

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи №9
«Механічні випробування зварних з'єднань й наплавленого металу»

з дисципліни «Контроль якості зварювання»

для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка
освітніх програм «Технології та устаткування зварювання» і
«Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій»
усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи №9 «Механічні випробування зварних з'єднань й наплавленого металу» з дисципліни «Контроль якості зварювання» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка освітніх програм «Технології та устаткування зварювання» і «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання / Укл.: О.Є. Капустян – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 19 с.

Укладачі:

Капустян О.Є., канд. техн. наук, доцент

Рецензент:

Осіпов М.Ю., канд. техн. наук, доцент

Редактор: Аверченко І.П., ст. лаб

Відповідальний за випуск:

Капустян О.Є., 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.

ЗМІСТ

1 МЕТА РОБОТИ	4
2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	4
2.1 Випробування металу різних ділянок зварного з'єднання і наплавленого металу на статичний розтяг	6
2.2 Випробування металу зварного з'єднання та наплавленого металу на ударний згин	8
2.3 Вимірювання твердості наплавленого металу і різних ділянок зварного з'єднання	10
2.4 Випробування зварного з'єднання на статичний розтяг ..	11
2.5 Випробування зварного з'єднання на статичний згин	13
3 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ ...	15
4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ	15
5 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ	17
6 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ	18
7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ	18
8 ЗМІСТ ЗВІТУ	19
ЛІТЕРАТУРА	19

1 МЕТА РОБОТИ

Освоїти методику проведення механічних випробувань зварних з'єднань і наплавленого металу, надбати практичні навички у визначенні механічних характеристик виробів по результатах випробування готових зразків.

2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Механічні випробування відносяться до руйнуючих методів контролю, які дають можливість оцінити якість виробів тільки після їх руйнування. Тому руйнуючі випробування проводяться як на натурних деталях, так і на моделях або еталонних зразках, зварених в тих же умовах, що і натурні вироби.

Перевагою руйнуючих методів контролю є можливість отримати після випробування чисельні дані, які безпосередньо характеризують міцнісні характеристики виробів.

Державним стандартом передбачено визначення механічних властивостей зварного з'єднання в цілому та його окремих ділянок, а також наплавленого металу при всіх видах зварювання шляхом проведення наступних випробувань:

а) випробування металу різних ділянок зварного з'єднання і наплавленого металу на статичний розтяг;

б) випробування металу зварного з'єднання та наплавленого металу на ударний згин;

в) вимірювання твердості металу зварних з'єднань та наплавленого металу;

г) випробування зварного з'єднання на статичний розтяг;

д) випробування зварного з'єднання на статичний згин (загин).

Стандарт розповсюджується на випробування, які проводять при визначенні якості продукції й зварювальних матеріалів, придатності способів і режимів зварювання, при визначенні показників зварюваності металів та кваліфікації зварювальників.

Зразки для випробувань вирізають безпосередньо з

контрольованої конструкції або зі спеціально зварених для проведення випробувань контрольних з'єднань.

Якщо форма зварного з'єднання виключає можливість виготовлення зразків даного типу (деталі складної конфігурації), то зразки можуть бути відібрані із спеціально зварених плоских контрольних з'єднань.

При виготовленні контрольних з'єднань характер підготовки до зварювання, марка і товщина основного матеріалу, типи зварювальних матеріалів, положення швів у просторі, початкова температура металу, режими зварювання повинні повністю відповідати умовам виготовлення контрольованого виробу.

Розміри елементів контрольних з'єднань (ширина та довжина пластин) для різних товщин зварюваних матеріалів вибирають відповідно з рекомендаціями стандарту.

Вирізати заготовки для зразків рекомендується на металоріжучих станках. Дозволяється вирізати заготовки на ножицях, плазмовим, кисневим та іншими способами різання з наступною механічною обробкою. При цьому припуск на обробку становить 3 мм – 4 мм.

Рихтування контрольного з'єднання не дозволяється. Якщо відсутні інші вказівки в технічній документації, то стріла прогину зварного з'єднання на довжині 200 мм не повинна перевищувати 10 % від товщини матеріалу, але не більше 4 мм. Неспівпадання площин листів в стикових з'єднаннях не повинно перевищувати 15 % від товщини листа, але не більше як 4 мм.

Якщо технічними умовами на виготовлення конструкції передбачена її термообробка, то і контрольні зразки перед їх кінцевою механічною обробкою повинні бути піддані аналогічній термообробці, бажано разом з виробом.

Таврування контрольних з'єднань і готових зразків можна проводити будь-яким способом. Знак повинен знаходитись за межами робочої зони зразка і зберігатись на ньому після випробування.

Зразки, які мають відхилення від розмірів, вказаних на кресленнях, по чистоті обробки, а також з механічними пошкодженнями робочої частини до випробувань не допускаються і замінюються на нові зразки з тієї ж проби.

Випробування металу зварного шва і зварного з'єднання на статичний розтяг і на статичний згин проводять не менше ніж на двох

зразках, на ударний згин – не менше ніж на трьох зразках, а вимірювання твердості на кожній ділянці шва проводять не менше як в 4-х точках.

Результати по всіх видах випробувань визначають як середнє арифметичне.

Якщо нема додаткових вимог в технічній документації, то дозволяється зниження результатів випробування для одного зразка на 10 %, у порівнянні з нормативними вимогами, якщо середньоарифметичний результат відповідає нормативним вимогам.

Результати випробувань вважають незадовільними, якщо ці вимоги не виконуються, або в зламі зразка чи на його поверхні виявлені тріщини. При незадовільних результатах випробування проводять на подвійній кількості зразків. Результати повторних випробувань є кінцевими.

2.1 Випробування метала різних ділянок зварного з'єднання і наплавленого металу на статичний розтяг

При випробуванні метала на статичний розтяг визначають наступні механічні властивості:

- межа текучості фізична σ_T , МПа, або умовна σ_{02} , МПа; тимчасовий опір σ_B , МПа;
- відносне подовження після розриву δ , %;
- відносне звуження φ , %:

$$\sigma_T = \frac{4P_T}{\pi d_o^2};$$

$$\sigma_B = \frac{4P_B}{\pi d_o^2};$$

$$\delta = \left[\frac{(L_0' - L_0)}{L_0} \right] \cdot 100 \%,$$

$$\Phi = \left[(d_o^2 - d_o'^2) / d_o^2 \right] \cdot 100 \%$$

де P_T – навантаження, при якому настає стан текучості зразка;

P_B – руйнівне навантаження;

L_o – робоча довжина зразка до навантаження;

L_o' – довжина зразка після розриву;

d_o – діаметр зразка до розриву;

d_o' – діаметр перетину зразка в місці розриву.

Випробування проводять для металу шва, ЗТВ, основного металу, наплавленого металу при всіх видах зварювання плавленням.

Форма та розміри зразків представлені на рис. 2.1 і табл. 2.1.

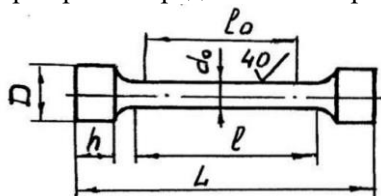


Рисунок 2.1 – Форма зразків для випробування металу на статичний розтяг

Таблиця 2.1 – Рекомендовані розміри зразків, мм

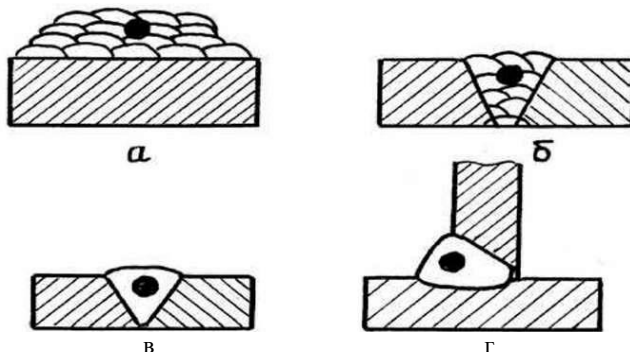
Тип зразка	d_o , мм	D , мм	h , мм	l_o , мм	l , мм	L , мм
1	$3 \pm 0,1$	6	4	15	18	30 ± 1
2	$6 \pm 0,1$	12	10	30	36	61 ± 1
3	$10 \pm 0,2$	16	10	50	60	86 ± 1

Дозволяється застосовувати зразки іншого діаметру пропорційних розмірів.

Робочий перетин зразків всіх типів повинен бути з металу випробуваної ділянки. В головках зразків допускається наявність металу інших ділянок зварного з'єднання, а на їх поверхні – лисок та необроблених ділянок.

У всіх типах з'єднань зразки повинні розташовуватись поздовж осі шва.

Типова схема розташування зразка в деяких типах з'єднань подана на рис. 2.2.



а – в наплавленому шарі; *б* – в багатопрохідних стикових з'єднаннях;
в – в однопрохідних стикових з'єднаннях; *г* – в таврових з'єднаннях

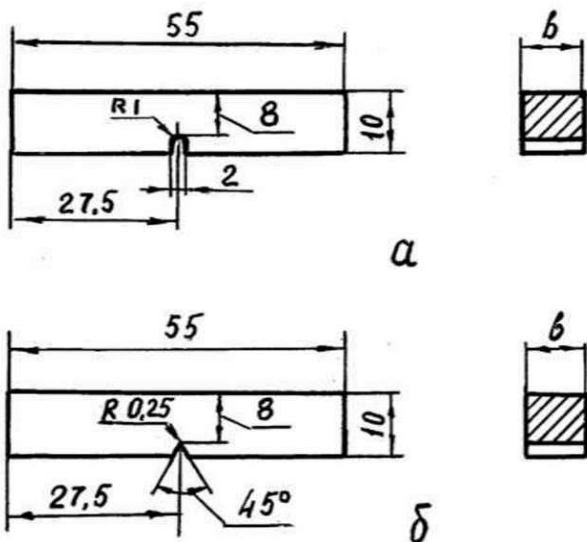
Рисунок 2.2 – Схема розташування зразків в контрольованих ділянках з'єднань

2.2 Випробування металу зварного з'єднання та наплавленого металу на ударний згин

При випробуванні на ударний згин визначають ударну в'язкість металу шва або різних ділянок ЗТВ, в Дж/см². Для випробування використовують зразки з U-подібним, або V-подібним надрізом (рис. 2.3).

Ширина зразків, як правило, становить $b = 10$ мм. Якщо товщина зварного зразка є недостатньою для виготовлення зразків з $b = 10$ мм, то виготовляють зразки меншої ширини ($b = 5$ мм). Результати випробувань, отримані на зразках меншої ширини, можна порівнювати з результатами, отриманими на зразках з $b = 10$ мм тільки з урахуванням поправочних коефіцієнтів.

Зразки вирізають таким чином, щоб надріз розташовувався в тій зоні зварного з'єднання, ударну в'язкість якої потрібно визначити (рис. 2.4).



а – зразок з U-подібним надрізом;

б – зразок з V-подібним надрізом

Рисунок 2.3 – Зразки для випробування на ударну в'язкість

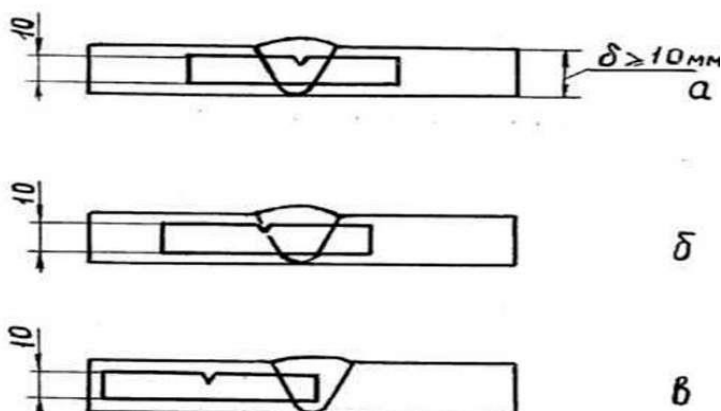


Рисунок 2.4 – Схема вирізання зразків і розташування надрізів при визначенні ударної в'язкості металу шва (а), лінії сплавлення (б) та колошовної зони (в)

Якщо випробовують метал, товщиною менше 10 мм, то зразки вирізають шириною 5 мм і менше таким чином, щоб надріз розташовувався в потрібній зоні зварного з'єднання в напрямку

товщини металу (рис. 2.5).

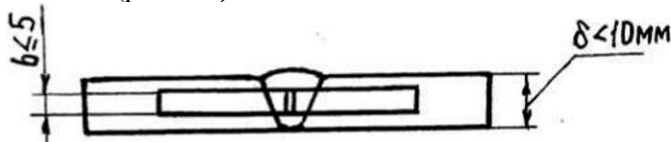


Рисунок 2.5 – Схема вирізання зразка із зварного з'єднання товщиною менше 10 мм

Умовне позначення результатів випробування повинно включати символ ударної в'язкості (КС), вид зразка (U або V), місце розташування надрізу (Ш – шов, ЗС – зона сплавлення, ЗТВ t – зона термічного впливу на відстані t від лінії сплавлення).

Як правило визначення ударної в'язкості проводять при кімнатній температурі і максимальній енергії удару маятника 300 Дж на зразках шириною 10 мм. В цьому випадку умови випробувань в записах результатів додатково не відображаються. Наприклад, символи ударної в'язкості металу шва і зони сплавлення, визначених в цих умовах, будуть позначатись відповідно КСУШ і КСУЗС або КСВШ і КСВЗС. Далі проставляється цифра визначеної величини ударної в'язкості.

Якщо температура й розміри зразків, а також величина енергії маятника копра відрізняються від нормативних, то це відзначається в результатах випробувань.

2.3 Вимірювання твердості наплавленого металу і різних ділянок зварного з'єднання

Вимірювання твердості наплавленого металу здійснюють по Брінеллю (HB), Віккерсу (HV) і Роквеллу (HRA, HRB, HRC) шляхом втискування індентора в шліфовану поверхню наплавленого шару. Вибір способу вимірювання, виду індентора і навантаження при випробуванні залежить від властивостей і товщини наплавленого шару. Твердість тонких шарів наплавленого металу (товщина менше 1,5 мм) визначають переважно по Віккерсу, середньої товщини (1,5 мм – 4 мм) по Віккерсу та Роквеллу, товстих шарів – по Роквеллу та Брінеллю.

Вимірювання твердості зварних з'єднань проводять на макро- або мікрошліфах переважно по Віккерсу. Тільки на з'єднаннях металу великої товщини вимірювання твердості проводять по Роквеллу та Брінеллю. Схема розташування зон втискування індентора показана на рис. 2.6. При вимірюванні по HV відстань $a \geq 2$ мм; по HR $a \geq 4$.

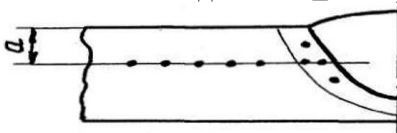


Рисунок 2.6 – Схема розташування зон випробування при вимірюванні твердості зварного з'єднання

2.4 Випробування зварного з'єднання на статичний розтяг

При таких випробуваннях визначають міцність найбільш слабкої ділянки зварного з'єднання, або міцність металу шва стикового з'єднання.

Для визначення тимчасового опору найбільш слабкої ділянки шва використовують зразки (рис. 2.7), товщина яких відповідає товщині основного металу, а інші розміри – даним в табл. 2.2.

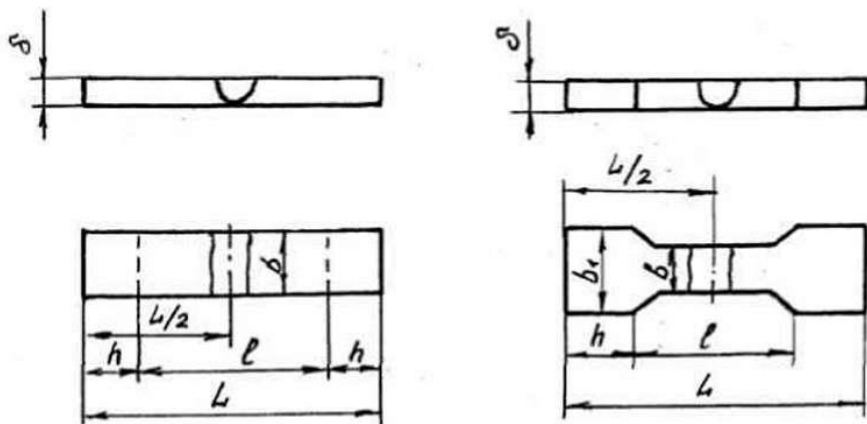


Рисунок 2.7 – Схема зразків для випробування зварного з'єднання на статичний розтяг

Таблиця 2.2 – Розміри (мм) зразків для випробування стикових

з'єднань на розтяг

Товщина основного металу, δ	Ширина робочої частини, b	Ширина захватної частини, b_1	Довжина робочої частини зразка, l	Загальна довжина, L
< 6	15	25	50	$L = l + 2h$
більш 6 до 10	20	30	60	$L = l + 2h$
більш 10 до 25	25	35	100	$L = l + 2h$
більш 25 до 50	30	40	160	$L = l + 2h$

Величину захватної частини зразка h вибирають в залежності від конструкції затискувального пристрою розривної машини.

При випробуванні з'єднань із листів різної товщини, більш товстий лист оброблюють механічною обробкою до товщини більш тонкого. Підсилення швів знімають. Дозволяється обробляти механічною обробкою зразок по всій поверхні на глибину до 15 % від товщини металу, але не більше 4 мм.

Із труб великого діаметру вирізають і виготовляють плоскі зразки (рис. 2.7), а зварні з'єднання труб малого діаметру випробовують на розтяг в цілому.

Місце руйнування є найбільш слабкою зоною з'єднання. Величина тимчасового опору визначається через співвідношення руйнуючого зусилля по відношенню до площі перетину зразка.

Для визначення міцності зварного шва використовують зразки із спеціальним звуженням в зоні шва (рис. 2.8).

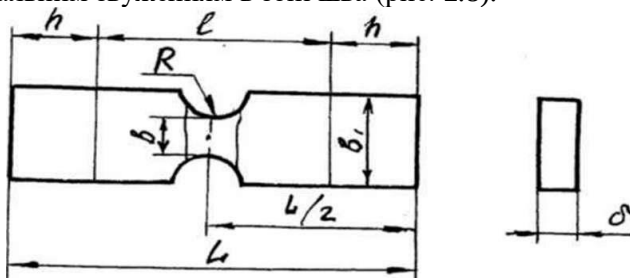


Рисунок 2.8 – Зразки для випробування міцності шва стикового з'єднання

Розміри зразків відповідають даним табл. 2.2, а величина R – максимальній товщині зразка.

Тимчасовий опір металу шва визначають із співвідношення:

$$\sigma_B = k \left(\frac{P}{F} \right),$$

де k – поправочний коефіцієнт, рівний для сталей 0,9;

P – руйнівне зусилля;

F – площа перетину зразка в найбільш вузькому місці.

2.5 Випробування зварного з'єднання на статичний згин

Випробування проводять на стикових з'єднаннях з метою визначення їх пластичності, яка буде характеризуватись здатністю даного з'єднання згинатись на певний кут (рис. 2.9) до появи першої тріщини в розтягнутій зоні зразка.

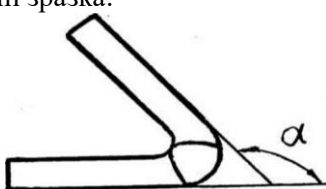


Рисунок 2.9 – Схема визначення кута загибу

Випробування проводять на зразках з поперечними або поздовжніми швами. Товщина зразка повинна відповідати товщині основного метала. Ширина зразків становить

з поперечними швами

для товщин $\delta < 5$ мм $\delta + 15$ мм;

для $\delta > 5$ мм $\delta + 20$ мм;

з поздовжніми швами

$$b_{ш} + 10 \text{ мм},$$

де $b_{ш}$ – ширина шва.

Довжина зразків

$$L = 5\delta + 80 \text{ мм},$$

але не більше 250 мм.

Підсилення швів знімають механічним способом. Кромки зразків заокруглюють радіусом $R = 0,18$, але не більше 2 мм. Випробування проводять шляхом згину їх на оправці розривної машини (рис. 2.10). Діаметр оправки $D = 2\delta$.

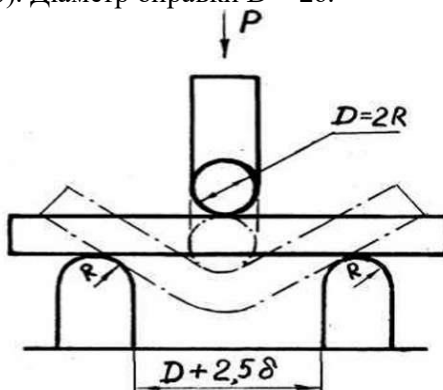


Рисунок 2.10 – Схема випробування на згин

При випробуванні труб діаметром менше 60 мм, як з поздовжніми, так і поперечними (кільцевими) швами проводять їх сплющування шляхом деформації під пресом (рис. 2.11) до появи першої тріщини.

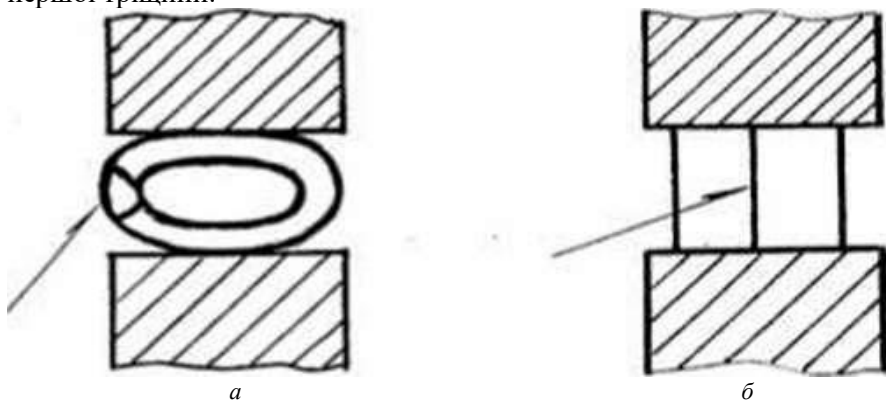


Рисунок 2.11 – Схема випробування на сплющування трубних зразків з поздовжніми (а) та поперечними (б) швами

Підсилення швів перед випробуванням знімають. Швидкість прикладення навантаження при сплющуванні, також як і при згині; не повинна перевищувати 15 мм/хв. З труб більшого діаметру (> 60 мм)

виготовляють плоскі зразки, які випробовують на згин.

Величина нормативного кута згину чи величина сплюснення обумовлюється технічними умовами.

3 ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

При підготовці до лабораторної роботи необхідно з'ясувати суть руйнівних методів контролю, способи контролю, які при цьому використовуються, вивчити застосовуване обладнання, технологію контролю і правила безпечного виконання робіт.

4 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ І КОНТРОЛЮ ПІДГОТОВЛЕНOSTІ СТУДЕНТІВ ДО РОБОТИ

1. Які види випробувань проводять для визначення механічних властивостей зварних з'єднань наплавленого металу?

2. Які зразки використовують для визначення механічних характеристик металу шва?

3. Які зразки використовують для визначення ударної в'язкості, їх різновидності, особливості виготовлення?

4. Які зразки використовують для визначення міцності зварних з'єднань?

5. Як проводять випробування на згин і сплюснювання зварних з'єднань?

6. Дайте визначення твердості матеріалів.

7. Назвіть та дайте визначення методам вимірювання твердості матеріалів.

8. Вкажіть, яким чином різняться способи вимірювання твердості за характером дії індентора.

9. Вкажіть, який індентор використовують при вимірюванні твердості по методу Бринелля.

10. Вкажіть, який індентор використовують при вимірюванні твердості по методу Роквелла.

11. Вкажіть, який індентор використовують при вимірюванні твердості по методу Віккерса.

12. Вкажіть способи вимірювання твердості.

13. Вкажіть, що характеризує твердість матеріалу, яка визначається шкрябанням.

14. Вкажіть, що характеризує твердість матеріалу, яка визначається відскоком.

15. Вкажіть, яким чином розділяють твердість залежно від швидкості прикладання навантаження на індентор.

16. Вкажіть, як називають твердість при плавному навантаженні на індентор.

17. Вкажіть, як називають твердість при навантаженні на індентор ударом.

18. Назвіть переваги випробування на твердість матеріалів серед інших методів випробувань.

19. Поясніть, за яким параметром визначають твердість матеріалу.

20. Поясніть, яким чином кількісно оцінюють твердість матеріалу.

21. Дайте визначення числу твердості по Бринеллю.

22. Вкажіть, в яких одиницях вимірювання визначається твердість по Бринеллю. Поясніть, яким чином виконують перерахунок одиниці вимірювання твердості по Бринеллю в одиниці *SI*.

23. В чому полягає основна умова отримання порівнянних результатів визначення твердості матеріалів шариками різного діаметра.

24. Вкажіть, шарики яких діаметрів використовують для визначення твердості по Бринеллю.

25. Вкажіть, як вибирають діаметр шарика та навантаження для вимірювання твердості.

21. Вкажіть, для яких матеріалів не рекомендують використовувати вимірювання твердості по методу Бринелля.

22. Вкажіть та розпишіть стандартне число твердості по Бринеллю.

23. Розшифруйте число твердості по Бринеллю *HB 10/300/50–350*.

24. Перерахуйте умови, які необхідно виконувати при вимірюванні твердості по Бринеллю.
25. Опишіть порядок визначення твердості по методу Бринелля.
26. Поясніть, яким чином вимірюють діаметр відбитка при визначенні твердості по Бринеллю.
27. Поясніть, у чому полягає різниця вимірювання твердості по Бринеллю та Роквеллу.
28. Опишіть визначення твердості по методу Роквелла.
29. Вкажіть параметри індентора для визначення твердості по методу Роквелла.
30. Поясніть, що вимірює твердомір Роквелла.
31. Опишіть визначення твердості по Роквеллу з використанням індентора різного навантаження.
32. Вкажіть, яким вимогам повинна відповідати поверхня зразка матеріалу при вимірюванні твердості приладом Роквелла.
33. Вкажіть, що необхідно контролювати при вимірюванні твердості по Роквеллу.
34. Вкажіть, за яких умов вимірюють твердість по Роквеллу.
35. Опишіть переваги методу вимірювання твердості по Роквеллу.
36. Назвіть, який метод використовують для вимірювання твердості на зразках та готових статичних виробах.
40. Вкажіть, яким вимогам повинен відповідати індентор при визначенні твердості по Віккерсу.

5 МАТЕРІАЛИ, ІНСТРУМЕНТ, ПРИЛАДИ, ОБЛАДНАННЯ

1. Зразки з металу шва й наплавленого метала до та після випробування на: статичний розтяг; ударну в'язкість; твердість.
2. Зразки зварних з'єднань до та після випробування на: статичний розтяг; згин; сплющування.
3. Дані про умови проведення випробувань і результати визначення руйнуючих, або нормативних навантажень для випробуваних зразків.

4. Окуляр для вимірювання розмірів відбитків при визначенні твердості.

5. Перевідна таблиця для співставлення результатів вимірювання твердості різними методами.

6 ВКАЗІВКИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

При виконанні роботи не допускати можливості нанесення травм при випадковому падінні зразків чи нанесенні подряпин їх гострими кромками.

7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Вивчити різновидності та методику проведення механічних випробувань зварних з'єднань і наплавленого металу.

2. Вибрати типи зразків, їх місце розташування для визначення механічних властивостей різних зварних з'єднань (по рекомендації викладача).

3. Провести обмір зразків до і після випробувань і, з урахуванням величини руйнуючих навантажень, визначити міцнісні характеристики випробуваних зразків металу шва і наплавленого металу, їх ударну в'язкість.

4. Визначити твердість наплавленого металу по Брінеллю і за допомогою перевідних таблиць визначити твердість контрольованих зразків по *HV*, *HRA*, *HRC*.

5. Оцінити пластичність контрольованих зварних з'єднань по куту згину і величині сплюснення зразків.

6. Проаналізувати результати визначення механічних властивостей виробів і скласти звіт.

8 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Вказати мету роботи,
2. Назвати види механічних випробувань зварних з'єднань і наплавленого металу,
3. Подати ескізи контрольованих з'єднань,
4. Вказати схему вирізки контрольних зразків і їх розміри.
5. Навести результати визначення міцносних характеристик і оцінки пластичності зварних виробів
6. Зробити висновки по роботі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Контроль якості зварювання: навчальний посібник. Т. 1. Неруйнівні методи контролю / Г. І. Камель, Ю. А. Гасило, П. С. Івченко, Р. Я. Романюк. – Кам'янське : ДДТУ, 2018. – 241 с.
2. Білокур І.П. Основи дефектоскопії: Підручник. – К.: «Азимут-Україна», 2004. – 496 с.