

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПРОЕКТУВАННЯ ЗВАРНИХ КОНСТРУКЦІЙ.
ЗВАРНІ БАЛКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до самостійної роботи
для студентів за напрямом підготовки 6.050504 "Зварювання"

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри технологій
зварювання та будівництва
протокол №11 від 28.05.2013 р.

Чернігів ЧДТУ 2013

Проектування зварних конструкцій. Зварні балки. Методичні вказівки до самостійної роботи для студентів за напрямом підготовки 6.050504 "Зварювання" / Укл.: Руденко М.М. – Чернігів: ЧДТУ, 2013 . – 30 с.

Укладач: Руденко Михайло Миколайович, старший викладач

Відповідальний за випуск: Харченко Геннадій Костянтинович, завідувач кафедри технологій зварювання та будівництва, доктор технічних наук, професор

Рецензент: Прибисько Ірина Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій зварювання та будівництва Чернігівського державного технологічного університету

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Методика розрахунків і проектування зварної балки.....	5
1.1 Дані для розрахунків.....	5
1.2 Побудова епюр М та Q для балки.....	6
1.3 Визначення висоти балки.....	6
1.3.1 Визначення висоти балки з умови жорсткості.....	6
1.3.2 Визначення висоти балки з умови економічності.....	7
1.4 Конструювання перерізу балки.....	8
1.5 Перевірка перерізу балки.....	10
1.6 Комп'ютерна оптимізація проектних розрахунків.....	13
1.7 Перевірка загальної стійкості балки.....	13
1.8 Перевірка стійкості елементів балки.....	16
2 Стики балок.....	20
2.1 Заводські стики балок.....	20
2.2 Монтажні стики балок.....	20
3 Конструювання й розрахунок зварних з'єднань балки.....	21
4 Конструювання й розрахунок опорних частин балок.....	22
5 Графічна частина роботи.....	24
Рекомендована література.....	25
Додаток А – Варіанти завдання на самостійну роботу.....	26
Додаток Б – Порядок вибору варіанту для самостійної роботи.....	27
Додаток В – ГОСТ 19903-74. Сталь листовая горячекатаная. Сортамент	28

ВСТУП

Аналіз сучасних тенденцій розвитку виробництва металоконструкцій вказує на те, що й у майбутньому обсяг виробництва зварних конструкцій для машинобудування, будівництва та інших галузей промисловості буде зростати.

Зварні конструкції повинні мати високу надійність в експлуатації, бути високотехнологічними й економічними. Застосування зварювання при їх виготовленні дозволяє найбільш ефективно використовувати прокатні, гнуті, штамповані, ковані й литі заготовки.

Розрахунками й проектуванням зварних конструкцій поряд з іншими фахівцями займаються й інженери зварники. У зв'язку із цим навчальним планом для напряму підготовки 6.050504 "Зварювання" передбачене вивчення дисципліни "Проектування зварних конструкцій".

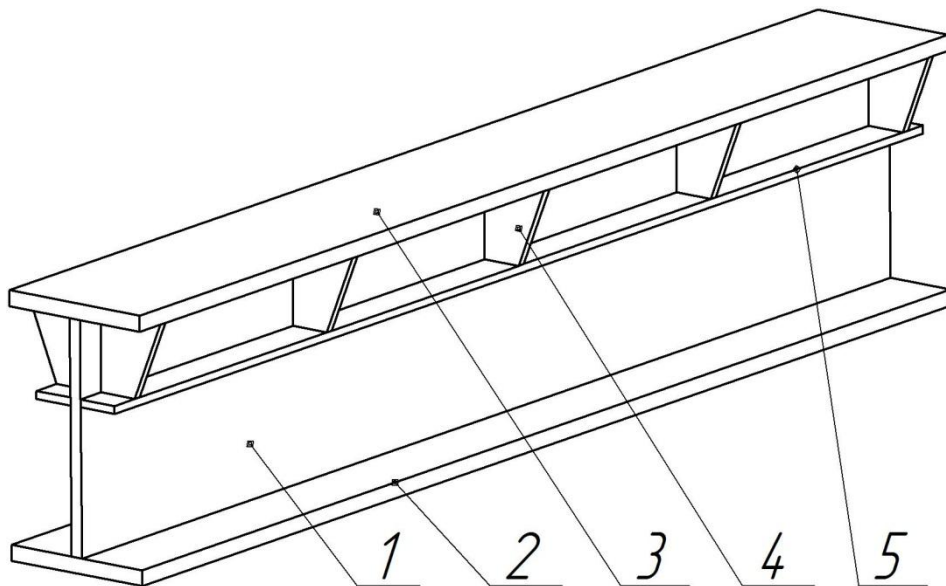
Для виконання самостійної роботи за курсом "Проектування зварних конструкцій" передбачається розгляд методики проектування зварної двотаврової балки за запропонованою розрахунковою схемою (завдання наведені в додатку А).

При виконанні роботи варто керуватися: рекомендованою технічною літературою, ДСТУ, нормами й додатковими матеріалами, наведеними в додатках.

1 Методика розрахунків і проектування зварної балки

Розрахунок і проектування зварної двотаврової балки (рис. 1.1) включає наступні етапи:

- 1) визначення розрахункової схеми зі всіма діючими навантаженнями;
- 2) визначення опорних реакцій та побудова епюр згинаючих моментів M та поперечних зусиль Q ;
- 3) вибір матеріалу балки;
- 4) визначення висоти балки h ;
- 5) конструювання перерізу балки;
- 6) перевірка міцності балки;
- 7) перевірка загальної стійкості балки;
- 8) перевірка місцевої стійкості елементів балки;
- 9) конструювання й розрахунок зварних з'єднань балки;
- 10) конструювання й розрахунки опорних плит балки.



1 – стінка; 2 – нижній пояс; 3 – верхній пояс;
4 – поперечні ребра жорсткості; 5 – повздовжні ребра жорсткості

Рисунок 1.1 – Загальний вигляд зварної балки

1.1 Дані для розрахунків

Вихідними даними для розрахунків є розрахункова схема балки (рис. 1.2), яка наводиться в записці, із заданим навантаженням, довжина балки, норма жорсткості f_{max} , а також мінімальна температура експлуатації.

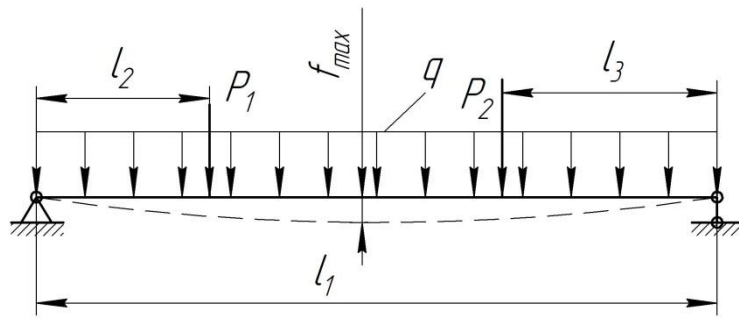


Рисунок 1.2 – Розрахункова схема балки

В залежності від варіанту та значення стріли прогину f/L визначається максимально допустима величина прогину

$$f_{\max} = \frac{f}{L} \cdot L. \quad (1.1)$$

1.2 Побудова епюр M та Q для балки

Для побудови епюр M і Q від діючого навантаження спочатку необхідно визначити опорні реакції, користуючись знаннями з дисципліни "Опір матеріалів". Для статично невизначуваних схем балок розкрити невизначеність методом Мора, користуючись правилом Верещагіна.

В ході розрахунків необхідно відображати всю послідовність виведення кінцевої формули з поясненням складових елементів та наводити графіки та рисунки, що пояснюють хід розрахунку.

З епюр визначити M^{\max} та Q^{\max} , виявити перерізи, де вони діють.

Користуючись знаннями з опору матеріалів, визначити величину максимального прогину балки в загальному вигляді, розв'язуючи диференціальне рівняння зігнутої осі балки.

1.3 Визначення висоти балки

1.3.1 Визначення висоти балки з умови жорсткості

Після визначення розрахункових зусиль, а також небезпечного перерізу балки приступають до проектування її конструкції. Переріз зварної балки повинен задовольняти вимогам міцності, твердості, загальної й місцевої стійкості й у той же час бути можливо більш економічним. Одним з найважливіших завдань при підборі перерізу зварної балки є встановлення раціональної висоти балки h , що є головним розміром. Це впливає з того, що такі основні характеристики поперечного перерізу при згині, як момент опору та момент інерції, виражаються залежностями, у які величина h входить у другому і у третьому ступені. Звичайно складені балки мають $h = 1/8 - 1/12 L$, хоча можливі відхилення як у той, так і в інший бік.

За температурним режимом роботи необхідно обрати матеріал для виготовлення балки [Мандриков А.П. Примеры расчета металлических конструкций. – М., 1991. – С.14-27], визначити розрахунковий опір матеріалу, навести фізико-механічні властивості, хімічний склад матеріалу та описати здатність до зварювання.

Визначити висоту прольоту балки з умови жорсткості, користуючись прикладом 4.4 [Серенко А.Н., Крумбольдт М.Н., Багрянский К.В. Расчет сварных соединений и конструкций. Примеры и задачи – К., 1977. – С. 124-126]. При розрахунках користуватись величиною допустимих напружень

$$\sigma_p = \frac{\sigma_m}{n_0}, \quad (1.2)$$

де σ_m – границя текучості для обраного матеріалу, Па;

n_0 – коефіцієнт запасу міцності ($n_0 = 1.2 - 1.4$ для прокату з вуглецевих сталей, $n_0 = 1.4 - 1.6$ для прокату з легованих сталей);

$$\tau = k \cdot \sigma_p, \quad (1.3)$$

де k – коефіцієнт приведення ($k = 0.6$ для ручного дугового зварювання електродами Е42, Е50; $k = 0.65$ для автоматичного, напівавтоматичного та ручного дугового зварювання електродами Е42А, Е50А).

1.3.2 Визначення висоти балки з умови економічності

Крім вимоги жорсткості, зпроектована балка повинна задовольняти міцності за умови найменшої ваги. Поперечний переріз у цих умовах повинен мати найменшу площу F .

Висота балки, що розраховується з умови економічності, залежить від форми поперечного перерізу балки, що проектується, й визначається для двотаврового перерізу за формулою

$$h = (1.3 \dots 1.4) \sqrt{\frac{M_{\max}}{S_B \sigma_p}}, \quad (1.4)$$

де M_{\max} – розрахунковий максимальний згинаючий момент балки, Н·м;

S_B – товщина вертикального листа, м.

Щоб знайти оптимальну висоту балки, треба заздалегідь задати товщину S_B . Величина S_B зростає зі збільшенням висоти перерізу. Її можна попередньо визначити за емпіричною формулою

$$S_B = \frac{l}{4} + 7, \quad (1.5)$$

де S_B – висота балки, мм;
 l – довжина балки, м.

З конструктивних міркувань товщина вертикального листа звичайно приймається не менш 6 мм і повинна відповідати стандартній товщині листової сталі (Додаток Б).

Висоти, знайдені з умов жорсткості та економічності, можуть виявитися зовсім різними. У цьому випадку як розрахункову приймають найбільшу висоту балки. Її значення бажано округлити так, щоб висота вертикального листа балки збігалася зі стандартною шириною прокатної сталі або вся висота балки була б кратною модулю 100 мм.

1.4 Конструювання перерізу балки

Визначивши висоту балки, приступають до підбору елементів її поперечного перерізу (рис. 1.3) з умови міцності. Послідовність розрахунку при цьому наступна:

1. Визначають необхідний момент опору поперечного перерізу балки

$$W_{\text{необх}} = \frac{M_{\text{max}}}{\sigma_p} \quad (1.6)$$

2. Знаючи необхідну висоту балки h , розраховують величину моменту інерції поперечного перерізу

$$I_{\text{необх}} = W_{\text{необх}} \frac{h}{2} \quad (1.7)$$

3. Обчислюють наближене значення моменту інерції вертикального листа. При цьому, якщо товщина листа S_B уже обрана, то його висота не цілком визначена, тому що невідома товщина S_{II} горизонтальних листів (поясів). При вирішенні завдання в першому наближенні приймають $h_B = 0.95h$, тоді

$$I_B = \frac{S_B \cdot h_B^3}{12} \quad (1.8)$$

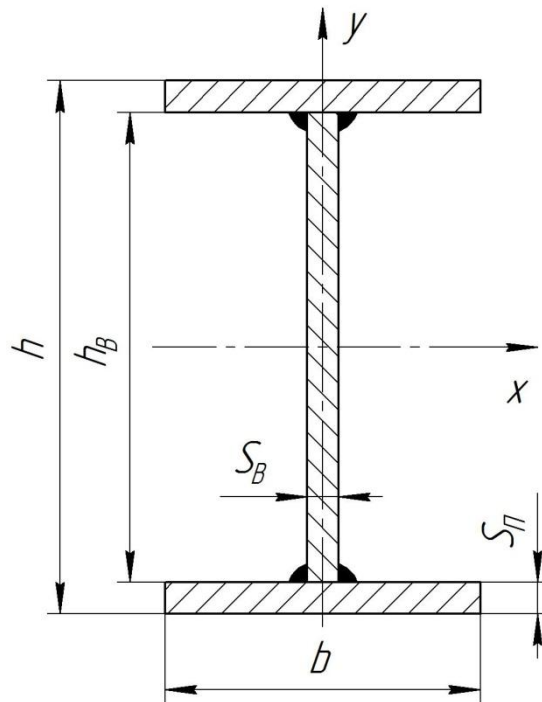


Рисунок 1.3 – Поперечний переріз балки

4. Визначають необхідний момент інерції поясів балки. Для симетричного двотавра момент інерції кожного пояса

$$I_{II} = \frac{I_{необх} - I_B}{2} \quad (1.9)$$

5. Розраховують необхідну площу поперечного перерізу кожного пояса балки

$$F_{II} = \frac{I_{II}}{\left(\frac{h_B}{2}\right)^2} \quad (1.10)$$

6. Знаходять розміри перерізу пояса з рівняння

$$F_{II} = b \cdot S_{II} \quad (1.11)$$

При цьому варто приймати $b = 10 \dots 20 S_{II}$ (ширина пояса повинна бути не менше 180 мм), а товщину пояса S_{II} - не більше $3S_B$. Розміри поясів округляють так само як і висоту вертикального листа (остаточні розміри листів повинні відповідати ГОСТ 82-70 на широкополосову сталь).

Підібравши розміри елементів поперечного перерізу балки, необхідно накреслити цей перетин у масштабі із зазначенням всіх розмірів.

Через деякі неточності розрахунку, допущені при підборі перерізу

необхідно виконати перевірку його міцності.

1.5 Перевірка перерізу балки

Виходячи з умов роботи спроектованої балки, варто перевірити її загальну міцність при згині, місцеву міцність, обумовлену наявністю зосереджених навантажень, а також стійкість всієї балки і її елементів. Попередньо перевіряють переріз за використанням матеріалу. При цьому повинна виконуватися умова

$$\frac{2F_{II}}{2F_{II} + F_B} \cdot 100 \geq 30\% \quad (1.12)$$

Для прийнятих розмірів двотаврової балки визначають геометричні характеристики перерізу:

фактичний момент інерції:

$$J_{\phi} = \frac{S_B \cdot h_B^3}{12} + 2 \cdot \left[\frac{b \cdot S_{II}^3}{12} + b \cdot S_{II} \left(\frac{h - S_{II}}{2} \right)^2 \right]; \quad (1.13)$$

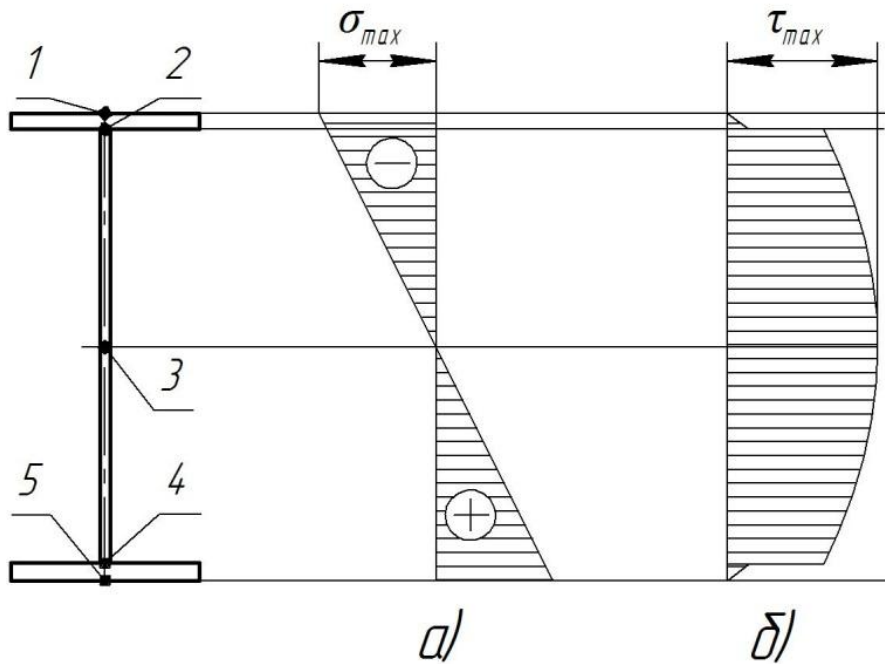
фактичний осьовий момент опору при згині

$$W_{\phi} = \frac{J_{\phi}}{0.5 \cdot h}; \quad (1.14)$$

Міцність балки при згині перевіряють за нормальними та дотичними напруженнями у перерізах, де зусилля, що викликають ці напруження, максимальні. Нормальні напруження визначають у перерізі, де M має найбільшу величину:

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{M_{\max}}{W_{\phi}} \leq \sigma_p. \quad (1.15)$$

Перевантаження більше 5% неприпустиме. Недовантаження більше 5% допускається, якщо воно виправдане, наприклад, вибором висоти з умов міцності. Епюра нормальних напружень у двотавровій балці наведена на рисунку 1.4,а.



а – еюра нормальних напружень σ ;

б – еюра дотичних напружень τ

Рисунок 1.4 – Еюри згинаючих напружень у двотавровій балці

Дотичне напруження обчислюють у перерізі, де величина Q максимальна:

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S}{S_B \cdot J_{\phi}} \leq \tau, \quad (1.16)$$

де S – статичний момент половини площі до осі, що проходить через центр ваги перерізу, для симетричного двотавра (рис. 1.5).

Статичний момент фігури визначається як добуток її площі на відстань від центру ваги фігури до розглянутої осі. Статичний момент складної фігури визначається як сума статичних моментів елементарних фігур (квадрат, прямокутник), на які її можна розбити.

$$S = b \cdot S_{II} \cdot \left(\frac{h_B}{2} + \frac{S_{II}}{2} \right) + \left(S_B \cdot \frac{h_B}{2} \right) \cdot \frac{h_B}{4}, \quad (1.17)$$

$[\tau]$ – допустиме напруження на зріз.

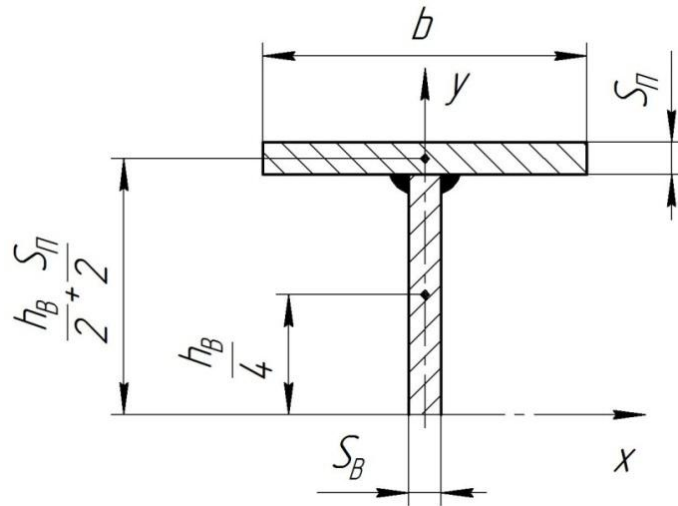


Рисунок 1.5 – Розрахунок статичного моменту перерізу двотавра

Також необхідно перевірити умову міцності в двох перерізах при найбільш несприятливому поєднанні згинаючого моменту та поперечної сили. При цьому на краях вертикального листа (точки 2 й 4, рисунок 1.4) слід перевірити міцність за еквівалентними напруженнями:

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2} \leq \sigma_p; \quad (1.18)$$

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{J_\phi / 0.5 \cdot h_B}; \quad (1.19)$$

$$\tau = \frac{Q_1 \cdot S_1}{S_B \cdot J_\phi}, \quad (1.20)$$

де M_1 – згинаючий момент в перерізі, що розглядається, Н·м;

Q_1 – поперечна сила в перерізі, що розглядається, Н;

S_1 – статичний момент пояса щодо центра ваги перерізу, м³.

$$S_1 = \left(S_B \cdot \frac{h_B}{2} \right) \cdot \frac{h_B}{4}. \quad (1.21)$$

Для точок 2 й 4, якщо вони знаходяться на поверхні полиці дотичні напруження визначаються за наступною формулою

$$\tau_2 = \frac{Q_1 \cdot S_1}{b \cdot J_\phi}, \quad (1.22)$$

При обчисленні J_ϕ й S_1 зварні шви не враховуються.

У більшості випадків міцність спроектованої балки визначається величиною нормальних напружень σ , що розраховують за формулою (1.15). Умова міцності за еквівалентними напруженнями (1.18) при цьому майже завжди виконується.

Після розрахунків в пояснювальній записці слід відобразити переріз балки з необхідними розмірами та епюри нормальних і дотичних напружень в розрахованих перерізах.

1.6 Комп'ютерна оптимізація проектних розрахунків

Після розрахунків геометричних параметрів поперечного перерізу балки за допомогою комп'ютерної програми АРМ WinMachine виконується математичне моделювання роботи балки від заданого навантаження. Для цього в пакеті АРМ WinStructure будується модель заданої балки та виконується розрахунок її напружено-деформованого стану від дії заданого навантаження.

В пояснювальну записку вносяться:

- 1) геометричний переріз балки;
- 2) розрахункова геометрична модель з прикладеним навантаженням;
- 3) дані по розподілу напружень від згинаючого момент та поперечної сили в перерізах, для яких виконували попередньо перевірочні розрахунки;
- 4) дані по деформуванню балки, які порівнюються з допустимими відповідно до завдання.

Робляться загальні висновки по роботі спроектованої конструкції.

1.7 Перевірка загальної стійкості балки

Підібравши переріз балки, що задовольняє вимогам міцності та жорсткості, необхідно забезпечити загальну стійкість балки. Втрата загальної стійкості балки полягає у виході з вертикальної площини її вертикального листа-стілки й з горизонтальної площини її полиць під дією навантажень у вертикальній площині. Після втрати загальної стійкості балка приймає вид, представлений на рис.1.6, а.

Перевіряти стійкість балок не потрібно, якщо

- 1) розподілене статичне навантаження передається через суцільний твердий настил, що рівномірно опирається на стиснутий пояс балки й надійно з ним зв'язаний, наприклад, через товсті сталеві плити, залізобетонні плити й т.д.;
- 2) співвідношення розрахункової довжини пояса двотаврової балки L до ширини верхньої полиці b : $L \leq 16b$.

Розрахункова довжина стиснутого пояса приймається рівною відстані між точками закріплення стиснутого пояса від поперечних зміщень (вузли горизонтальних зв'язків, точки обпирання ребер твердого настилу й т.д.); при відсутності проміжних закріплень L – прольот балки.

Якщо наведені вище умови не виконуються, то необхідно перевірити

загальну стійкість балки за формулою

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \varphi \cdot \sigma_p, \quad (1.23)$$

де φ – коефіцієнт зменшення допустимих напружень у балці з урахуванням забезпечення її стійкості.

Для балок двотаврового перерізу

$$\varphi = \psi \cdot \frac{J_y}{J_x} \left(\frac{h}{L} \right)^2 \cdot 10^3, \quad (1.24)$$

де J_x, J_y – моменти інерції відносно осей x та y , m^4 ;
 h – висота балки, m ;
 L – розрахункова довжина стиснутого пояса, m .

Для подальших розрахунків значення φ , обчислене за формулою (1.24) слід прийняти:

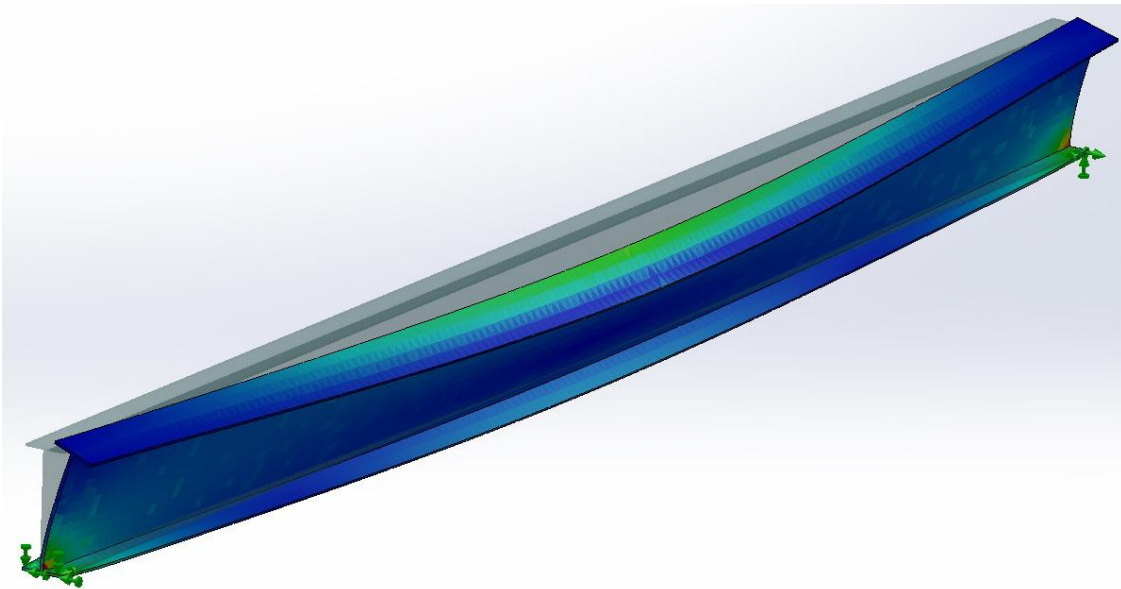
- при $0.85 \leq \varphi < 1$ приймаємо $\varphi = 0.85$;
- при $1.00 \leq \varphi < 1.25$ приймаємо $\varphi = 0.90$;
- при $1.25 \leq \varphi < 1.55$ приймаємо $\varphi = 0.96$;
- при $\varphi > 1.55$ приймаємо $\varphi = 1.00$.

Коефіцієнт ψ , зумовлений схемою балки й характером навантаження, залежить від параметру α (рис.1.7).

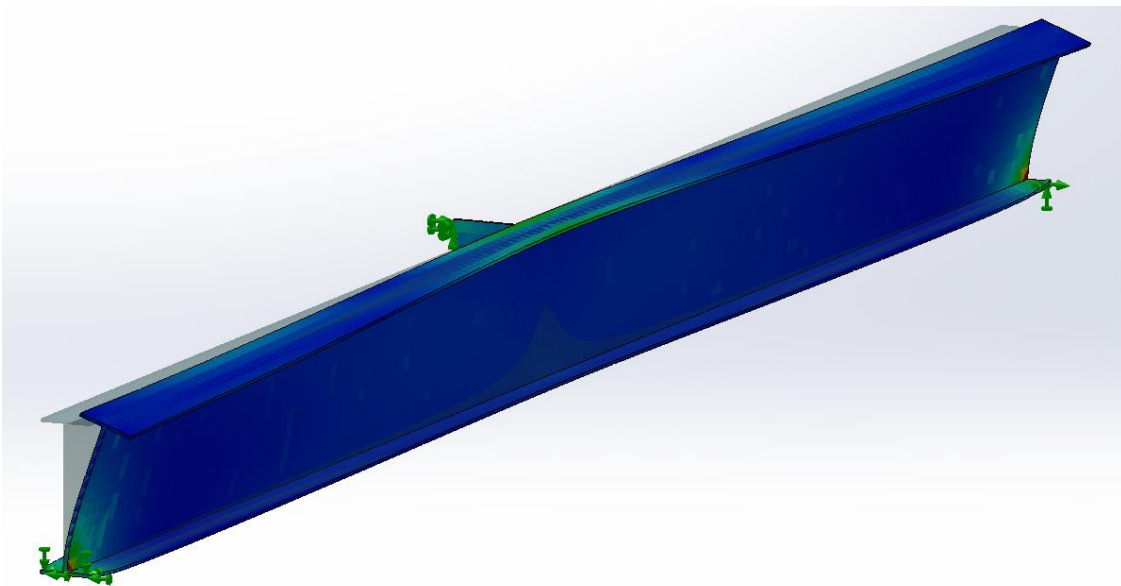
При проектуванні балки для перевірки її стійкості у формули (1.24) та (1.25) як розрахункову довжина стиснутого пояса L підставляють прольот балки. Якщо умова стійкості (1.23) при цьому не виконується, то прольот L необхідно штучно зменшити, поставивши закріплення. У першому наближенні відстань між закріпленнями можна розрахувати з відношення $l_0 = 16b$ і потім визначити α і φ . У цьому випадку коефіцієнт φ повинен бути не менш 1. Якщо φ виявляється менше 0.85, то виконується розрахунок у другому наближенні. При цьому l_0 потрібно зменшити за рахунок додаткових поперечних зв'язків на балці (рис.1.6, б).

Параметр α знаходять за формулою

$$\alpha = 8 \left(\frac{L \cdot S_{II}}{b \cdot h} \right)^2 \left(1 + \frac{h \cdot S_B^3}{2 \cdot b \cdot S_{II}^3} \right) \quad (1.25)$$



а)



б)

- а – балка після втрати загальної стійкості;
 б – після постановки додаткових поперечних зв'язків

Рисунок 1.6 – Загальна втрата стійкості балки

Таким чином, попередньо визначивши величину l_0 , визначають α , а потім за таблицею 1.1 знаходять значення ψ .

Таблиця 1.1 – Значення коефіцієнта ψ як функції α

α	0,1	1,0	8,0	16,0	32,0	64,0
ψ	1,73	1,85	2,63	3,37	4,59	6,50

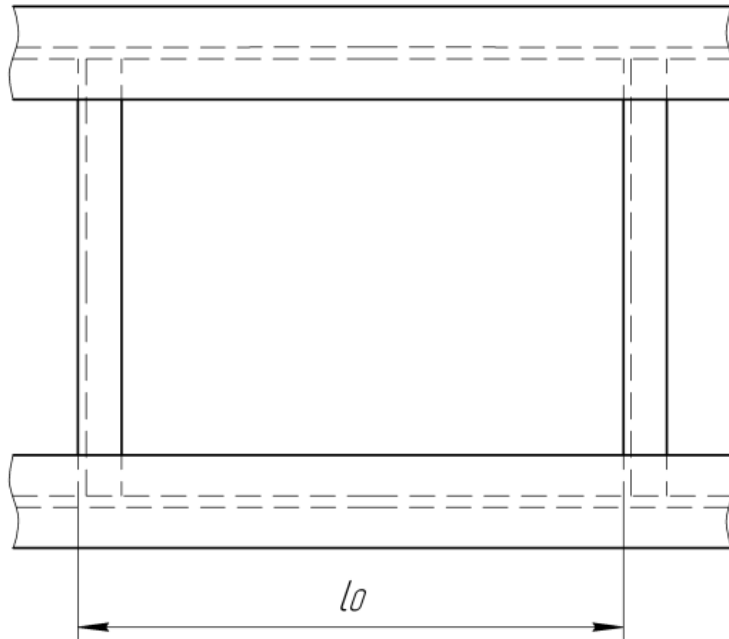


Рисунок 1.7 – Схема закріплення балки в горизонтальній площині

1.8 Перевірка стійкості елементів балки

Місцева стійкість полиць стиснутого пояса не перевіряється, оскільки ширина пояса була прийнята $b \leq 20S_{II}$.

Необхідно перевірити умову постановки поздовжніх ребер жорсткості. Якщо умовна гнучкість стінки

$$\lambda_{\sigma} = \frac{h_{\sigma}}{S_{\sigma}} > \lambda_{кр}, \quad (1.26)$$

де $\lambda_{кр}=160$ – для маловуглецевих сталей; і $\lambda_{кр}=130$ – для низьколегованих сталей, то необхідно встановити поздовжні парні ребра жорсткості.

Ребра встановлюють в стиснутій зоні стінки (рис. 1.8) на відстані c від верхнього пояса,

$$c = 0,2 \dots 0,25 \cdot h. \quad (1.27)$$

Ширину ребра (мм) визначають за формулою:

$$b_p = \frac{h}{30} + 40. \quad (1.28)$$

Товщину ребра визначають для маловуглецевих сталей

$$S_p = \frac{b_p}{15}, \quad (1.29)$$

для низьколегованих сталей

$$S_p = \frac{b_p}{12}. \quad (1.30)$$

Отримані розміри округлюють до більшого найближчого розміру полоси за ГОСТом.

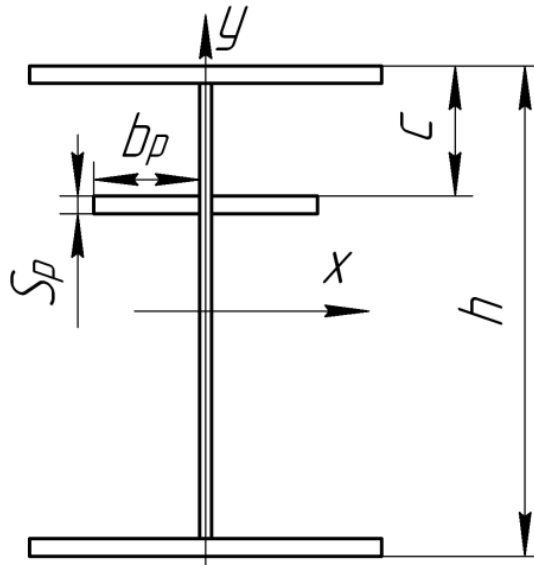


Рисунок 1.8 – Схема установки повздовжніх ребер жорсткості

Вертикальні поперечні ребра жорсткості служать для підвищення стійкості стінки балки при спільній дії дотичних і нормальних напружень. Їх передбачають, коли умовна гнучкість стінки балки

$$\lambda_{\varpi} = \frac{h_B}{S_B} \sqrt{\frac{\sigma}{E}} \quad (1.31)$$

перевищує 3.2 у випадку нерухомого навантаження і 2.2 у випадку рухомого навантаження.

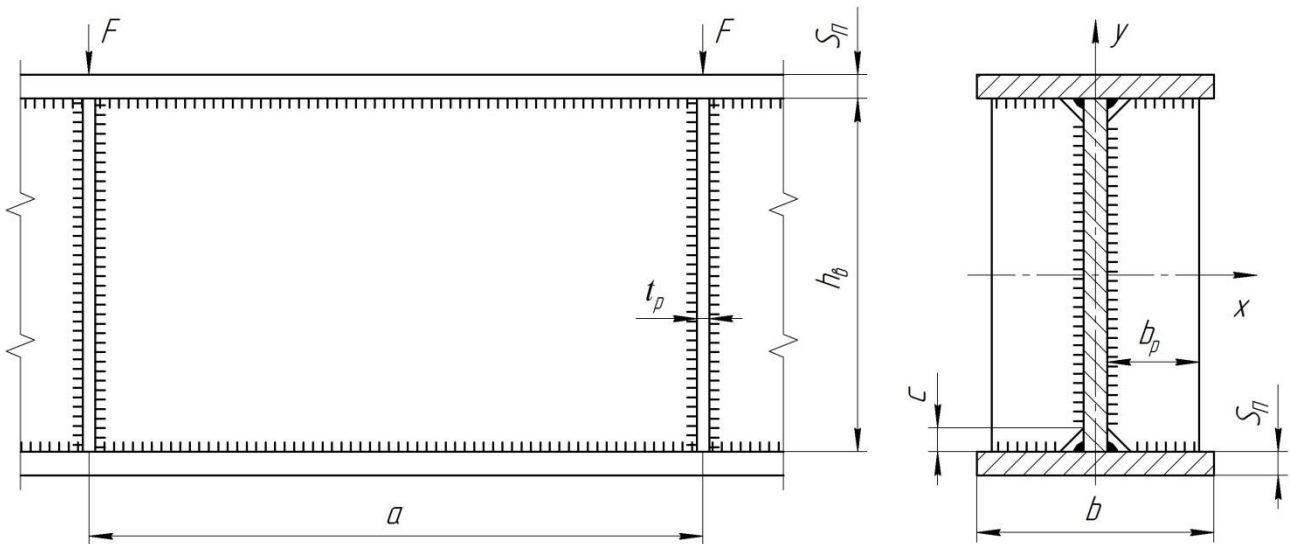


Рисунок 1.9 – Схема розміщення поперечних ребер жорсткості

Розміри вертикальних ребер жорсткості (рис. 1.9) приймають такими, щоб забезпечити незмінність їхньої форми навіть при втраті стінкою стійкості. При симетричному розташуванні ребер жорсткості ширина ребра, мм:

$$b_p = \frac{h_B}{30} + 40, \quad (1.32)$$

де h_B – висота стінки балки, мм;

для несиметричних однобічних ребер:

$$b_p = \frac{h_B}{24} + 50. \quad (1.33)$$

Товщина ребра у всіх випадках:

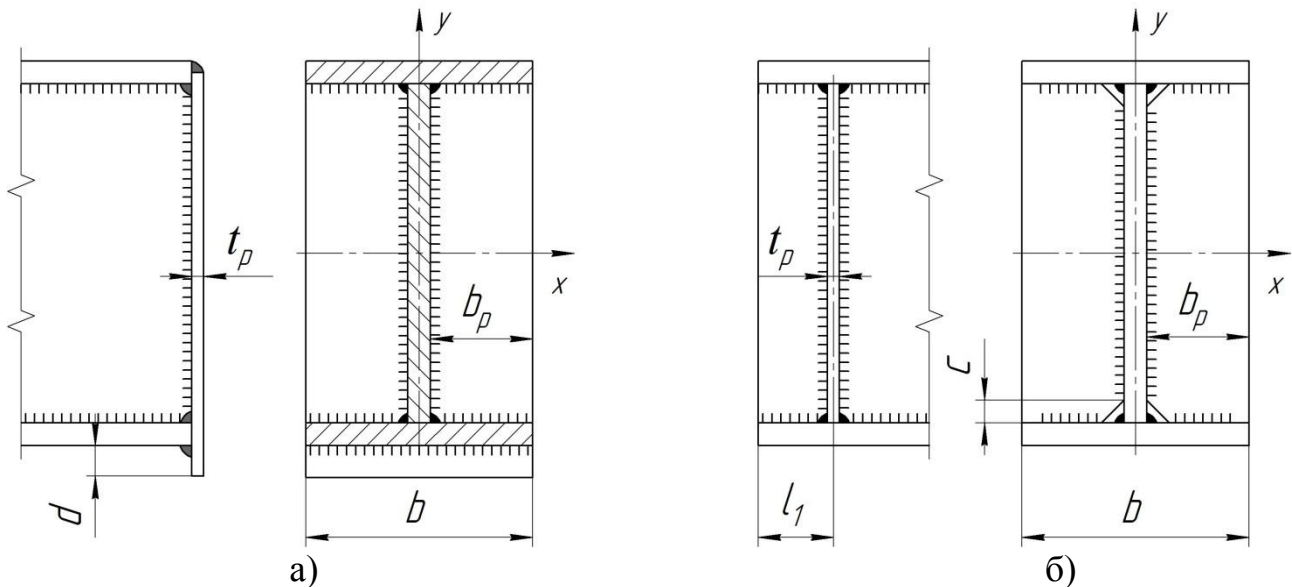
$$t_p = 2 \cdot b_p \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{E}} \quad (1.32)$$

Відстань a між поперечними ребрами залежать від умовної гнучкості стінки. Вона не повинна перевищувати $2h_B$, якщо $\lambda_{\omega} > 3.2$ і $2.5h_B$ якщо $\lambda_{\omega} \leq 3.2$. Окрім цього, поперечні ребра жорсткості встановлюють у місцях прикладення значних зосереджених нерухомих навантажень і на опорах.

Ребра жорсткості закріплюють однобічними швами. При експлуатації балок у середньо - чи сильно агресивних середовищах та при динамічному характері навантажень обов'язковими є двосторонні шви.

Для передачі значних опорних реакцій на конструкції, розміщені нижче (наприклад, колони), в балках влаштовують опорні ребра. У будівельній

практиці найширше використовують два конструктивних рішення: опорні ребра безпосередньо на кінцях балки (рис. 1.10, а) та віддалені від кінців (рис. 1.10, б). Опорна реакція передається через торці ребер. Їх старанно вирівнюють (найчастіше фрезерують), щоб забезпечити щільне прилягання по всій поверхні контакту з опорою.



а – опорне ребро безпосередньо на кінці балки;

б – опорне ребро віддалене від кінця балки

Рисунок 1.10 – Конструкції опорних ребер

Відстань від торця балки до осі опорного ребра визначають за залежністю:

$$l_1 = 15 \cdot S_g \text{ – для балок з маловуглецевої сталі;}$$

$$l_1 = 12 \cdot S_g \text{ – для балок з низьколегованої сталі.}$$

Опорні ребра ставлять завжди. Переріз опорних ребер вибирають згідно з умовами міцності та стійкості. Ширину опорного ребра b_p приймають рівною ширині полицок. При розмірі $d < 1,5t_p$ для першої конструкції опорного ребра (рис. 1.10, а), а також для другої конструкції (рис. 1.10, б) напруження на контактній поверхні не повинні перевищувати міцності металу на зминання R_p :

$$\frac{F}{b \cdot t_p} \leq R_p \cdot \gamma_c, \quad (1.33)$$

де F – опорна реакція балки;

b і t_p – ширина і товщина контактної поверхні опорного ребра;

R_p – розрахунковий опір при зминанні торцевої поверхні;

γ_c – коефіцієнт умов роботи [2].

2 Стики балок

У балках розрізняють два типи стиків: заводські стики, що виконують на підприємствах металевих конструкцій, якщо довжина наявного металопрокату недостатня; монтажні стики, які виконують на будівельних майданчиках, коли умови транспортування вимагають поділу конструкції балки на кілька частин, які перед монтажем з'єднують.

Заводські стики переважно виконують за допомогою зварювання. Монтажні стики можуть бути як зварними, так і на болтах чи заклепках.

Виконання монтажних стиків трудомістке і має високу вартість.

2.1 Заводські стики балок

Заводські стики листів для стінки і полицок балок складеного перерізу виконують переважно за допомогою стикових швів, рівномісних основному металу. При цьому стики окремих елементів перерізу (стінки і полицок) не повинні накладатися.

Розміщують стики в зонах, де у відповідних елементах діють невеликі напруження: поясів – ближче до опор, стінки – до середини балки. Послідовність зварювання призначають такою, щоб залишкові напруження були якнайменші. Спочатку зварюють поперечні стикові шви окремо в кожному елементі, далі накладають полицкові шви і лише після цього приварюють ребра жорсткості.

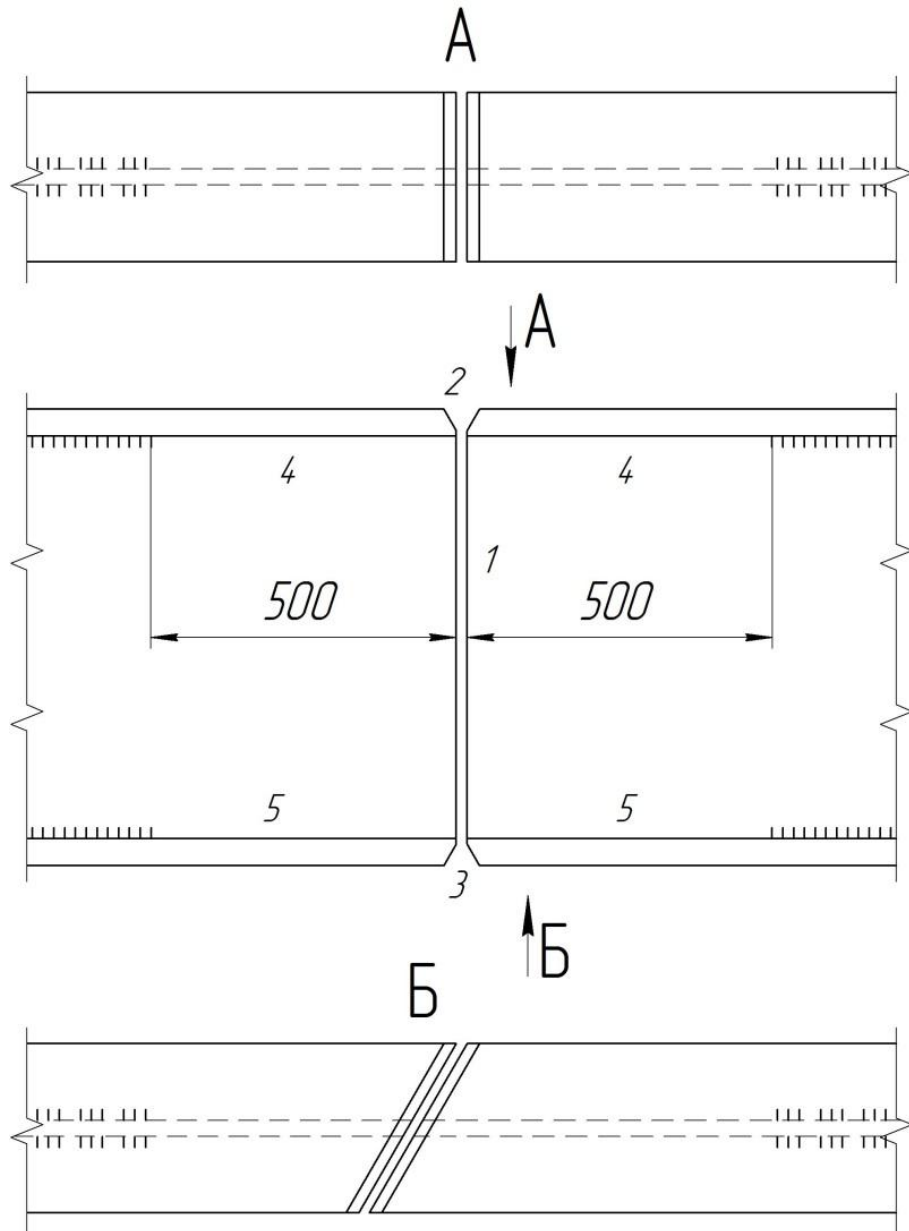
2.2 Монтажні стики балок

У балках складених перерізів монтажні стики найчастіше виконують за допомогою зварювання та високомісних болтів.

При використанні зварювання з'єднання виконують за допомогою стикових швів. Міцність стику перевіряють як суцільний переріз. Напруження у ньому не повинні перевищувати розрахункового опору стикового зварного з'єднання.

У зв'язку з тим, що за відсутності устаткування для фізичних методів контролю якості з'єднання у розтягненій зоні, доцільно монтажний стик розміщувати за межами зони дії найбільшого згинального моменту, в перерізах, для яких $M < 0,85M_{\max}$. Для забезпечення рівномісності стику ефективним також є застосування навскісного стику розтягнутої полицки та вивідних планок для стикових швів обох полицок.

Для зменшення залишкових напружень заводські шви, що з'єднують стінку з полицками, не доводять до місця стику на 500 мм. З цією ж метою обов'язковим є дотримання порядку зварювання (рис. 2.1). Матеріали для зварювання повинні відповідати марці матеріалів полицок і стінки балки, а технологія зварювання – забезпечувати повне проплавлення з'єднаних елементів.



1-5 – послідовність виконання швів

Рисунок 2.1 – Конструкція зварного стику балки складеного перерізу

3 Конструювання й розрахунок зварних з'єднань балки

Необхідно розробити зварні з'єднання для зварювання вертикальної стінки з поясами балки, технологічні, монтажні та конструктивні стики балки, шви приварки ребер жорсткості. Автор проекту визначає місця стиків, показує конструкцію зварних з'єднань (розробку кромки), позначає зварні шви за ДСТУ.

Для поясних швів у всіх випадках катет приймають не менше 4 мм та не менше $0.5S_g$. Після призначення катету перевіряють міцність шва. При дії статичного навантаження

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{2 \cdot J_{\phi} \cdot \beta \cdot k}, \quad (3.1)$$

де τ – дотичні напруження в шві, МПа

Q – максимальна поперечна сила на всій довжині балки, Н;

k – катет шва, мм;

S – статичний момент верхньої полиці, мм³;

J_{ϕ} – фактичний момент інерції всього перерізу, мм⁴;

β – коефіцієнт визначення розрахункової товщини кутового шва.

Зварні шви ребер жорсткості приймають не менше 4 мм та не менше $0.5S_{\phi}$. Для опорних ребер призначають шви з катетом $k = 0.8 \dots 1.0 \cdot t_{on.p.}$.

4 Конструювання й розрахунки опорних частин балок

Опорні частини балок призначені для передачі опорного навантаження на колону чи фундамент. При невеликих навантаженнях опорні частини виконують у вигляді плоскої опорної плити. Для великих балок частіше використовують опорні частини у вигляді плоских опорних плит зі скосом чи у вигляді випуклих плит (рис. 4.1), з якими балка з'єднана за допомогою штифтів.

Штифти – короткі гладкі циліндричні стержні діаметром $d_{ш} = 19-25$ мм. На кожній опорі по два штифти. Вони не перешкоджають повороту опорних перерізів балки та не дають балці зміститися з опори.

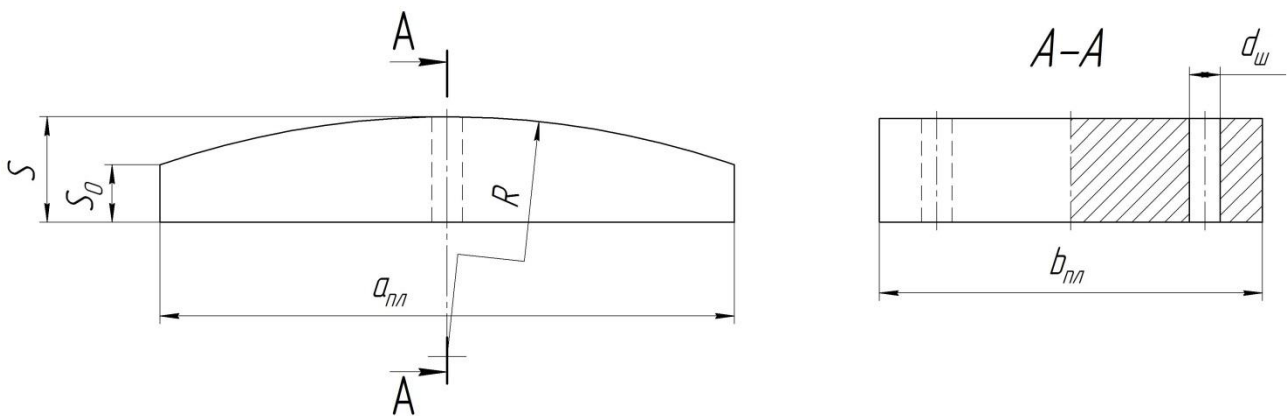


Рисунок 4.1 – Опорна плита балки

Повздовжнє переміщення балки на шарнірно-рухомій опорі можливе, так як на цій опорі отвори в поясі під штифти зроблені овальними (рис. 4.2) з довжиною s .

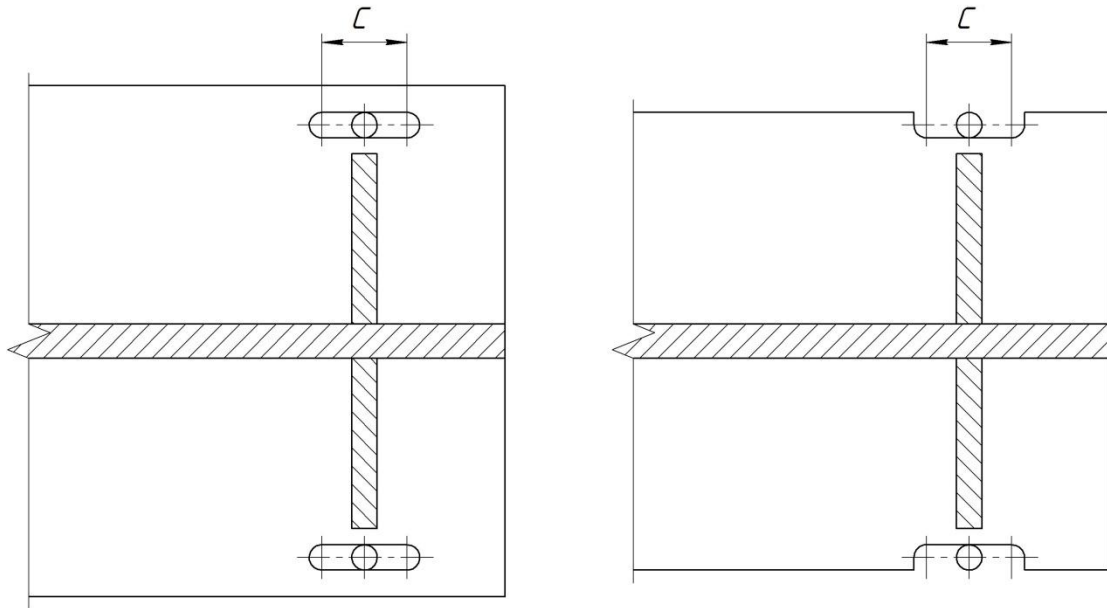


Рисунок 4.2 – Варіанти виконання шарнірно-рухомої опори балки

$$c = \frac{\sigma_{cp}}{E} l + \alpha \cdot \Delta T \cdot l + c', \quad (4.1)$$

де σ_{cp} – усереднене напруження в поясі балки на ділянці між опорами, Па;
 l – довжина балки між опорами, м;
 α – коефіцієнт лінійного розширення для матеріалу балки;
 ΔT – максимальна зміна температури, при якій працює балка, $^{\circ}\text{C}$;
 c' – доданок до довжини овального отвору ($c'=1\text{ см}$).

$$\sigma_{cp} = \frac{M_{cp}}{J_x} \cdot \frac{h}{2}. \quad (4.2)$$

Основні розміри плити визначаються за наступними формулами.

Радіус закруглення опорної поверхні $R=1 \dots 2$ м.

Ширина плити

$$b_{пл} = 1,1 \dots 1,2 b. \quad (4.3)$$

Довжина плити

$$a_{пл} = 1,0 \dots 1,5 b_{пл} \quad (4.4)$$

Товщина плити по краю $S_0 \geq 15$ мм.

Товщина плити в перерізі А-А:

$$S_{nl} = \sqrt{\frac{6 \cdot R_A \cdot a_{nl}}{8 \cdot \sigma (b_{nl} - 2 \cdot d_{отв})}}, \quad (4.5)$$

де R_A – величина опорної реакції, Н.

При $S_{пл} > 100$ мм необхідно проектувати опорні плити зварними.

5 Графічна частина роботи

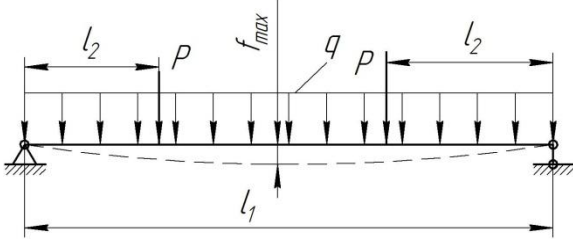
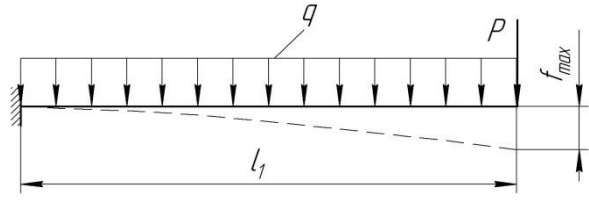
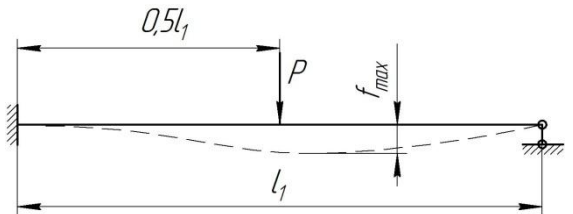
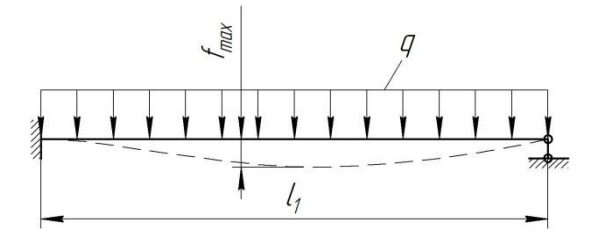
Після виконання всіх розрахунків оформлюється графічна частина роботи. На аркуші формату А3 наводиться загальне креслення балки, необхідні види, розрізи та окремі вузли, необхідні для розуміння конструкції, позначаються всі необхідні розміри, зварні шви та інші елементи відповідно до вимог стандартів.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. Будур А.И., Белогуров В.Д. Стальные конструкции. Справочник конструктора. – К.: "Сталь", 2004. – 210 с.
2. Клименко Ф.Є., Барабаш В.М., Стороженко Л.І. Металеві конструкції. – Львів: Світ, 2002. – 312 с.
3. Компьютерное проектирование и подготовка производства сварных конструкций / Под ред. С.А. Куркина, В.М. Ховова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 464 с.
4. Лихтарников Я.М., Клыков В.М., Ладыженский Д.В. Расчет стальных конструкций. Справочное пособие. – К.: "Будівельник", 1975. – 350 с.
5. Мандриков А.П. Примеры расчета металлических конструкций. – М.: Стройиздат, 1991. – 431 с.
6. Металлические конструкции: Общий курс / Под ред. Г.С. Веденикова. – М.: Стройиздат, 1998. – 760 с.
7. Михайлов А.М. Металлические конструкции в примерах. – М.: Стройиздат, 1976. – 320 с.
8. Серенко А.Н., Крумбольдт М.Н., Багрянский К.В. Расчет сварных соединений и конструкций. Примеры и задачи. – К.: Вища школа, 1977. – 336 с.
9. Файбищенко В.К. Металлические конструкции. – М.: Стройиздат, 1984. – 336 с.

Додаток А
Варіанти завдання на самостійну роботу

Таблиця А.1 – Розрахункова схема конструкції (цифра шифру *b*)

Варіанти	
1, 6, 0	2, 7
	
Варіанти	
3, 5, 8	4, 9
	

Таблиця А.2 – Вихідні дані до розрахунків

№ варіанту	l_1 , м	l_2 , м	f/l	P , кН	q , кН/м	$T_{\text{екс.}}$, °С
0	6	$0.1l_1$	1/250	24	2,5	+50/-10
1	7	$0.2l_1$	1/300	28	2,7	+30/-30
2	8	$0.3l_1$	1/350	32	2,9	+10/-50
3	9	$0.4l_1$	1/400	34	3,0	+40/-20
4	10	$0.15l_1$	1/280	36	3,2	+20/-40
5	11	$0.25l_1$	1/320	25	3,4	+50/-10
6	12	$0.35l_1$	1/240	27	3,6	+30/-30
7	6	$0.45l_1$	1/370	29	2,8	+10/-50
8	7	$0.1l_1$	1/200	22	3,1	+40/-20
9	8	$0.2l_1$	1/320	20	3,3	+20/-40
Цифра шифру	a	b	a	e	c	f

Порядок вибору варіанту для самостійної роботи

Для вибору варіанту курсової роботи використовується номер залікової книжки, а саме останні дві цифри, що входять до його складу:

Випишуємо дві останні цифри з номера залікової книжки, та дописуємо їх ще раз

1. номер заліковки **01568015**
2. отриманий код **1515**

Дописуємо ще раз суму останніх двох цифр ($1+5=06$) та отримуємо відповідний код

151506
a b c d e f

За отриманими цифрами коду з відповідних таблиць (схеми у таблиці 1) та стовпчиків у таблиці 2 вибираємо вихідні дані до роботи. Наприклад, отримали цифру $a=1$. У таблиці 2 зі стовпчиків, які відповідають цифрі a (дивись нижній рядок таблиці) вибираємо данні для варіанту 1 ($l_1=7m$).

