

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторної роботи № 1 "Дослідження міцності
зварних стикових з'єднань, виконаних зварюванням
плавленням"

з дисципліни

"Розрахунки зварних конструкцій"

для студентів напряму 6.050504 "Зварювання" усіх форм
навчання

2014

Методичні вказівки до лабораторної роботи № 1 "Дослідження міцності зварних стикових з'єднань, виконаних зварюванням плавленням" з дисципліни "Розрахунки зварних конструкцій" для студентів напрям 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

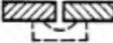
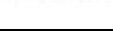
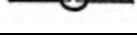
Протокол №27-05/03-2014-2015
від 30.10.2014 р.

ВСТУП

Серед різноманіття зварних конструкцій, виконаних зварюванням плавленням, найбільше застосування у відповідальних конструкціях мають стикові з'єднання.

Обрис стикового шву залежить від товщини зварювального металу й виду підготовки кромок елементів, що стикаються (табл. 1).

Таблиця 1 – Приклади підготовки кромок стикових з'єднань, що виконуються зваркою під флюсом (по ГОСТ 8713-79)

Форма підготовки кромок	Характер зварного шва	Форма поперечного перетину		Товщини деталей, мм	Умовне позначення з'єднання
		кромок	зварного шва		
З відбортовкою кромок	Односторон.			1,5-3,0	C1
Без скосу кромок	Двосторонній			2,0-20,0	C2
Без скоса кромок	Одностор. на флюсомідній підкладці			4,0-10,0	C6
Зі скосом двох кромок	Двосторонній			14,0-24,0	C13
Зі скосом двох кромок	Одностор. на флюсомідній підкладці			8,0-24,0	C17
Зі скосом двох кромок	Одностор. на сталій підкладці			8,0-30,0	C18
З криволінійним скосом 2-х кромок	Двосторонній			24,0-160,0	C21
З двома симетричними скосами 2-х кромок	Двосторонній			20,0-60,0	C30

1 МЕТА РОБОТИ

Вивчення та освоєння основних принципів розрахунку міцності стикових 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.

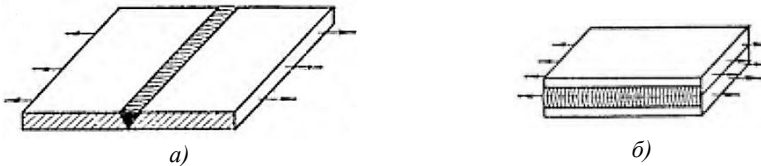


Рисунок 2.1 - Приклади робочих (а) та зв'язуючих швів (б)

На рис. 2.1, а відображено зварне з'єднання, в якому дві смуги, з'єднані стиковим 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 зварному шві, що з'єднує 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 розтягваних 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**.

При розрахунку міцності зварних з'єднань визначають лише робочі напруги. Дослідження підтверджують, що в більшості випадків

при аналізі міцності зварних конструкцій зв'язуючи напруги можна не враховувати.

Існують два рівноправні методи розрахунку на міцність зварних конструкцій:

- 1) розрахунок по допустимим напругам,
- 2) розрахунок по граничному стану.

Обидва методи застосовуються при проектуванні різних споруд промислового і цивільного призначення, наприклад, залізничних, автодорожніх і міських мостів, перекриттів цехів, трубопроводів, сталевих каркасів житлових будівель, а також використовуються для розрахунку міцності машинобудівних конструкцій.

2.1 Принцип розрахунку по допустимим напругам

При розрахунку конструкцій по допустимим напругам умови міцності мають вигляд:

$$\sigma \leq [\sigma] \quad (2.1)$$

де σ – 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 встановлюються в залежності від таких факторів:

- властивостей матеріалів;
- ступеню точності розрахунку;
- виду зусиль (розтягнення, стиснення й т. ін.);
- характеру навантаження.

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 σ_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 – σ_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 можуть бути задані цифровими значеннями.

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:

$$[\sigma']_P = 160 \text{ МПа},$$

$$[\sigma']_{\text{ст}} = 160 \text{ МПа},$$

$$[\tau'] = 100 \text{ МПа}.$$

Допустимі напруги у зварювальних швах можуть встановлюватися у процентному відношенні від допустимих напруг на основний метал (табл. 2.1). При виборі допустимих напружень зварні з'єднання умовно поділяються на дві групи:

I – з'єднання, виконані на автоматах та напівавтоматах під шаром флюсу, у СЗГ, а також РДЗ електродами вищої якості (Е42А, Е50А);

II – з'єднання, виконані електродами 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, $[\sigma']_{\text{ст}}$	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.

Недоліком його є те, що вибір допустимих напруг, або встановлення коефіцієнта запасу проводиться без досить повного врахування усіх умов роботи конструкцій. Тому, була розроблена методика розрахунку конструкцій, що отримала назву розрахунки за граничними станами. Вона використовується при проектуванні усіх будівельних конструкцій.

2.2 Принцип розрахунку зварних з'єднань по граничних станах

Граничним станом конструкції називається стан, при якому конструкція перестає задовольняти експлуатаційним вимогам, що пред'являються, тобто перестає чинити опір зовнішнім діям (по несучій здатності), або отримує недопустимі деформації, або місцеві пошкодження. Звичайні зварні конструкції розраховуються по першому граничному стану, тобто несучій здатності (міцності, стійкості або витривалості).

При проектуванні конструкцій умова міцності по першому граничному стану записується таким чином:

$$\frac{N}{F} \leq R \quad (2.2)$$

де N – розрахункове зусилля у конструкції від суми впливу розрахункових навантажень, Н;

F – геометрична характеристика перерізу (площа, момент опору і т. п.), см²;

$R = \frac{\sigma_T}{k_n}$ – розрахунковий опір матеріалу, МПа;

σ_T – межа текучості, МПа;

$k_n = \frac{n}{k \cdot m}$ – коефіцієнт надійності (або запасу міцності);

n – коефіцієнт перевантаження,

k – коефіцієнт однорідності металу,

m – коефіцієнт умов роботи.

Розділення одного коефіцієнта запасу на декілька незалежних коефіцієнтів дозволяє правильніше характеризувати всі особливості умов роботи даної конструкції (враховуючи окремо особливості навантажень, матеріалу і умов експлуатації).

Значення коефіцієнтів та розрахункових опорів зварних з'єднань, зварні шви яких виконані різними способами, визначаються по таблицях в залежності від вигляду (типа) зварного з'єднання, роду зусилля і класу сталі. Таблиці наведені в ДБН, СНиП та довідковій літературі.

Наприклад, для стикового зварного з'єднання виконаного автоматичним, напівавтоматичним і ручним зварюванням розрахункові опори наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахункові опори зварних з'єднань

Рід зусилля МПа	Класи сталей (чисельник - σ_B , знаменник - σ_T)						
	C38/23	C44/29	C46/33	C52/40	C60/45	C70/60	C85/75
Стиск	210	260	290	340	380	440	530
Зріз	130	150	170	200	230	260	310

Таким чином, метод розрахунку по допустимим напруженням, є окремим випадком загальнішого методу розрахунку по граничних станах.

Розрахунок по граничному стану застосовується головним чином для розрахунку будівельних конструкцій.

2.3 Розрахунки міцності зварних стикових з'єднань

Прямі шви (рис. 2.2). При розтягуванні і стискуванні умова міцності однакова і записується наступним чином:

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{P}{F_{\text{ш}}} = \frac{P}{\delta \cdot l} \leq [\sigma']_p$$

де P – діючі зусилля, Н (або кгс);

$F_{\text{ш}}$ – площа зварного шва, м^2 (або мм^2);

l – довжина шву, м (або мм);

δ – товщина зварних пластин, м (або мм).

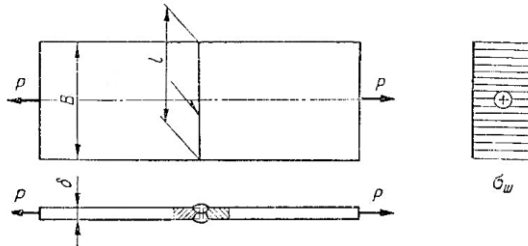


Рисунок 2.2 – Прямий стиковий шов, що працює на розтягування

Розрахункова довжина шва l приймається рівною фактичній, якщо кінці шва виведені на вивідні планки. Розрахункова товщина шва δ береться рівною товщині основного металу якщо шов виконується з повним проваром.

Косі шви (рис. 2.3). Якщо стиковий шов спрямован під деяким кутом α до напрямку дії зусилля, то у зварному шві виникають як нормальні ($\sigma_{\text{ш}}$) так і дотичні ($\tau_{\text{ш}}$) напруги.

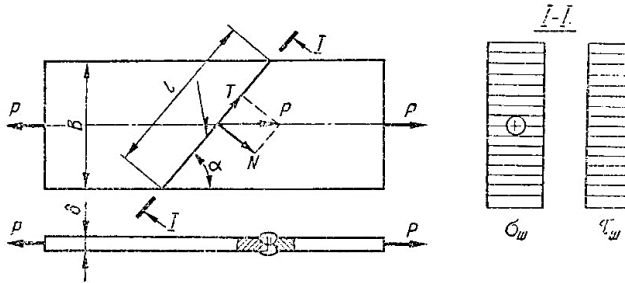


Рисунок 2.3 - Косий стиковий шов, що працює на розтягування

Умова міцності має вигляд:

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{N}{F_{\text{ш}}} = \frac{P \cdot \sin \alpha}{\delta \cdot l} \leq [\sigma']_p \quad \tau_{\text{ш}} = \frac{T}{F_{\text{ш}}} = \frac{P \cdot \cos \alpha}{\delta \cdot l} \leq [\tau']$$

$N = P \cdot \sin \alpha$ – нормальне зусилля, яке сприймається косим швом, Н;
 $T = P \cdot \cos \alpha$ – дотичне зусилля, яке сприймається косим швом, Н;
 α – кут між напрямом подовжньої сили і віссю косоного шва, град.

3 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ

3.1 Зробити ескізи досліджуваних зразків.

Дослідженню підлягають зразки, виготовлені зі сталі Ст.3, ручне зварювання виконано електродами Е42 або Е50А. Допустими напруги для основного металу при розтягуванні $[\sigma]_p = 160 \text{ МПа}$ (16 кгс/мм^2).

3.2 Зробити вимірювання довжини шва та товщини пластини стикового з'єднання (l , δ).

3.3 Визначити площу поперечного перерізу металу шва у площині руйнування стикового з'єднання ($F_{\text{ш}}$).

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

3.5 Зробити навантаження зразків до руйнування, фіксуючи зусилля, при яких відбулося руйнування стикового з'єднання (P_p).

3.6 Розрахувати напруження, при яких відбулося руйнування стикового з'єднання (σ_p).

3.7 Розрахувати допустиме зусилля ($P_{\text{доп.}}$) для даного зразка з урахуванням допустимої напруги в зварному шві $[\sigma']_p$.

3.8 Отримані дані занести до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати експериментального визначення міцності стикових зварних з'єднань

№ п/п	Тип електрода	l , мм	δ , мм	$F_{\text{ш.}}$, мм ²	P_p , кгс	σ_p , кгс/мм ²	$P_{\text{доп.}}$, кгс
1	E42						
2	E50A						

3.9 За розрахованим допустимим зусиллям для прямого зварного шву ($P_{\text{доп.}}$), розрахувати нормальні та дотичні напруги в косому шві.

Величину кута (α) між напрямком поздовжньої силою (P) і віссю косого шва кожен студент отримує у викладача індивідуально.

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;
- лінійка метрична;
- зразки стикових 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;
- висновки по виконаній роботі.

6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які напруги у зварному з'єднанні звуться робочими, а які – зв'язуючими? Проілюструйте це ескізами.
2. Як записується умова міцності для стикових з'єднань?
3. Які основні методи розрахунку на міцність зварних з'єднань?
4. Як визначаються допустимі напруги для металу зварного шву?
5. Якими напругами визначається міцність зварного стикового з'єднання, σ або τ ?
6. Як розподіляються напруги в косих 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. Крумбольш, К.В. Багрянский. – К.: Вища школа, 1977. – 336 с.