

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Запорізький національний технічний університет**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторної роботи № 2 "Порівняльне дослідження  
міцності зварних з'єднань, виконаних зварюванням  
плавленням"

з дисципліни

**"Розрахунки зварних конструкцій"**

для студентів напрямку 6.050504 "Зварювання" усіх форм  
навчання

**2014**

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 2 "Порівняльне дослідження міцності зварних з'єднань, виконаних зварюванням плавленням" з дисципліни "Розрахунки зварних конструкцій" для студентів напрямку 6.050504 "Зварювання" усіх форм навчання / Укл. М.Ю. Осіпов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – 12 с.

Укладач:

Осіпов М.Ю., доцент, канд. техн. наук.

Рецензент:

Капустян А.Е., ст. викладач

Відповідальний за випуск:

Осіпов М.Ю., доцент, к.т.н.

Затверджено  
на засіданні кафедри ОТЗВ

Протокол №27-05/03-2014-2015  
від 30.10.2014 р.

## ВСТУП

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. 1).



Рисунок 1 – Напускове (а) і таврове (б) зварні з'єднання

При напусковому з'єднанні найбільш просту підготовку 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 25-30 мм.

Зварні з'єднання, в яких елементи, що з'єднуються, розташовуються у взаємно перпендикулярних площинах, називаються тавровими. Обрис шву залежить від товщини зварювального металу й виду підготовки кромки елементів, що з'єднуються.

Таврові з'єднання найширше застосовуються при виробництві різних просторових конструкцій – балок, ферм, стояків, колон, рам, каркасів та ін.

## 1 МЕТА РОБОТИ

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

## 2 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ РОЗРАХУНКУ МІЦНОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

Під дією зовнішніх навантажень в металі шву зварних з'єднань можуть виникнути напруги двох родів: робочі та зв'язуючі.



Рисунок 2.1 - Приклади робочих (а) та зв'язуючих швів (б)

На рис. 2.1, а відображено зварне з'єднання, в якому дві смуги, з'єднані кутовим швом. Зварне з'єднання навантажено розтягуючим зусиллям. Зрозуміло, що при руйнуванні шва руйнуватиметься і вся конструкція.

Зварні з'єднання, руйнування яких спричиняє за собою руйнування всієї конструкції, називаються **робочими**; напруга, що діє в цих конструкціях, – робочою напругою.

Наплавлений метал в кутових швах, що з'єднують дві смуги, показані на рис. 2.1, б працює інакше, ніж у попередньому випадку. Наплавлений метал деформується разом з основним, при цьому в ньому виникає напруга. Якщо модуль пружності наплавленого металу незначно відрізняється від модуля пружності основного, то в швах при їх роботі в межах пружних деформацій утворюється напруга приблизно тієї ж величини, що і в розтягуваних смугах.

Ці напруження, що виникають в швах, унаслідок їх спільної роботи з основним металом у багатьох випадках не є небезпечні для міцності всієї конструкції і називаються **зв'язуючими**. Дослідження підтверджують, що в більшості випадків при аналізі міцності зварних конструкцій зв'язуючі напруги можна не враховувати.

При розрахунку міцності зварних з'єднань визначають лише робочі напруги.

Найбільш поширений метод розрахунку на міцність – розрахунок по допустимим напругам.

## 2.1 Принцип розрахунку по допустимим напругам

При розрахунку конструкцій по допустимим напругам умови міцності мають вигляд:

$$\sigma \leq [\sigma]$$

де  $\sigma$  – напруга в небезпечному перетині елементу, МПа;

$[\sigma]$  – допустимі напруги, МПа;

$[\sigma]_p$  – допустимі напруги при розтягуванні, МПа;

$[\sigma]_{ст}$  – допустимі напруги при стискуванні, МПа.

Допустимі напруги при розтягуванні  $[\sigma]_p$  зазвичай називаються **основними**. Напруги, що допускаються, при інших видах зусиль (стиск, вигин, зріз) визначають як похідні від  $[\sigma]_p$ .

У машинобудуванні в конструкціях, що працюють під статичними навантаженнями, в більшості випадків допустимі напруги, призначаються в залежності від межі текучості  $\sigma_T$  і визначаються відношенням:

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_T}{k_1}, \quad (k_1 = 1,4 \dots 1,6)$$

у більш окремих випадках – залежно від межі міцності –  $\sigma_B$ :

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_B}{k_2}, \quad (k_2 = 2,0 \dots 2,4)$$

$k_1$  і  $k_2$  – коефіцієнти запасу міцності.

Допустимі напруги в зварювальних швах можуть бути задані або цифровими значеннями, або встановлюватися у процентному відношенні від допустимих напруг на основний метал (табл. 2.1).

*Наприклад:* при зварюванні низьковуглецевої сталі марки Ст3, для якої допустимі напруги  $[\sigma]_p = 160$  МПа, напруги, що допускаються в швах, виконаних автоматичним зварюванням під флюсом (АЗФ), напівавтоматичним зварюванням в середовищі захисного газу (СЗГ), або ручним дуговим зварюванням (РДЗ) електродами Е42А будуть наступними:

$$[\sigma']_p = 160 \text{ МПа}$$

$$[\sigma']_{ст} = 160 \text{ МПа}$$

$$[\tau'] = 100 \text{ МПа}$$

При виборі допустимих напружень зварні з'єднання умовно поділяються на дві групи:

I – з'єднання, виконані на автоматах та напівавтоматах під шаром флюсу, у середовищі захисного газу, а також вручну електродними вищої якості (Е42А, Е50А та інш.);

II – з'єднання, виконані електродними звичайної якості (Е42, Е50).

Таблиця 2.1 – Допустимі напруги для зварних швів

Група з'єднань	Допустимі напруги у зварних швах при		
	розтягуванні, $[\sigma']_p$	стисненні, $[\sigma']_{ст}$	зрізі, $[\tau']$
I	$[\sigma]_p$	$[\sigma]_p$	$0,65[\sigma]_p$
II	$0,9[\sigma]_p$	$[\sigma]_p$	$0,6[\sigma]_p$

Метод розрахунку по допустимим напругам досить простий, що є його основною перевагою.

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

Обрис кутових швів (рис. 2.2) може бути нормальним (а), випуклим (б) та увігнутим (в).

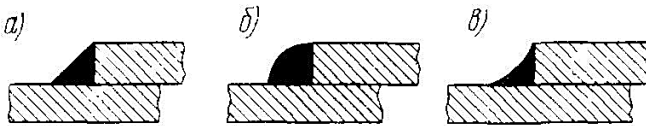


Рисунок 2.2 – Обриси кутових швів

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

Увігнутість швів може досягатися звичайною механічною обробкою за допомогою фрези або іншого інструменту. Такі шви застосовуються в конструкціях відносно рідко.

У широкій практиці конструювання поширене застосування кутових швів з нормальними обрисами (рис. 2.2, а). Розмір катета кутового шва нормального обрису позначають літерою *K*. Найменша товщина робочих швів в 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 зварюванні під шаром флюсу отримують з більш глибоким проплавленням, ніж при РДЗ.

### 2.2.1 З'єднання внапусток

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

Лобові шви спрямовані перпендикулярно зусиллю (рис. 2.3).

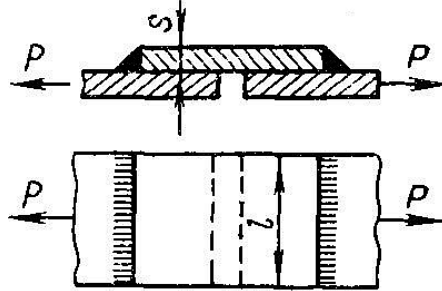


Рисунок 2.3 – З'єднання з одним розрахунковим лобовим швом

На рис. 2.3 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, в з'єднанні цього роду є лише один розрахунковий шов.

У з'єднанні, показаному на рис. 2.4, зусилля  $P$  передається двома лобовими швами і в розрахунку на міцність враховуються два лобових шва.

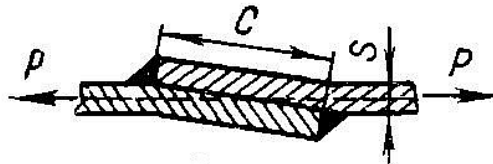


Рисунок 2.4 – З'єднання з двома розрахунковими лобовими швами

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

У кутовому шві виникає декілька складових напруг (рис. 2.5):

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

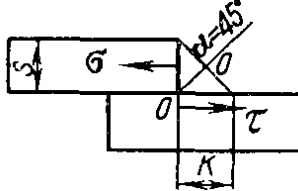


Рисунок 2.5 – Схема напружень в кутовому шві

По методу, прийнятому в інженерній практиці, розрахунок міцності лобових швів проводиться **на зріз**.

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

Умова міцності для розрахунку напругових з'єднань:

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

де  $P$  – діюче зусилля, Н (кгс);

$c$  – кількість швів, що сприймають навантаження, шт.;

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

$\beta$  – коефіцієнт, враховуючий глибину проплавлення (табл. 2.2).

Розрахункова висота шва ( $\beta K$ ) залежить від глибини проплавлення і від технологічного процесу зварювання.

Таблиця 2.2 – Значення  $\beta$  в залежності від виду зварювання

Технологічний процес зварювання	$\beta$
Ручна дугова зварка	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

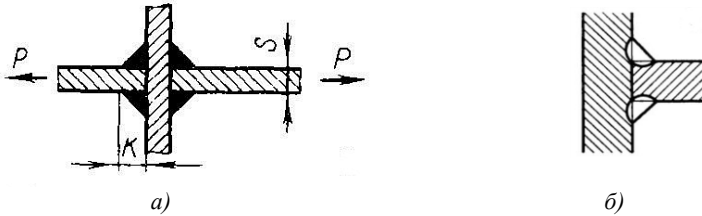
\* - різні літературні джерела



### 2.2.2 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.



а) схема прикладання зусиль на розтяг, б) обрис зварних кутових швів  
Рисунок 2.6 – Таврові з'єднання без підготовки крайок

При роботі таврових з'єднань без підготовки крайок **на розтяг** (рис. 2.6, а) умова міцності для розрахунку таврових з'єднань має вигляд:

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

У тавровому з'єднанні, зображеному на рис. 2.6, а, зусилля передається двома швами, тому й у формулі беруть участь два розрахункових шва. Коефіцієнт проплавлення ( $\beta$ ) приймають в залежності від технологічного процесу зварювання (табл. 2.2).

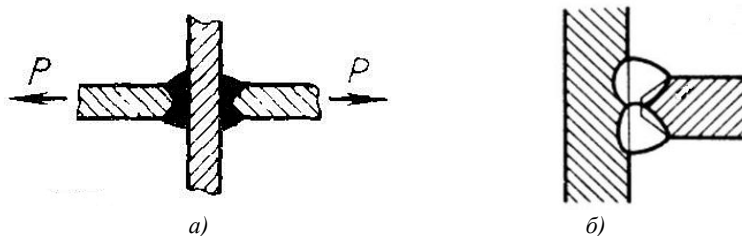
При роботі вузла, зображеного на рис. 2.6, а **на стискування** зусилля  $P$  насправді часто передається з горизонтального листа на вертикальний через площину дотику листів. Перевірка міцності швів з'єднання в цьому випадку все рівне проводиться, виходячи з умовного припущення, що зусилля передається через шви. При цьому  $[\tau']$  підвищується до величини  $[\sigma']_{ст}$ .

При роботі таврових з'єднань з повним проваром на розтяг (рис. 2.7, а) умова міцності таких з'єднань має вигляд:

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

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

$l_{ш}$  – 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 2.7 – Таврові з'єднання з повним проваром

При зварюванні з повним проваром таврові з'єднання  
**розраховуються як стикові.**

### 3 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ

3.1 Зробити ескізи досліджуваних зразків напускового та таврового з'єднань.

Дослідженню підлягають зразки, виготовлені зі сталі Ст.3, РДЗ електродами Е42 (напускове) та Е42А (таврове). Допустими напруги для основного металу при розтягуванні  $[\sigma]_P = 160 \text{ МПа}$  ( $16 \text{ кгс/мм}^2$ ).

3.2 Зробити вимірювання довжини та катета шва напускового з'єднання ( $l_1, K_1$ ).

3.3 Зробити вимірювання довжини та катета шва таврового з'єднання ( $l_2, K_2$ ).

3.4 Визначити площу поперечного перерізу металу шва у площині руйнування напускового ( $F_1$ ) та таврового ( $F_2$ ) з'єднання.

При визначенні  $F_1$  та  $F_2$  урахувати глибину проплавлення.

3.5 Встановити послідовно зразки, що досліджуються у розривну машину УММ-20.

3.6 Зробити навантаження зразків до руйнування, фіксуючи зусилля, при яких відбулося руйнування ( $P_p$ ) напускового та таврового з'єднання.

3.7 Розрахувати напруження, при яких відбулося руйнування ( $\tau_p$ ) напускового та таврового з'єднання.

3.8 Розрахувати допустиме зусилля напускового ( $P_{\text{доп.}}^{\text{H}}$ ) і таврового ( $P_{\text{доп.}}^{\text{T}}$ ) зразка з урахуванням допустимої напруги в зварному шві  $[\tau']$ .

3.9 Отримані дані занести до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – 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 <sup>2</sup>	$P_p$ , кгс	$\tau_p$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$P_{\text{доп.}}$ , кгс
1	напускове	E42						
2	таврове	E42A						

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

## 4 ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ ТА ІНСТРУМЕНТ

Для виконання роботи потрібні:

- розривна машина УММ-20;
- штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89;
- лінійка метрична ГОСТ 17435-72;
- зразки зварних з'єднань.

## 5 ЗМІСТ ЗВІТУ

У звіті про виконання лабораторної роботи повинні бути висвітлені такі питання:

- мета роботи;
- ескізи досліджуваних зразків з розмірами;
- результати дослідів та розрахунки;
- аналіз отриманих результатів.

## 6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які напруги у зварному з'єднанні зводяться робочими, а які – зв'язуючими? Проілюструйте це ескізами.
2. Як записується умова міцності для напускових з'єднань?

3. Як записується умова міцності для таврових з'єднань з повним проваром шва?
4. Як визначаються допустимі напруги для металу зварного шву?
5. Чому розрахунок кутових швів виконується по дотичним напругам?
6. Як розподіляються напруги в кутових швах?

## **7 ВКАЗІВКИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ**

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.

## **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.