

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

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторної роботи №2  
«Порівняльне дослідження міцності напускових і таврових  
зварних з'єднань, виконаних зварюванням плавленням»

з дисципліни  
«Розрахунки та проектування зварних конструкцій»

для студентів освітньої програми «Технології та устаткування  
зварювання» усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №2 «Порівняльне дослідження міцності напускових і таврових зварних з'єднань, виконаних зварюванням плавленням» з дисципліни «Розрахунки та проектування зварних конструкцій» для студентів освітньої програми «Технології та устаткування зварювання» усіх форм навчання / Укл. М.Ю. Осіпов, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 11 с.

Укладачі: Осіпов М.Ю., канд. техн. наук, доцент  
Капустян О.Є., канд. техн. наук, доцент

Рецензент: Лаптева Г. М., канд. техн. наук, доцент

Редактор: Аверченко І.П., ст. лаб.

Відповідальний за випуск:  
Осіпов М.Ю., канд. техн. наук, доцент

Затверджено  
на засіданні кафедри ОТЗВ  
Протокол №7 від 19.02.2020 р.

Рекомендовано  
до видання НМК ІФФ  
Протокол №6 від 10.03.2020 р.

## 1 МЕТА РОБОТИ

Вивчення та освоєння основних принципів розрахунку міцності напускових і таврових з'єднань зварних конструкцій.

## 2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Серед основних типів зварних з'єднань, поруч зі стиковими найбільше розповсюдження у зварних конструкціях отримали з'єднання внапусток і таврове, які виконуються кутовими швами (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Напускове (а) і таврове (б) зварні з'єднання

При напусковому з'єднанні найбільш проста підготовка й збирання під зварювання. Такі з'єднання застосовують при виготовленні оболонкових конструкцій, різного виду будівельних і кранових ферм. Однак вони не економічні, тому що наявність перекриття приводить до перевитрат основного металу. Нераціональність застосування напускових з'єднань особливо виявляється при товщині металу більше 25 мм – 30 мм.

Зварні з'єднання, в яких елементи, що з'єднуються, розташовуються у взаємно перпендикулярних площинах, називаються тавровими. Таврові з'єднання найширше застосовуються при виробництві різних просторових конструкцій – балок, ферм, стояків, колон, рам, каркасів та ін.

Під дією зовнішніх навантажень в металі шву зварних з'єднань можуть виникнути напруження двох родів: робочі та зв'язуючі. На рис. 2.2 а відображено зварне з'єднання, в якому дві смуги з'єднані кутовими швами. Зварне з'єднання навантажено розтягуючим

зусиллям, в ньому виникають робочі напруження. При руйнуванні швів руйнуватиметься і вся конструкція.

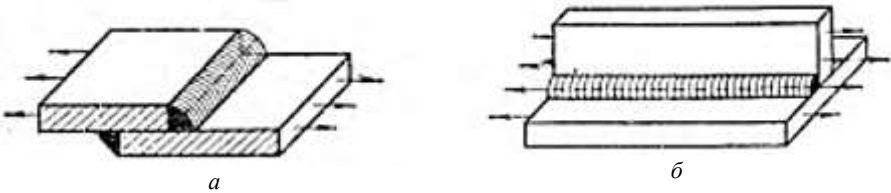


Рисунок 2.2 – Приклади робочих (а) та зв'язуючих швів (б)

Шов на рис. 2.1 б деформується разом з основним металом, при цьому в ньому виникають зв'язуючі напруження.

## 2.1 Розрахунок міцності зварних з'єднань, виконаних кутовими швами

Обрис кутових швів (рис. 2.3) може бути нормальним (а), випуклим (б) та увігнутим (в). Обрис шву залежить від товщини зварювального металу й виду підготовки кромek елементів, що з'єднуються.

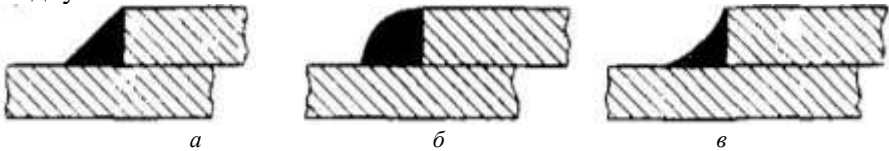


Рисунок 2.3 – Обриси кутових швів [2]

Випуклі шви недоцільні ні з технічної, ні з економічної сторони. Вони вимагають більше наплавленого металу, викликають концентрацію напружень.

Увігнутість швів може досягатися звичайною механічною обробкою за допомогою фрези або іншого інструменту. Такі шви застосовуються в конструкціях з циклічними (знакозмінними) навантаженнями.

У широкій практиці конструювання поширене застосування кутових швів з нормальними обрисами (рис. 2.3 а). Розмір катета кутового шва нормального обрису позначають літерою  $K$ . Найменша товщина робочих швів у машинобудівних конструкціях 3 мм. Кутові шви можуть виконуватися за один або кілька проходів АЗФ, напівавтоматичним зварюванням в СЗГ і РДЗ. Це призводить до різної

глибини провару основного металу. Кутові шви при АЗФ отримують з більш глибоким проплавленням, ніж при РДЗ.

### 2.1.1 З'єднання внапусток

Залежно від напрямку куткових швів по відношенню до діючого зусилля їх поділяють на лобові, флангові, косі, комбіновані.

Лобові шви спрямовані перпендикулярно зусиллю (рис. 2.4).

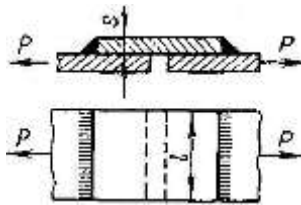


Рисунок 2.4 – З'єднання з лобовими швами [2]

На рис. 2.4 зусилля передається через один лобовий шов на накладку; далі це зусилля передається з накладки на другий лист. При руйнуванні одного зі швів відбувається руйнування всього зварного з'єднання. Таким чином, при розрахунку на міцність з'єднання цього типу враховується лише один зварний шов.

У з'єднанні на рис. 2.5 зусилля  $P$  передається двома лобовими швами і в розрахунку на міцність враховуються два лобових шва.

Внаслідок ексцентриситету елементи дещо викривлюються. Відстань між лобовими швами слід приймати  $C \geq 4S$ .

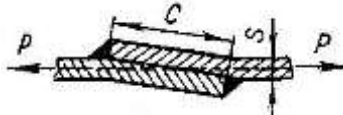


Рисунок 2.5 – З'єднання з двома розрахунковими лобовими швами [2]

У кутковому шві виникає два типу напружень (рис. 2.6):

- **нормальне напруження**  $\sigma$  на вертикальній площині шва в зоні сплавлення;
- **дотичне напруження**  $\tau$  на горизонтальній площині в зоні сплавлення.

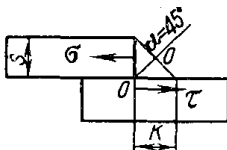


Рисунок 2.6 – Схема напружень в кутовому шві [2]

По методу, прийнятому в інженерній практиці, розрахунок міцності лобових швів проводиться на зріз (по дотичним напруженням).

Цей метод є умовним і наближеним. При статичних навантаженнях у трикутному контурі шва слабким перетином вважають найменший переріз, що збігається з бісектрисою 0-0 прямого кута. По цій площині перевіряють міцність лобового шва; напруження при цьому не повинні перевищувати допустимих  $[\tau']$ .

Умова міцності для розрахунку з'єднань внапусток:

$$\tau'_H = \frac{P}{c \cdot \beta K \cdot l} \leq [\tau'],$$

де  $P$  – діюче зусилля, Н (кгс);

$c$  – кількість швів, яке включається в розрахунок, шт.;

$K$  та  $l$  – катет і довжина зварного шва відповідно, м (мм);

$\beta$  – коефіцієнт, враховуючий глибину проплавлення (табл. 2.1);

$\beta \cdot K$  – розрахункова висота шва; залежить від глибини проплавлення і від технологічного процесу зварювання і коригується коефіцієнтом проплавлення  $\beta$ .

Таблиця 2.1 – Значення  $\beta$  в залежності від виду зварювання [3]

Технологічний процес зварювання	$\beta$
Ручне дугове зварювання	0,7
Однопрохідне автоматичне зварювання	1,1 (1,0*)
2-3-х прохідне автоматичне зварювання	0,9
Багатопохідне автоматичне зварювання	0,7
Однопрохідне напівавтоматичне зварювання	0,9 (0,8*)
2-3-х прохідне напівавтоматичне зварювання	0,8
Багатопохідне напівавтоматичне зварювання	0,7

\* – різні літературні джерела

Зварні з'єднання внапусток з фланговими швами розраховуються так само, як і з лобовими.

При використанні в з'єднанні внапусток комбінованих кутових швів (лобових, флангових, косих) з рівними катетами умова міцності зберігається, але під довжиною шва мається на увазі довжина периметра всіх швів.

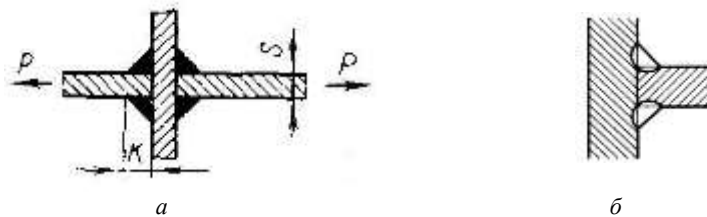
### 2.1.2 Таврові з'єднання

Таврові з'єднання застосовують для з'єднання елементів, розташованих у взаємно перпендикулярних площинах.

Таврові з'єднання, що працюють на розтяг, зазвичай розраховують залежно від способу зварювання і типу підготовки крайок.

У тавровому з'єднанні, зображеному на рис. 2.7 а, зусилля передається двома швами, тому й у формулі беруть участь два розрахункових шва. При роботі цього вузла на стискування зусилля  $P$  насправді часто передається з горизонтального листа на вертикальний через площину дотику листів. Перевірка міцності швів з'єднання в цьому випадку все рівно проводиться, виходячи з умовного припущення, що зусилля передається через шви. При цьому  $[\tau']$  підвищується до величини  $[\sigma']_{ст}$ . Умова міцності для розрахунку таврових з'єднань без підготовки крайок при роботі на розтяг (рис. 2.7, а) має вигляд:

$$\tau'_T = \frac{P}{2 \cdot \beta K \cdot l} \leq [\tau'].$$



а – схема прикладання зусиль на розтяг; б – обрис зварних кутових швів

Рисунок 2.7 – Таврові з'єднання без підготовки крайок [2]

Умова міцності при роботі таврових з'єднань з повним проваром

на розтяг (рис. 2.8 *a*) має вигляд:

$$\sigma'_T = \frac{P}{S \cdot l_{\text{ш}}} \leq [\sigma']_p,$$

де  $S$  – товщина меншого з елементів, що з'єднуються, м (мм);

$l_{\text{ш}}$  – довжина зварного шва, м (мм).



*a* – схема таврового з'єднання з двосторонньою підготовкою крайок елементів;

*б* – обрис кутових зварних швів з двосторонньою підготовкою крайок

Рисунок 2.8 – Таврові з'єднання з повним проваром [2]

Тобто при зварюванні з повним проваром таврові з'єднання розраховуються як стикові.

### 3 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Які напруження у зварному з'єднанні зводяться робочими, а які – зв'язуючими? Проілюструйте це ескізами.
2. Як записується умова міцності для з'єднань внапустку?
3. Як записується умова міцності для таврових з'єднань з повним проваром шва?
4. Як визначаються допустимі напруження для металу зварного шву?
5. Чому розрахунок кутових швів виконується за дотичними напруження?
6. Як розподіляються напруження в кутових швах?



## **4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ**

1. Зразки з'єднань зі сталі Ст3 (для основного металу при розтягуванні  $[\sigma]_p = 160$  МПа), ручне зварювання виконано електродами Е42 (внапусток) та Е42А (таврове).
2. Штангенциркуль ДСТУ ГОСТ 166:2009.
3. Лінійка вимірвальна металева ДСТУ ГОСТ 427:2009.
4. Розривна машина УММ-20.

## **5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ**

1. До лабораторних робіт допускаються студенти після інструктажу з охорони праці та пожежної безпеки.
2. Забороняється вмикати електричні прилади та обладнання без дозволу завідуючого лабораторією або викладача.
3. У випадку виявлення неполадок обладнання студент повинен негайно повідомити викладача або завідуючого лабораторією.
4. У випадку виникнення пожежі або поразки електричним струмом студенти повинні діяти у відповідності із затвердженими інструкціями з охорони праці та пожежної безпеки.

## **6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ**

1. Зробити ескізи зразків напускового та таврового з'єднань.
2. Зробити вимірювання довжини та катета шва напускового та таврового з'єднань ( $l$ ,  $K$ ).
3. Визначити площу поперечного перерізу металу шва у площині руйнування напускового ( $F_1$ ) та таврового ( $F_2$ ) з'єднання.  
При визначенні  $F_1$  та  $F_2$  врахувати глибину проплавлення.
4. Встановити послідовно зразки, що досліджуються у розривну

машину УММ-20.

5. Зробити навантаження зразків до руйнування, фіксуючи зусилля, при яких відбулося руйнування ( $P_p$ ) напускного та таврового з'єднань.

6. Розрахувати напруження  $\tau_p$ , при яких відбулося руйнування напускного та таврового з'єднань.

7. Розрахувати допустиме зусилля ( $P_{\text{доп}}$ ) для кожного зразка з урахуванням допустимого напруження в зварному шві [ $\tau'$ ].

8. Отримані дані занести до табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати експериментального визначення міцності напускних та таврових зразків зварних з'єднань, виконаних РДЗ

№ п/п	Вид з'єднання	Тип електрода	$l$ , мм	$K$ , мм	$F$ , мм <sup>2</sup>	$P_p$ , кгс	$\tau_p$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$P_{\text{доп}}$ , кгс
1	напускне	E42						
2	таврове	E42A						

9. Зробити аналіз отриманих результатів і підготувати висновки з лабораторної роботи.

## 7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Ескізи зразків з розмірами.
3. Результати дослідів та розрахунки.
4. Аналіз отриманих результатів.
5. Висновки по виконаній роботі.

## 8 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Николаев Г.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформации конструкций. Учебное пособие / Г.А. Николаев, С.А. Куркин, В.А. Винокуров. – М.: Высшая школа, 1982. – 272 с.

2. Николаев Г.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Г.А. Николаев, В.А. Винокуров. – М.: Высшая школа, 1990. – 446 с.

3. Серенко А.Н. Расчет сварных соединений и конструкций / А.Н. Серенко, М.Н. Крумбольт, К.В. Багрянский. – К.: Вища школа, 1977. – 336 с.

4. Чертов І.М. Зварні конструкції: Підручник / І.М. Чертов. – К.: Арістей, 2006. – 376 с.