

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №1 «Дослідження міцності
зварних стикових з'єднань, виконаних зварюванням
плавленням» з дисципліни
«Розрахунки та проектування зварних конструкцій»
для студентів освітньої програми «Технології та устаткування
зварювання» усіх форм навчання

2018

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №1
«Дослідження міцності зварних стикових 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: ЗНТУ, 2018. – 14 с.

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

Рецензент: Савонов Ю. М., канд.. техн. наук, доцент

Редактор: Аверченко І.П., ст. лаб.

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

Розглянуто
на засіданні НМК кафедри ОТЗВ

Затверджено
на засіданні кафедри ОТЗВ
Протокол № 6
від 31.01.2018

Рекомендовано до видання
НМК ІФФ
Протокол № 6
від 13.02.2018

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ.....	4
2 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
2.1 Принцип розрахунку по допустимим напругам.....	6
2.2 Принцип розрахунку зварних з'єднань за граничними станами.....	8
2.3 Розрахунки міцності зварних стикових з'єднань.....	9
3 ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ.....	11
4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ	11
5 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ.....	12
6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ...	12
7 ЗМІСТ ЗВІТУ	13
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	13

1 МЕТА РОБОТИ

Вивчення та освоєння основних принципів розрахунку міцності стикових з'єднань зварних конструкцій.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

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 кромek елементів, що стикуються (табл. 2.1).

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

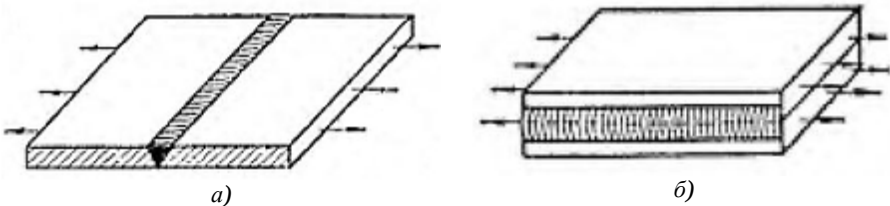


Рисунок 2.1 – Приклади робочих (а) та зв'язуючих швів (б)

На рис. 2.1 а відображено зварне з'єднання, в якому дві смуги, з'єднані стиковим швом. Зварне з'єднання навантажено розтягуючим зусиллям.

Зварні шви, руйнування яких спричиняє за собою руйнування всієї конструкції, називаються робочими; напруження, що діють в цих швах – робочі напруження.

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 виникають напруження, які, унаслідок їх спільної роботи з основним металом у багатьох випадках не є небезпечні для міцності всієї конструкції і називаються зв'язуючими.

Таблиця 2.1 – Приклади підготовки кромки стикових з'єднань, що виконуються зварюванням під флюсом (по ГОСТ 8713-79)

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

Якщо модуль пружності наплавленого металу незначно відрізняється від модуля пружності основного, то в швах при їх роботі в межах пружних деформацій утворюється напруження приблизно тієї ж величини, що і в розтягнаних смугах.

При розрахунку міцності зварних з'єднань визначають лише

робочі напруження. Дослідження підтверджують, що в більшості випадків при аналізі міцності зварних конструкцій зв'язуючі напруження можна не враховувати.

Існують два рівноправні методи розрахунку на міцність зварних конструкцій:

- розрахунок по допустимим напруженням;
- 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 напруженням

При розрахунку конструкцій по допустимим напруженням умова міцності має вигляд:

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

де σ – розрахункові напруження в небезпечному перетині елементу, МПа;

$[\sigma]$ – допустимі напруження, МПа.

Допустимі напруження встановлюються в залежності від таких факторів:

- властивості матеріалів;
- ступень точності розрахунку;
- вид зусиль (розтягнення, стиснення й та ін.);
- характер навантаження.

Допустимі напруження при розтягуванні $[\sigma]_p$ зазвичай називаються основними. Допустимі напруження 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 напруження 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):

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

де k_1 і k_2 – коефіцієнти запасу міцності.

Допустимі напруження можуть бути задані цифровими значеннями або встановлюватися у процентному відношенні від допустимих напружень на основний метал (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Допустимі напруження для зварних швів

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

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

- при розтягуванні $[\sigma']_P = 160$ МПа,
- при стискуванні $[\sigma']_{ст} = 160$ МПа,
- при зрізі $[\tau'] = 100$ 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 СЗГ, а також РДЗ електродами вищої якості (Е42А, Е50А);

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

Метод розрахунку за допустимими напруженнями найбільш поширений, так як досить простий, що є його основною перевагою.

Недоліком цього методу є те, що вибір допустимих напружень

або встановлення коефіцієнту запасу міцності 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 будівельних конструкцій.

2.2 Принцип розрахунку зварних з'єднань за граничними станами

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:

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

$$R = \frac{\sigma_T}{k_n},$$

$$k_n = \frac{n}{k \cdot m},$$

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

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

R – розрахунковий опір матеріалу, МПа;

σ_T – межа текучості, МПа;

k_n – 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 (типу) зварного з'єднання, роду зусилля і класу сталі. Таблиці наведені в ДБН, СНІП 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.

2.3 Розрахунки міцності зварних стикових з'єднань

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

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

де P – діючі зусилля, Н (або кгс);

$F_{ш}$ – площа зварного шва, м² (або мм²);

l – довжина шву, м (або мм);

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

Розрахункова довжина шва l приймається рівною фактичній,

якщо кінці шва виведені на вивідні планки. Розрахункова товщина шва береться рівною товщині основного металу якщо шов виконується з повним проваром.

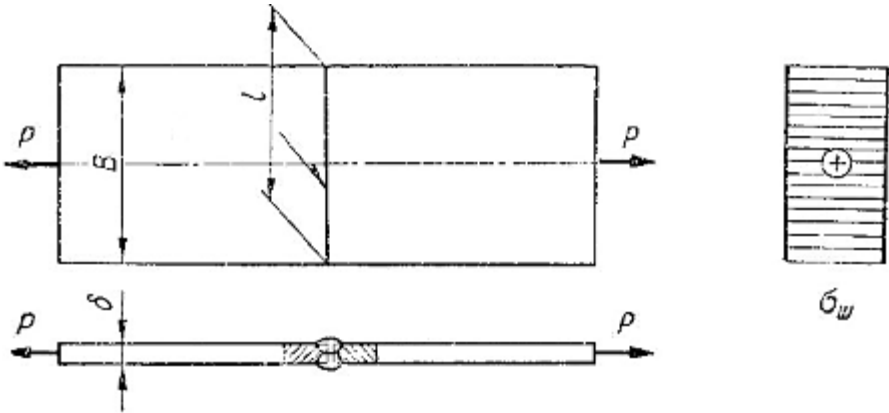


Рисунок 2.2 – Прямий стиковий шов, що працює на розтягування

Косі шви (рис. 2.3). Якщо стиковий шов спрямован під деяким кутом α до напрямку дії зусилля, то у зварному шві виникають як нормальні () так і дотичні () напруження.

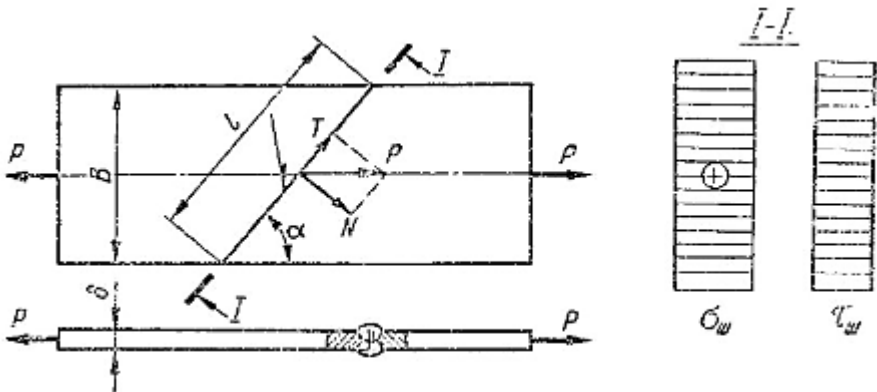


Рисунок 2.3 – Косий стиковий шов, що працює на розтягування

Умова міцності має вигляд:

— — — — — ,

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{T}{F_{\text{ш}}} = \frac{P \cdot \cos \alpha}{\delta \cdot l} \leq [\tau'],$$

де N – нормальне зусилля, яке сприймається косим швом, Н;

T – дотичне зусилля, яке сприймається косим швом, Н;

α – кут між напрямом подовжньої сили і віссю косого шва, град.

$$N = P \cdot \sin \alpha,$$

$$T = P \cdot \cos \alpha.$$

З КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Які напруження у зварному з'єднанні зуться 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 напруження для металу зварного шва?
5. Якими напруженнями визначається міцність зварного стикового з'єднання, σ або τ ?
6. Як розподіляються напруження в косих швах?

4 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

1. Зразки стикових з'єднань зі сталі Ст3, ручне зварювання виконано електродами Е42 або Е50А.
2. Штангенцикуль 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 досліджуваних зразків.
Дослідженню підлягають зразки, з допустимими напруженнями для основного металу при розтягуванні $[\sigma]_p = 160 \text{ МПа}$ (16 кгс/мм^2).
2. Зробити вимірювання довжини шва та товщини пластини стикового з'єднання (l, δ).
3. Визначити площу поперечного перерізу металу шва у площині руйнування стикового з'єднання ($F_{\text{ш}}$).
4. Встановити послідовно зразки, що досліджуються у розривну машину УММ-20.
5. Зробити навантаження зразків до руйнування, фіксуючи зусилля, при яких відбулося руйнування стикового з'єднання (P_p).
6. Розрахувати напруження, при яких відбулося руйнування стикового з'єднання (σ_p).
7. Розрахувати допустиме зусилля ($P_{\text{доп.}}$) для даного зразка з урахуванням допустимого напруження в зварному шві $[\sigma']_p$.
8. Отримані дані занести до табл. 6.1.
9. За розрахованим допустимим зусиллям для прямого зварного

шва ($P_{\text{доп}}$), розрахувати нормальні та дотичні напруження в косому шві.

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

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

Таблиця 6.1 – 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						

7 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Мета роботи.
2. Ескізи досліджуваних зразків з розмірами.
3. Результати дослідів та розрахунки.
4. Аналіз отриманих результатів.
5. Висновки по 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.
5. Проектирование сварных конструкций в машиностроении. / Под ред. С.А. Куркина. – М.: Машиностроение, 1975. – 376 с.
6. Муханов К.К. Металлические конструкции / К.К. Муханов. – М.: Стройиздат, 1978. – 576 с.
7. Строительные нормы и правила (СНиП-П-23-81).
8. Металлические конструкции. Справочник проектировщика / Под ред. Н.П. Мельникова – М.: Стройиздат, 1980. – 776 с.
9. Арзамасов Б.Н. Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф. и др. Материаловедение / Под ред. Б.Н. Арзамасова – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.
10. Навроцкий Д.И. Прочность сварных соединений / Навроцкий Д.И. – Л.: Машгаз, 1961. – 175 с.