

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

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

з дисципліни
«Розрахунки та проектування зварних конструкцій»

для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка
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 спеціальності 131 Прикладна механіка освітньої програми «Технології та устаткування зварювання» усіх форм навчання / Укл. М.Ю. Осіпов, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 10 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 ІТЗ та МК
Протокол №01 від 13.09.2023 р.

Рекомендовано
до видання НМК ІФФ
Протокол №06 від 16.01.2024 р.

1 МЕТА РОБОТИ

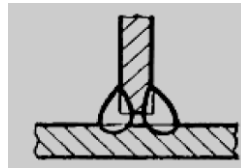
Вивчення та освоєння основних принципів розрахунку міцності напусккових і таврових з'єднань зварних конструкцій.

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).



а)



б)

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

При напускковому 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 напусккових 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.

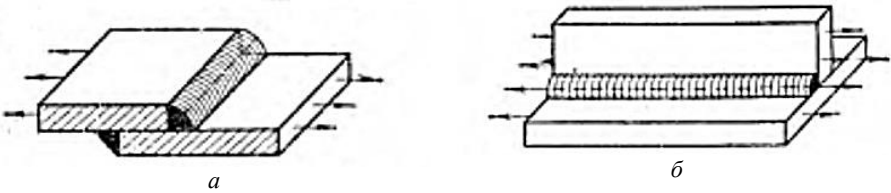


Рисунок 2.2 – Приклади робочих (а) та зв'язуючих швів (б)

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.

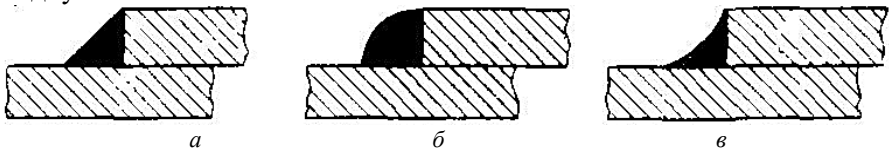


Рисунок 2.3 – Обриси кутових швів [2]

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 кутових швів по відношенню до діючого зусилля їх поділяють на лобові, флангові, косі, комбіновані.

Лобові шви спрямовані перпендикулярно зусиллю (рис. 2.4).

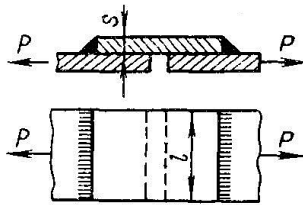


Рисунок 2.4 – З'єднання з лобовими швами [2]

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 $C \geq 4S$.

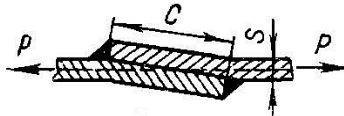


Рисунок 2.5 – З'єднання з двома розрахунковими лобовими швами [2]

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

- **нормальне напруження** σ на вертикальній площині шва в зоні сплавлення;
- **дотичне напруження** τ на горизонтальній площині в зоні сплавлення.

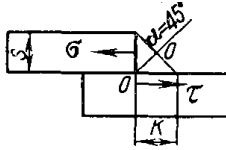


Рисунок 2.6 – Схема напружень в кутовому шві [2]

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);

β – 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 β .

Таблиця 2.1 – Значення β в залежності від виду зварювання [3]

Технологічний процес зварювання	β
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.

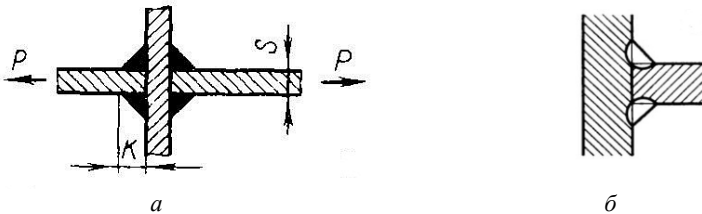
2.1.2 Таврові з'єднання

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 $[\sigma']_{\text{ст.}}$. 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]

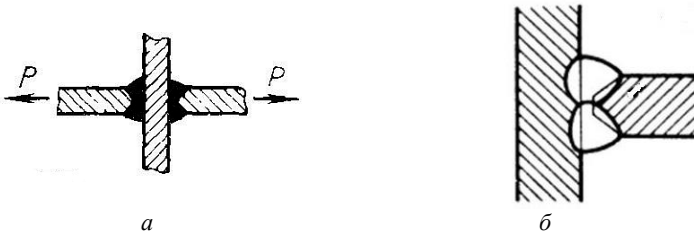
Умова міцності при роботі таврових з'єднань з повним проваром

на розтяг (рис. 2.8 а) 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).



а – 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 ПІДГОТОВЛЕНOSTІ 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 напруженнями?
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 вимірювальна 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) напускового та таврового з'єднань.

6. Розрахувати напруження τ_p , при яких відбулося руйнування напускового та таврового з'єднань.

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

8. Отримані дані занести до табл. 6.1.

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

№ п/п	Вид з'єднання	Тип електрода	l , мм	K , мм	F , мм ²	P_p , кгс	τ_p , кгс/мм ²	$P_{\text{доп}}$, кгс
1	напускове	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. Серенко А.Н. Расчет сварных соединений и конструкций / А.Н. Серенко, М.Н. Крумбольт, К.В. Багрянский. – К.: Вища школа, 1977. – 336 с.
2. Чертов І.М. Зварні конструкції: Підручник / І.М. Чертов. – К.: Арістей, 2006. – 376 с.