Задача 6.13.** Визначити максимальну несучу здатність при роботі на зсув (рис. 6.1, г). З'єднання на високоміцних болтах діаметром 20 мм. Марка сталі болтів 40X «селект», кількість болтів  $n = 4$ . Обробка поверхні з'єднаних елементів - газополум'яним способом без консервування; контроль натягу болта - за моментом закручування.

**Задача 6.14.** Визначити максимальну несучу здатність при роботі на розтяг (рис. 6.1, г). З'єднання на високоміцних болтах діаметром 20 мм. Марка сталі болтів 40X «селект», кількість болтів  $n = 4$ .

**Задача 6.15.** Визначити необхідну кількість високоміцних болтів у з'єднанні при роботі на зсув та розтяг (рис. 6.1, г) Діаметр болтів 20 мм, марка сталі болтів 38XC «селект». Сили, що діють:  $Q = 400$  кН,  $N = 200$  кН. Обробка поверхні з'єднуваних елементів - піскоструминна кварцовим піском з консервуванням напилком цинку; контроль за натягом болта - за кутом повороту гайки.

**Задача 6.16.** Визначити необхідний діаметр високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, г), що знаходиться під дією сили  $N = 600$  кН. Марка сталі болтів 30X3МФ, кількість болтів  $n = 4$ .

**Задача 6.17.** Визначити необхідний діаметр високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, г), що знаходиться під дією сили  $Q = 800$  кН. Марка сталі болтів 30X3МФ, кількість болтів  $n = 4$ . Поверхні з'єднуваних елементів не обробляються; контроль натягу болта - за моментом закручування.

**Задача 6.18.** Перевірити несучу здатність високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, г), що знаходиться під дією сили  $N = 400$  кН. Марка сталі болтів 40XФА «селект», діаметр болтів 20 мм. Кількість болтів  $n = 4$ .

**Задача 6.19.** Перевірити несучу здатність високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, г), що знаходиться під дією сили  $Q = 400$  кН. Марка сталі болтів 40XФА «селект», діаметр болтів 20 мм. Кількість болтів  $n = 4$ . Обробка поверхні з'єднуваних елементів - піскоструминна кварцовим піском з консервуванням напилком цинку; контроль за натягом болта - за кутом повороту гайки.

**Задача 6.20.** Визначити максимальну несучу здатність при роботі на зсув та розтяг (рис. 6.1, г). З'єднання на високоміцних болтах діаметром 16 мм. Марка сталі болтів 40X «селект», кількість болтів  $n = 4$ . Поверхні з'єднуваних елементів не обробляються; контроль натягу болта - за кутом повороту гайки.

**Задача 6.21.** Перевірити несучу здатність високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, б), що знаходиться під дією сил  $Q_1 = 200$  кН та  $Q_2 = 150$  кН. Марка сталі болтів 38XC «селект», діаметр болтів 16мм. Кількість болтів  $n = 2$ . Обробка поверхні з'єднуваних елементів - піскоструминна кварцовим піском без консервування; контроль натягу болта - за кутом повороту гайки.

**Задача 6.22.** Визначити необхідну кількість високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, б), що знаходиться під дією сил  $Q_1 = 200$  кН та  $Q_2 = 150$  кН. Марка сталі болтів 40Х «селект», діаметр болтів 20 мм. Поверхні з'єднаних елементів не обробляються; контроль натягу болта - за кутом повороту гайки.

**Задача 6.23.** Визначити необхідних діаметр високоміцних болтів у з'єднанні (рис. 6.1, б), що знаходиться під дією сил  $Q_1 = 150$  кН та  $Q_2 = 200$  кН. Марка сталі болтів 40Х «селект», кількість болтів  $n = 3$ . Обробка поверхні 60 з'єднаних елементів - сталевими щітками без консервування; контроль натягу болта - за моментом закручування.

## Перелік джерел посилання

1. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. К.: Мінрегіон України, 2014.
2. Методичні вказівки до самостійної роботи при виконанні контрольних робіт за темою «Розрахунок зварних і болтових з'єднань» для студентів напряму 6.060101 «Будівництво» (денної і заочної форми навчання) / Складачі - К.Ф.Жаданова. - Запорозжя: ЗНТУ, 2017 - 71 с.
3. Клименко Ф. Є., Барабаш В. М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції: / За ред. Ф.Є Клименка: Підручник. - 2-ге видання, випр. і доп. - Львів: Світ, 2002. - 312 с.
4. Конспект лекцій з курсу «Металеві конструкції» для студентів всіх форм навчання спеціальностей 8(7).060101 «Промислове та цивільне будівництво». Укладач: Жаданова К.Ф. - Запоріжжя: видавництво ЗНТУ, 2017. - 30 с.
5. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд.
6. ДБН В.1.2-2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі Змінами № 1 та № 2.
7. ДСТУ Б В.2.6-210:2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. - К.: Мінрегіон України, 2017. - 80 с.
8. ДБН В.2.2-9:2018 Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення.
9. ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Прогини і переміщення. Вимоги проектування.
10. ДСТУ ISO 2553:2019 (ISO 2553:2019, IDT). Зварювання та споріднені процеси. Умовні позначки на кресленнях. Зварні з'єднання.
11. ДСТУ 8539:2015. Прокат для будівельних сталевих конструкцій. Загальні технічні умови. К., 2066 - 20 с.
12. Металеві конструкції. Методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів освіти спеціальності 192 - «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання. / [Уклад.: В.А. Пашинський]. - Кропивницький: ЦНТУ, 2025. - 45 с.

13. Металеві конструкції. Методичні вказівки до практичних занять для студентів спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання. Укладач - д.т.н., професор Пашинський В.А. - Кропивницький: ЦНТУ, 2018. - 29 с.

14. Нілов О.О., Пермяков В.О., Шимановський О.В. та ін. Металеві конструкції: Загальний курс: Підручник для вищих навчальних закладів. - Видання 2-е, перероблене і доповнене. - К.: Видавництво «Сталь», 2010. - 869 с.

## Додаток А

### Матеріали для сталевих конструкцій

Таблиця А.1 — Нормативні та розрахункові опори сталей.

Сталь	Товщина прокату	Нормативні опори, МПа, прокату				Нормативні опори, МПа, прокату			
		листового		фасонного		листового		фасонного	
		$R_{yn}$	$R_{un}$	$R_{yn}$	$R_{un}$	$R_y$	$R_u$	$R_y$	$R_u$
С235	2-20	235	360	235	360	230	350	230	350
	20-40	225	360	225	360	220	350	220	350
С245	2-20	245	370	245	370	240	360	240	360
	20-30	-	-	235	370	-	-	230	360
С255	4-10	245	380	255	380	240	370	250	370
	10-20	245	370	245	370	240	360	240	360
	20-40	235	370	235	370	230	360	230	360
С275	2-10	275	380	275	390	270	370	270	380
	10-20	265	370	275	380	260	360	270	370
С285	4-10	275	390	280	400	270	380	280	490
	10-20	265	380	275	390	260	370	270	380
С345	2-10	345	490	345	490	335	480	335	480
	10-20	325	470	325	470	315	460	315	460
	20-40	305	460	305	460	300	450	300	450
С345	4-10	345	470	345	470	335	460	335	460
С375	2-10	375	510	375	510	365	500	365	500
	10-20	355	490	355	490	345	480	345	480
	20-40	335	480	335	480	325	470	325	470

## Додаток Б

### Нормативні матеріали до розрахунку зварних з'єднань

Таблиця Б.1 — Матеріали для зварювання сталей.

Вид зварювання при діаметрі зварювального дроту $d$ , мм	Положення шва	Коефіцієнт	Значення $\beta_f$ та $\beta_z$ при катетах швів, мм			
			3-8	9-12	14-16	>18
Автоматичне при $d = 3 - 5$	В човник	$\beta_f$	1,1	1,1	1,1	0,7
		$\beta_z$	1,15	1,15	1,15	1
	Нижнє	$\beta_f$	1,1	0,9	0,9	0,7
		$\beta_z$	1,15	1,05	1,05	1
Автоматичне та напівавтоматичне при $d = 1,4 - 2$	В човник	$\beta_f$	0,9	0,9	0,8	0,7
		$\beta_z$	1,05	1,05	1	1
	Нижнє	$\beta_f$	0,9	0,8	0,7	0,7
		$\beta_z$	1,05	1	1	1
Ручне: напівавтоматичне дротом суцільного перерізу при $d < 1,4$ або порошковим дротом	В човник, нижнє, горизонтальне, вертикальне, стельове	$\beta_f$	0,7	0,7	0,7	0,7
		$\beta_z$	1	1	1	1

Примітки. 1. Застосування флюсу АН-348-А вимагає додаткового контролю механічних властивостей металу шва при зварюванні з'єднань елементів усіх товщин для конструкцій кліматичних районів І<sub>1</sub>, І<sub>2</sub>, ІІ<sub>2</sub> і ІІ<sub>3</sub> і товщин понад 32 мм для конструкцій решти кліматичних районів.

2. Не застосовувати у поєднанні з флюсом АН-43.

Таблиця Б.2 — Нормативні та розрахункові опори металу швів зварних з'єднань з кутовими швами.

Зварювальні матеріали		$R_{wun}$	$R_{wf}$
Тип електроду	Марка дроту	МПа	
Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А	СВ-08, СВ-08А,	410	180
	СВ-08ГА,	450	200
	СВ-10ГА, СВ-08Г2С, СВ-08Г2СЦ, ПП-АН6, ПП-АП3	490	215
Э60	СВ-08Г2С*, СВ-08Г2СЦ* СВ-10НМА, СВ-10Г2	590	240
Э70	СВ-10ХГ2СМА, СВ-08ХН2ГМЮ	685	280

\*Застосовувати для швів з катетом  $k_f \leq 8$  мм в конструкціях зі сталі з  $R_{un} \geq 440$  МПа.

Таблиця Б.3 — Значення коефіцієнтів  $\beta_f$  та  $\beta_z$ .

Вид зварювання при діаметрі зварювального дроту $d$ , мм	Положення шву	Коефіцієнт	Значення $\beta_f$ та $\beta_z$ при катетах швів, мм			
			3-8	9-12	14-16	>18
Автоматична при $d = 3 - 5$	У човник	$\beta_f$	1,1	1,1	1,1	0,7
		$\beta_z$	1,15	1,15	1,15	1
	Нижнє	$\beta_f$	1,1	0,9	0,9	0,7
		$\beta_z$	1,15	1,05	1,05	1
Автоматична та напівавтоматична при $d = 1,4 - 2$	У човник	$\beta_f$	0,9	0,9	0,8	0,7
		$\beta_z$	1,05	1,05	1	1
	Нижнє	$\beta_f$	0,9	0,8	0,7	0,7
		$\beta_z$	1,05	1	1	1

Кінець таблиці Б.3.

Вид зварювання при діаметрі зварювального дроту $d$ , мм	Положення шву	Коефіцієнт	Значення $\beta_f$ та $\beta_z$ при катетах швів, мм			
			3-8	9-12	14-16	>18
Ручна; напівавтоматична дротом суцільного перерізу при $d < 1,4$ або порошковим дротом	У човник, нижнє, горизонтальне, вертикальне, стельове	$\beta_f$	0,7	0,7	0,7	0,7
		$\beta_z$	1	1	1	1

Таблиця Б.4 — Мінімальні катети швів.

Вид з'єднання	Вид зварювання	Межа текучості $\sigma_w, R_{um}$ МПа	Мінімальні катети $\sigma_w$ , мм, при товщині більш товстого із зварюваних елементів, мм						
			4-6	6-10	11-16	17-22	23-32	33-40	41-80
Таврове з двосторонніми кутовими швами; нахльсточне та кутове	Ручна	< 430	4	5	6	7	8	9	10
		> 430	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматична та напівавтоматична	< 430	3	4	5	6	7	8	9
		> 430	4	5	6	7	8	9	10
Таврове з односторонніми кутовими швами	Ручна	< 380	5	6	7	8	9	10	12
	Автоматична та напівавтоматична	> 380	4	5	6	7	8	9	10

## Додаток В

### Нормативні матеріали до розрахунку з'єднань на болтах

Таблиця В.1 — Коефіцієнт умов роботи з'єднань на болтах.

Характеристика з'єднань	Коефіцієнт умов роботи $u_b$
Багатоболтове при розрахунках на зріз та зминання при болтах точності: - підвищеної	1,0
- грубої та нормальної	0,9

Таблиця В.2 — Розрахунковий опір зрізу та розтягу для одноболтових з'єднань.

Напружений стан	Умовне позначення	Розрахунковий опір, МПа, болтів класів					
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	8.8
Зріз	$R_{bs}$	150	160	190	200	230	320
Розтяг	$R_{bt}$	175	160	210	200	250	400

Таблиця В.3 — Розрахунковий опір зминанню  $R_{bp}$  елементів, що з'єднуються болтами.

Тимчасовий опір сталі з'єднуваних елементів, $R_{шт}$ , МПа	Розрахунковий опір МПа, зминанню елементів, що з'єднуються болтами точності	
	підвищеної	нормальної та грубої
345	365	335
355	385	350
365	400	365
370	410	370
380	430	385
390	445	400
400	465	415

Кінець таблиці В.3.

Тимчасовий опір сталі з'єднаних елементів, $R_{in}$ , МПа	Розрахунковий опір МПа, змінанню елементів, що з'єднуються болтами точності	
	підвищеної	нормальної та грубої
410	485	435
420	500	450
430	520	462
440	540	485
450	560	500
460	580	520
470	600	535
480	620	555
490	640	570
500	665	590
510	685	610
520	705	630
530	730	645

Таблиця В.4 — Болти грубої, нормальної, підвищеної точності,  
високоточні.

Діаметр, мм		Площа перерізу, см <sup>2</sup>		Діаметр, мм		Площа перерізу, см <sup>2</sup>	
болта	отвору	$A_b$ (брутто)	$A_{bn}$ (нетто)	болта	отвору	$A_b$ (брутто)	$A_{bn}$ (нетто)
16	19	2,01	1,57	27*	30	5,72	4,59
18*	21	2,54	1,92	30	33	7,06	5,60
20	23	3,14	2,45	36	39	10,17	8,26
22*	25	3,80	3,03	42	45	13,85	11,20
24	27	4,52	3,52	48	51	18,09	14,72

\* Болти вказаних діаметрів застосовувати не рекомендується

Таблиця В.5 — Значення коефіцієнтів тертя  $\mu$  та надійності  $\gamma_h$ .

Засоби обробки (очищення) з'єднаних елементів	Коефіцієнт тертя $\mu$	Засіб регулювання натягу	Коефіцієнт $\gamma_h$ при навантаженні та різності діаметрів отворів та болтів $\delta$ , мм	
			динамічної при $\delta = 3...6$ статичної при $\delta = 5...6$	динамічної при $\delta = 1$ статичної при $\delta = 3...4$
1. Піскоструминний, дрібоструминний або дрібометний двох поверхонь кварцовим піском або дрібкою, без консервування	0,58	<i>M</i> <i>a</i>	1,35 1,20	1,12 1,02
2. Теж саме з консервуванням, металізуванням розпиленням цинку або алюмінію	0,5	<i>M</i> <i>a</i>	1,35 1,20	1,12 1,02
3. Газополум'яний двох поверхонь без консервування	0,42	<i>M</i> <i>a</i>	1,35 1,20	1,12 1,02
4. Сталевими щітками двох поверхонь без консервування	0,35	<i>M</i> <i>a</i>	1,35 1,25	1,17 1,06
5. Без обробки	0,25	<i>M</i> <i>a</i>	1,7 1,5	1,3 1,2

Примітка. Засіб регулювання натягу болтів по *M* означає регулювання за моментом закручування, а *a* - за кутом оберту гайки.

Таблиця В.6 — Механічні властивості високоміцних болтів.

Номінальний діаметр нарізки $d$ , мм	Марка сталі	Найменше тимчасовий опір $R_{bun}$ , МПа
від 16 до 27	40Х «Селект»	1100
	38ХС «Селект» 30ХФА «Селект»	1350
	30Х3МФ 30Х2НМФА	1550
30	40Х «Селект»	950
	30Х3МФ, 35Х2АФ	1200
36	40Х «Селект» 30Х3МФ	1100
42	40Х «Селект»	650
	30Х3МФ	1000
48	40Х «Селект»	600
	30Х3МФ	900