

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Володимира Даля

КАФЕДРА БУДІВНИЦТВА, УРБАНІСТИКИ ТА ПРОСТОРОВОГО ПЛАНУВАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
«МЕТАЛОЗНАВСТВО ТА ЗВАРЮВАННЯ»

*(для здобувачів вищої освіти
спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія»)*

(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри будівництва,
урбаністики та просторового
планування

Протокол № 2 від 16.09.2025 р.

Київ - 2025

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Металознавство та зварювання» (для здобувачів вищої освіти спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія») (Електронне видання) / Уклад.: М.В. Білошицький. – Київ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2025. – 79 с.

Методичні вказівки до лабораторних спрямовано на вивчення і засвоєння здобувачами на підставі лекційного матеріалу практичних основ з дисципліни «Металознавство та зварювання», з метою формування знань і навичок з визначення проблем, резервів та напрямків ознайомлення здобувачів з принципами і методами вирішення проблем дослідження внутрішньої будови металів і сплавів зварних з'єднань, пов'язаних зі стрімким розвитком методів отримання і дослідження зварних з'єднань в будівельній галузі, а також нормативної документації в галузі.

Методичні вказівки охоплюють широкий спектр тем, вивчення яких є обов'язковим для фахівців зі спеціальності "Будівництво та цивільна інженерія": питання основних положень металознавства та зварювання, основні марки металів та сплавів які використовуються у будівництві, питання вибору електродів та розрахунку режимів зварювання різних конструкцій з конкретного металу або сплаву; питання дослідження зварних з'єднань методами металографічного аналізу.

Сформульовані цілі та задачі експериментальних, розрахункових лабораторних випробувань основних будівельних металів та наведено методики їх проведення. Вказані необхідні прилади, устаткування і матеріали для виконання лабораторних робіт. Наприкінці кожної теми наведено питання для контролю з підготовки здобувачів.

Укладач: М.В. Білошицький, к.т.н., доцент кафедри БУПП

Рецензент: Г.О. Татарченко, д.т.н., професор завідувач кафедри БУПП

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Лабораторна робота № 1. Дефекти зварних з'єднань і методи їх контролю	5
2. Лабораторна робота № 2. Технологічні параметри режимів зварювання	13
3. Лабораторна робота № 3. Будова зварних з'єднань	29
4. Лабораторна робота № 4. Мікроструктури вуглецевих сталей і чавунів. Зварюваність сталі і чавуну	39
5. Лабораторна робота № 5. Вплив температури зварювальної дуги на мікроструктури зварних з'єднань	50
6. Лабораторна робота № 6. Зварювання конструкційних будівельних вуглецевих і низьколегованих сталей	57
7. Лабораторна робота № 7. Зварювання кольорових металів і сплавів	67
Список рекомендованої літератури	77

ВСТУП

Процес підготовки та виконання лабораторних робіт з дисципліни «Металознавство та зварювання» включає: самостійну роботу з рекомендованою літературою; відвідування настановних лекцій.

Лабораторні роботи виконують в окремому зошиті, вони повинні бути акуратно оформлені, написані чітко і ясно. Для зауважень рецензента необхідно залишати поля. У кінці роботи наводяться висновки та список використаних джерел, ставиться дата та підпис автора. Виконані роботи захищають до екзаменаційної сесії під час занять або в години консультацій.

Лабораторні роботи проводяться за розкладом. Здобувачі, які з поважних причин не виконали лабораторну роботу разом із групою, повинні відпрацювати її індивідуально. Кожна лабораторна робота оформляється в робочому зошиті, підписується здобувачем та затверджується викладачем.

Метою виконання лабораторних робіт з дисципліни «Металознавство та зварювання» є засвоєння здобувачами теорії та практики проведення досліджень основних положень металознавства та зварювання, основних марок металів та сплавів які використовуються у будівництві, найбільш поширених видів зварювання термічного класу які використовуються у будівництві, особливостей дугового зварювання різних конструкцій, технології ручного дугового зварювання і набуття навичок із техніки проведення випробувань руйнівними та неруйнівними методами контролю.

У результаті виконання лабораторних робіт з дисципліни «Металознавство та зварювання» здобувачі мають набути:

- знання основних положень металознавства та зварювання;
- знання марок металів та сплавів які використовуються у будівництві;
- знання з вибору електродів та розрахунку режимів зварювання різних конструкцій з конкретного металу або сплаву;
- знання з дослідження зварних з'єднань методами металографічного аналізу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

«ДЕФЕКТИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ І МЕТОДИ ЇХ КОНТРОЛЮ»

Мета роботи: вивчити основні дефекти зварних з'єднань, ознайомитися з методами підготовки поверхні металу під зварювання, вивчити на практиці основні методи контролю зварних з'єднань.

Прилади, матеріали і приладдя на одну бригаду:

1. Зварні зразки з дефектами.
2. Макрошліфи зварних швів.
3. Лупа з 4-кратним збільшенням.
4. Наждачний, фільтрувальний папір.
5. Кювети.
6. Реактив Гейне.

Методика виконання роботи:

1.1. Дефекти зварних з'єднань

Зварюванням називається технологічний процес отримання нероз'ємних з'єднань за рахунок встановлення міжатомних (міжмолекулярних) зв'язків між поверхневими атомами двох заготовок, що з'єднуються.

У процесі зварювання в металі шву і зоні термічного впливу можуть виникнути дефекти, які знижують міцність з'єднань, призводять до негерметичності швів, знижують експлуатаційну надійність виробу. *Причинами дефектів* можуть бути незадовільна зварюваність металу, погана якість електродів, неправильний вибір технології та режимів зварювання, низька кваліфікація зварника та ін.

За місцем розташування розрізняють дефекти *зовнішні* і *внутрішні*. *Зовнішні* дефекти, як правило, можуть бути виявлені при зовнішньому огляді. Для виявлення *внутрішніх* дефектів застосовують спеціальні методи неруйнівного або руйнівного контролю.

До внутрішніх дефектів зварних швів відносяться пори, тверді включення шлаку або стороннього металу, непровари і внутрішні тріщини різного роду (холодні і гарячі) (рис. 1...5). До зовнішніх відносяться дефекти форми шву і газові пори, що вийшли на поверхню швів, свищі, тріщини і підрізи (рис. 6...10). Поділ дефектів на дві групи досить умовний, тому що багато зовнішніх дефектів являються наслідком, а досить часто і зовнішнім проявом внутрішніх дефектів.

Іноді дефекти класифікують в залежності від причини їх утворення. У цьому випадку вони також діляться на дві групи. До першої – відносяться дефекти, утворення яких пов'язано з фізико-хімічними явищами, що протікають в процесі утворення, формування, кристалізації зварної ванни і охолодження зварного з'єднання. Це кристалізаційні і холодні тріщини, що виникають найчастіше в металі шва і біля шовної зони відповідно. Крім того, до першої групи дефектів відносяться пори, неметалеві включення, несплавлення.

До другої групи дефектів, поява яких обумовлена порушенням технології зварювання, відносяться непровари, підрізи, прожоги, недотримання розмірів шва та ін.

Таким чином, класифікація дефектів зварних швів може бути проведена за різними причинами.

Велика частина *неметалевих включень* (рис. 1) в зварному шві утворюється в результаті різних фізико-хімічних процесів.



Рис. 1. Неметалеві включення

Лише незначна частина неметалічних включень вноситься ззовні. Інтенсивність утворення неметалевих включень, їх склад, форма і розміри залежать від багатьох причин (хімічного складу металу шва, який в свою чергу залежить від застосовуваних зварювальних матеріалів; способу і режимів

зварювання; стійкості утворених сполук при високих температурах; температури зварювальної ванни та ін.).

Для утворення *газових пір* (рис. 2) в зварних швах необхідно, щоб тиск газу, що виділяється був в змозі подолати зовнішні сили, що перешкоджають його виділенню, в іншому випадку – в звареному шві відбувається перенасичення металу газами. Крім того, вони виникають при недостатньому захисті ванни від повітря, наявності іржі, вологи. Газові пори знижують механічні властивості і порушують його герметичність.

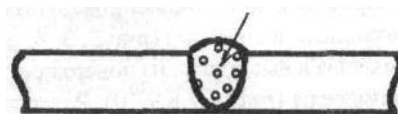


Рис. 2. Газові пори

Непровари (рис. 3) найчастіше спостерігаються по товщині основного металу, в вершині вузла і по його краях, деталей, що зварюються.

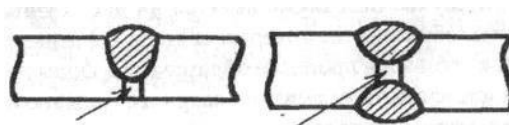


Рис. 3. Непровари

Непровари по товщині основного металу часто є наслідком неправильного вибору режимів зварювання і, перш за все, від недостатньої сили зварювального струму, в результаті чого не досягається необхідна глибина проплавлення.

Тріщини (рис. 4) виникають в звареному шві та околошовній зоні. Схильність металу до утворення гарячих тріщин залежить від величини інтервалу кристалізації. *Гарячі тріщини* зароджуються в процесі первинної кристалізації металу шва і розташовуються по границям кристалів. Такі тріщини часто називають кристалізаційними.

Холодні тріщини виникають зазвичай при температурі нижче 423...478°C. Найчастіше вони розташовані в околошовній зоні і рідше – в металі зварних швів.

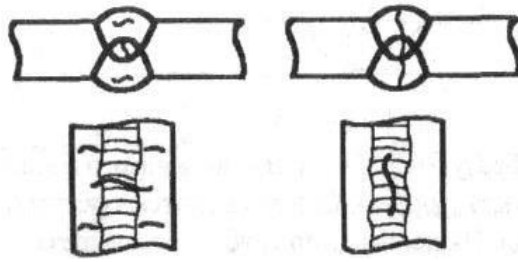


Рис. 4. Холодні та гарячі тріщини

Підрізи (рис. 5) утворюються найчастіше при автоматичних способах зварювання, особливо при зварюванні кутових швів. Однак досить часто підрізи утворюються і при зварюванні стикових швів, як правило, при високих швидкостях зварювання. Причиною утворення підрізів може бути зміщення електрода щодо осі шва або завищені значення напруги на дузі.

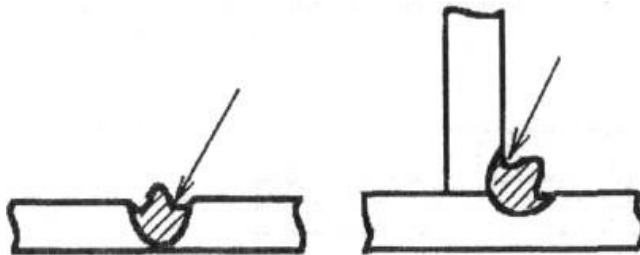


Рис. 5. Підрізи

І в тому і в іншому випадку відбувається більш глибоке проплавлення однієї з кромки, що призводить до утворення канавки, яка залишається після затвердіння металу зварювальної ванни.

Не заповнення канавки та утворення підрізів зазвичай визначається співвідношенням швидкостей кристалізації металу і заповнення канавки металевим розплавом. Отже, усунути підрізи можна двома способами: зменшенням швидкості кристалізації або збільшенням швидкості заповнення канавки металом.

Прожоги (рис. 6) утворюються при струмі великої сили, а також нерівномірної швидкості зварювання. Зазор між крайками, що зварюються, при прожогах заповнюються.

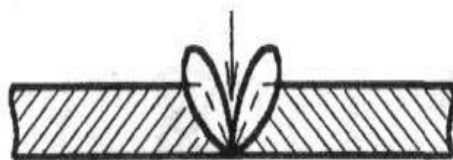


Рис. 6. Прожоги

Напливи (рис. 7) утворюються при натіканні рідкого металу на нерозплавлену поверхню виробу. Вони з'являються в результаті швидкого плавлення електрода. Їх необхідно зрубати або вирізати.

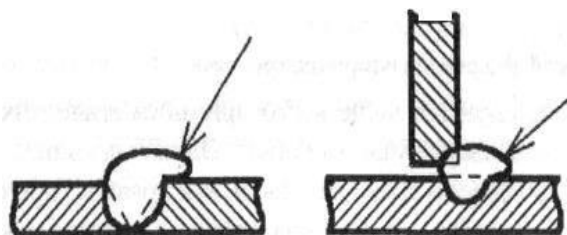


Рис. 7. Напливи

Кратери (рис. 8) – незаплавлене поглиблення шву. Такий дефект зменшує робочий перетин шву, тому його слід заправляти.

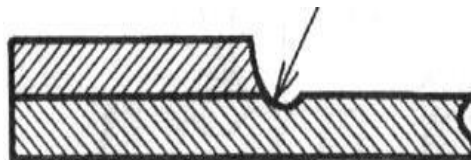


Рис. 8. Кратери

Нерівномірність перетину (рис. 9) шву виникає при зварюванні плавленням внаслідок коливань напруги в мережі, нерівномірності швидкості зварювання, неправильного кута нахилу електрода, а також недостатньої кваліфікації зварювальника та ін.

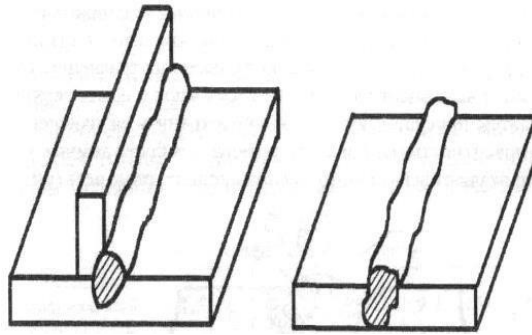


Рис. 9. Нерівномірність перетину шву

1.2. Контроль якості зварного шву

Для отримання якісних з'єднань необхідно систематично поопераційно контролювати процес зварювання. До зварювання слід перевірити правильність підготовки крайок і їх зачистку; справність джерел живлення, приладів, пристосувань; якості металу виробу, електродів, покриття.

У процесі зварювання треба контролювати виконання призначеного режиму зварювання і технічних умов, правильність накладення швів, стан устаткування.

Після зварювання слід перевірити якість зварного з'єднання оглядом, металографічним аналізом, механічними випробуваннями, просвічуванням і випробуванням на щільність.

Всі зварні шви оглядають візуально після видалення шлаку і їх очищення. Спеціальними шаблонами і обмірними інструментами вимірюють шов і перевіряють його відповідність з розмірами. Так визначають зовнішні дефекти.

Для виявлення внутрішніх дефектів використовують *макроаналіз металів*.

Призначення макроаналізу. Макроскопічний аналіз (макроаналіз) – це дослідження будови металів і сплавів неозброєним оком або через лупу при невеликих збільшеннях (до 30 разів). Спостережувану таким чином будову металу називають макроструктурою.

Макроаналіз макрошліфів. **Макрошліф** – це спеціально підготовлена поверхня розрізу деталі. Зразок для макроаналізу вирізають з одного або декількох місць заготовки або деталі як в поздовжньому, так і в поперечному напрямку. Досліджувана поверхня макрошліфа повинна бути плоскою і гладкою.

Тому розріз деталі спочатку обробляють на металорізальних верстатах (фрезерному, стругальному або плоскошліфувальному). Для отримання більш гладкої поверхні зразок шліфують, використовуючи наждачний папір різних номерів. Потім зразки протирають ватою і піддають травленню. Способи травлення макрошліфів і склади реактивів залежать від виду металу і цілей дослідження.

Для визначення макроструктури зварних з'єднань застосовують – метод поверхневого травлення. Для цього використовують реактив Гейне, що містить 45 г NH_4Cl і 55 г CuCl_2 на 1000мл води. Поверхню макрошліфів протирають ваткою для зняття бруду і занурюють в реактив на 30 с. Травлення виконують при температурі 20°C . В процесі витримки зразка залізо витісняє з водного розчину мідь, яка осідає на поверхні макрошліфів. Різні несутцільності металу (пори, раковини, тріщини) і неметалеві включення покриваються міддю. Після витримки зразок виймають з реактиву і змивають з його поверхні шар міді, а потім просушують, щоб уникнути окислення. В результаті на поверхні макрошліфів з'являються темніші ділянки, на яких виявляються різні дефекти, якщо такі є (рис. 10).

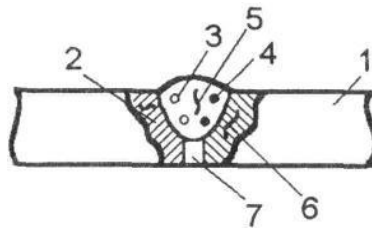


Рис. 10. Внутрішні дефекти зварного шва: 1 – зварюваний метал; 2 – околошовна зона; 3 – газові пори; 4 – неметалеві включення; 5 – гарячі тріщини; 6 – холодні тріщини; 7 – непровар

Механічні випробування на розрив, ударну в'язкість, згин проводять на спеціальних контрольних пластинах, зварених разом з виробом, або на зразках, вирізаних з нього. Внутрішні дефекти зварного шва виявляють просвічуванням без руйнування шва.

Для перевірки герметичності зварного з'єднання їх випробовують гасом, стисненим повітрям, аміаком і гідравлічним тиском.

1.3. Порядок виконання роботи та складання звіту

1. Описати основні дефекти зварних з'єднань.
2. Описати сутність та призначення макроаналізу.
3. Описати методику приготування макрошліфів.
4. Вивчити зовнішнім оглядом зовнішні дефекти зварного з'єднання.

Намалювати ескіз зварного шва з позначенням його розмірів, вказати наявні дефекти форми шва.

Дослідити внутрішні дефекти зварного шва. Для цього необхідно підготувати макрошліф і протравити його в реактиві Гейне протягом 30 с. Схематично зобразити макрошліф із зазначенням основного і наплавленого металу, зони термічного впливу і внутрішніх дефектів зварного шва.

Контрольні питання для захисту виконаної лабораторної роботи:

1. Дати визначення терміну «зварювання».
2. На які групи можна розділити дефекти зварних з'єднань?
3. Вкажіть причини виникнення дефектів підготовки та складання виробів під зварювання.
4. Перерахувати дефекти форми шва.
5. Назвіть основні дефекти, які утворюються при підготовці і збірці виробів під зварювання.
6. Вкажіть причини виникнення непроварів.
7. Чим характеризуються режими зварювання?
8. Як впливають шлакові включення на міцність зварного з'єднання?
9. За яких умов виникають гарячі тріщини?
10. Як непровар впливає на міцність шва?
11. У чому полягає метод макроаналізу.
12. За яких умов виникають холодні тріщини?
13. З яких зон складається зварний шов?
14. Які причини виникнення підрізів, кратерів, газових раковин?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

«ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ РЕЖИМІВ ЗВАРЮВАННЯ»

Мета роботи: вивчити види зварних з'єднань, швів і режими зварювання.

Методика виконання роботи:

1. Види зварних з'єднань і швів

При виготовленні зварних виробів виконують такі види зварних з'єднань: стикові (рис. 1, а), стикові з відбортовкою (рис. 1, б), нахлесні (рис. 1, в), кутові (рис. 1, г), таврові (рис. 1, д), прорізні (рис. 1, е), торцеві (рис. 1, ж), електрозаклепачні (рис. 1, з). Застосування того чи іншого виду з'єднання обумовлюється характером конструкції, способом зварювання, товщиною металу та ін.

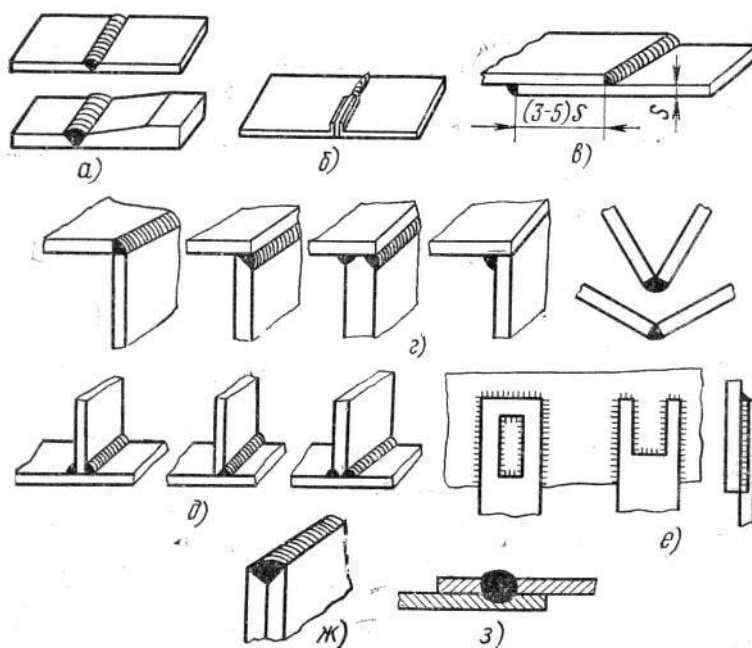


Рис. 1. Види зварних з'єднань

У трубопроводах застосовуються стикові з'єднання; в фермах і стійках – нахлесточні; в зварних балках – таврові.

Зварні шви поділяють за такими ознаками: по розташуванню щодо напрямлення навантаження (рис. 2, а) – флангові 1, лобові 2, комбіновані 3 і косі

4; по положенню в просторі (рис. 2, б) – нижні 1, горизонтальні 2, вертикальні 3, стельові 4; за формою зовнішньої поверхні (в) – плоскі (нормальні) 1, випуклі (посилені) 2, увігнуті (ослаблені) 3; по ширині (г) – ниткові 1 і розширені 2; ширина ниткового шва становить $0,8...1,5d_{ел}$; ширина розширеного шва – не більше 30 мм; за кількістю шарів або проходів (д) – одношарові (однопрохідні) 1 і багатшарові (багатопрхідні) 2 – по протяжності (е) – суцільні 1 і переривчасті (ланцюгові і шахові) 2; за призначенням – міцні, щільні і міцно-щільні.

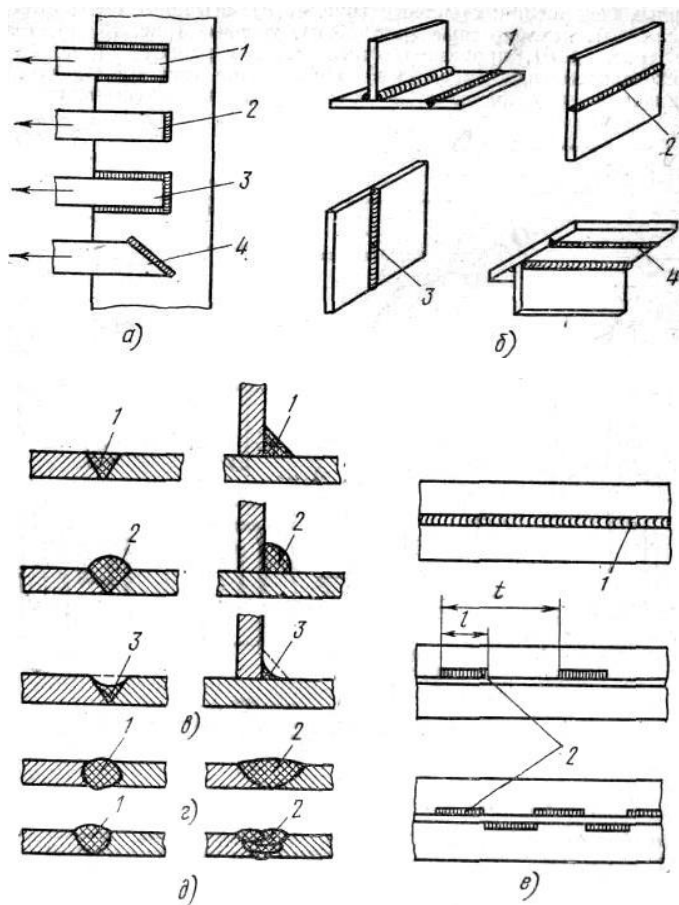


Рис. 2. Види зварних швів

Залежно від розмірів перетину швів вони виконуються одношаровими або багатшаровими. Однопрохідне зварювання продуктивне і економічне, але метал шва має грубу малопластичну стовбчасту структуру. Одночасно збільшується зона термічного впливу, що також є небажаним. При багатшаровому зварюванні накладення кожного наступного шару викликає термообробку попереднього шару. Розширені шви виконують з різними поперечними коливальними рухами

торця електрода (рис. 3). Мета цих рухів – створити загальну для обох крайок зварювальну ванну і забезпечити хороший провар.

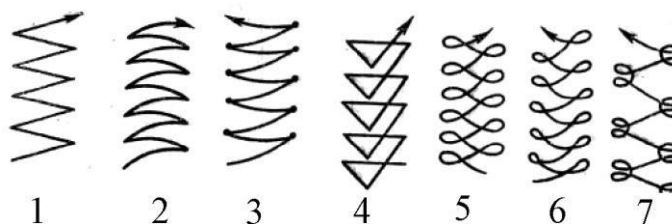


Рис. 3. Схеми руху кінця електрода: 1,2,3 – рухи, що найчастіше застосовуються; 4 – для проплавлення середини шва; 5,6,7 – для проплавлення крайок

2. Визначення технологічних параметрів режимів зварювання

2.1. Ручне дугове зварювання

Ручне електродугове зварювання проводиться металевим або вугільним електродом. Дугу запалюють короткочасним дотиком кінця електрода до виробу. Довжину дуги при зварюванні необхідно підтримувати постійною.

Орієнтовно довжину дуги визначають за формулою:

$$l_d = (0,5...1,1) d_{el} \quad (1)$$

де d_{el} – діаметр електрода, мм.

Режим ручного зварювання визначається діаметром електрода, величиною зварювального струму, напругою на дузі, швидкістю переміщення електрода уздовж шва, родом струму і полярністю.

Діаметр електрода підбирають в залежності від товщини зварювальних деталей. У табл. 1 наведені встановлені практикою такі поєднання меж товщини зварювальних деталей і діаметр електрода.

Таблиця 1

Значення діаметра електрода

Товщина зварюваної деталі, δ мм	1,5	2	3	4...5	6...8	9...12	13...15	6...20	Більш 20
Діаметр електрода d_{el} , мм	1,6	2	3	3...4	4	4...5	5	5...6	6...10

Силу струму $I_{зв}$, (А) розраховують залежно від діаметра електрода і виду шва:

$$I_{зв} = k d_{ел} \quad (2)$$

де k – дослідний коефіцієнт, що дорівнює 40...60 А/мм;

$d_{ел}$, – діаметр електрода, мм.

Швидкість зварювання $V_{зв}$, м/год визначається з таким розрахунком, щоб отримати шар наплавленого металу певної ширини і довжини. Для одношарових швів вона визначається за формулою:

$$V_{зв} = \frac{L}{t_0} \quad (3)$$

де L – довжина зварного шва, м (табл. 9);

t_0 – час зварювання, год.

Час зварювання визначається з формули:

$$t_0 = \frac{Q_H}{I_{зв} \alpha_H} \quad (4)$$

де Q_H – кількість наплавленого металу, г;

$I_{зв}$ – зварювальний струм, А;

α_H – коефіцієнт наплавлення, г/А ч.

Коефіцієнт наплавлення визначають дослідним шляхом, при цьому враховуються втрати матеріалу на чад і розбризування. У табл. 2 наведені характеристики електродів загального призначення для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей.

Кількість наплавленого металу визначається за формулою:

$$Q_H = F \cdot L \cdot \rho \quad (5)$$

де F – площа поперечного перерізу шва, см², вираховується виходячи з геометрії шва;

L – довжина шва, см;

ρ – щільність металу (7,8 г/см³).

Витрата електродів Q_e , г, вираховують за формулою:

$$Q_e = (1,2...1,3)Q_n \quad (6)$$

Витрата електроенергії \mathcal{E} , Вт·ч, визначається за формулою:

$$\mathcal{E} = U_\delta I_{зв} t_0 \quad (7)$$

де U_δ – напруга дуги, (В). Напруга на дузі при ручному зварюванні залежить від довжини дуги, електродних покриттів та інших чинників. Для електродів, що застосовуються при зварюванні вуглецевих і легованих сталей, напруга дуги складає 20...28 В;

$I_{зв}$ – зварювальний струм, А;

t_0 – час зварювання, год.

Таблиця 2

Характеристика електродів загального призначення для зварювання сталей

Марка електрода	Струм і полярність	Положення зварювання	коефіцієнт наплавлення г/А·год
АНО-5	Постійний і перемінний	Любе	11
УОНИ-13/45	Постійний, на електроді (+)	Любе	8,5
АНО-13	Постійний і перемінний	Вертикальне	9
ВСЦ-3	Постійний	Любе	9,5...13
АНО-10	Постійний і перемінний	Нижнє, вертикальне	12
УОНИ-13/85	Постійний, на електроді (+)	Любе	9,5

Джерело живлення зварювальної дуги вибирається в залежності від наявності електроенергії на будівельному майданчику.

При відсутності електроенергії застосують зварювальні агрегати, що

складаються з зварювального генератора і приводного двигуна. Агрегати зварювальні із двигуном внутрішнього згорання (застосовується бензин або дизельне паливо) призначені для роботи в польових умовах. Вони можуть бути розміщені тимчасово або постійно на транспортних засобах (автомашині, автопричепі та ін.) для мобільного переміщення до місць виробництва зварювальних робіт. Зварювальні агрегати розраховані на струми 250, 315, 400, 500А, величини яких входять в цифрове позначення марок агрегатів (АСВ-300-7, ПАС-400-УЗ (бензиновий двигун); АДД-305, АСДП-500 (дизельний двигун)) при відсутності випрямляча використовуються електроди для постійного струму.

При наявності електроенергії застосовують зварювальні трансформатори (табл. 3) які працюють в режимі мінливих напруг і струму і розраховані на короткочасні короткі замикання мережі. Для зварювання перемінним струмом застосовують однофазні трансформатори, які розділяють силовий і зварювальний ланцюги і знижують високу напругу 380 або 220В.

Для зварювання постійним струмом використовуються зварювальні випрямлячі (табл. 4) – електричні апарати, які перетворюють перемінний струм трифазної мережі в постійний за допомогою напівпровідникових приладів.

Таблиця 3

Технічна характеристика зварювальних трансформаторів

Тип	Напруга, В		Зварювальний струм, А	
	Живильної мережі	Робоче	Номінальний	Межа регулювання
ТСД-500	380;220	45	500	200...600
ТД-300	380;220	30	300	60...400
ТС-500	380;220	30	500	165...650

Технічна характеристика зварювальних випрямлячів

Тип	Напруга, В		Зварювальний струм, А	
	Живильної мережі	Робоче	Номінальний	Межа регулювання
ВД-502	380;220	40	500	50...500
ВКС-500	380;220	40	500	60...550
ВДУ-504	380;220	72...76	500	100...500

2.2. Автоматичне дугове зварювання

При цьому способі, зварювання ведуть непокритим електродним дротом, дугу і зварювальну ванну захищають флюсом або газом, подача і переміщення дроту механізовані. Основними параметрами автоматичного зварювання під флюсом або в середовищі захисного газу, що впливають на розміри і форму шва, є: зварювальний струм, напруга на дузі, швидкість зварювання, діаметр електродного дроту.

Силу струму $I_{зв}$, А розраховують залежно від поперечного перерізу електродного дроту і щільності струму:

$$I_{зв} = \frac{\pi d_{ел.др.}^2}{4} i \quad (8)$$

де $d_{ел.др.}$ – діаметр електродного дроту в мм, що залежить від товщини зварюваного металу (табл. 5);

i – густина струму в А/мм², що залежить від діаметра електродного дроту (табл. 6).

Таблиця 5

Значення діаметра електродного дроту

товщина металу, мм	3	5	8	10	12...20	Більш 20
$d_{ел.др.}$, мм	2	3...4	4...5	4...5	6	6...8

Таблиця 6

Значення густини струму

$D_{ел.др.}, \text{ мм}$	2	3	4	5	6...8
$i, \text{ А/мм}^2$	95	63,5	54	40	30

Швидкість зварювання $V_{зв}$, м/год, визначають:

$$V_{зв} = \frac{A}{I_{зв}}, \quad (10)$$

де $I_{зв}$ – зварювальний струм, А;

A – коефіцієнт в А·м/год, що залежить від діаметра електродного дроту (табл. 7).

Таблиця 7

$d_{ел.др.}, \text{ мм}$	2	3	4	5
$A, \text{ А·м/год}$	$(11...13) \cdot 10^3$	$(13...16) 10^3$	$(18...22) \cdot 10^3$	$(22...30) 10^3$

Швидкість подачі дроту визначають:

$$V_{н.др.} = \frac{4\alpha_n I_{зв}}{\pi d_{ел.др.}^2 \gamma} \quad (11)$$

де α_n – коефіцієнт наплавлення 16 г/А·год;

γ – щільність основного металу (вуглецеві сталі) – 7,8 г/см³.

Площа поперечного перерізу наплавленого металу визначається:

$$F_n = \frac{\alpha_n I_{зв}}{\gamma V_{зв} 100}, \text{ (см}^2\text{)} \quad (12)$$

Для дугового зварювання постійним струмом в захисних газах і під флюсом електродом, що плавиться використовуються зварювальні випрямлячі (табл. 8).

Технічна характеристика зварювальних випрямлячів

Тип	Напруга, В		зварювальний струм, А	
	живильної мережі	Робоча	Номінальний	межа регулювання
ВДГ-301	380	15...32	300	50...300
ВКС-500	380; 220	40	500	60...550
ВДУ-504	380; 220	72...76	500	100...500

2.3. Порядок виконання роботи

1. Описати сутність процесу ручного дугового та автоматичного зварювання в захисних газах або під шаром флюсу заданої деталі для зазначеного варіанта з табл. 9.

2. Зарисувати ескіз деталі.

3. Визначити, вид з'єднання.

4. Охарактеризуйте зварений шов за такими ознаками: по розташуванню щодо напрямлення навантаження по положенню в просторі; за формою зовнішньої поверхні; по ширині; за кількістю шарів або проходів; за призначенням.

5. Вибрати діаметр і марку електрода або електродного дроту.

6. Розрахувати параметри режиму зазначеного виду зварювання.

7. Вибрати джерело живлення, враховуючи умови проведення зварювальних робіт, режимів зварювання та обраних електродів.

8. Оформлення звіту.

Варіанти завдань

№ варіанта	Номер рисунка	Спосіб дугового зварювання	Подача електроенергії на будівельний майданчик	Довжина шва $l_{шва}$, мм
1	4	Ручне	Забезпечено	140
2	5	Ручне	Не забезпечено	1000
3	6	Ручне	Забезпечено	400
4	7	Автоматичне	Забезпечено	1000
5	8	Ручне	Не забезпечено	300
6	9	Автоматичне	Забезпечено	2150
7	10	Автоматичне	Забезпечено	6000
8	11	Ручне	Забезпечено	150
9	12	Автоматичне	Забезпечено	250
10	13	Ручне	Не забезпечено	120
11	14	Автоматичне	Забезпечено	200
12	15	Ручне	Забезпечено	300
13	16	Автоматичне	Забезпечено	450
14	17	Автоматичне	Забезпечено	350
15	18	Ручна	Забезпечено	50
16	19	Ручна	Не забезпечено	1400
17	20	Автоматична	Забезпечено	4000
18	21	Ручна	Забезпечено	180
19	22	Автоматична	Забезпечено	350
20	23	Ручна	Забезпечено	40
21	24	Ручна	Не забезпечено	600
22	14	Ручна	Забезпечено	200
23	7	Ручна	Забезпечено	1000
24	11	Автоматична	Забезпечено	150
25	20	Ручна	Забезпечено	1400

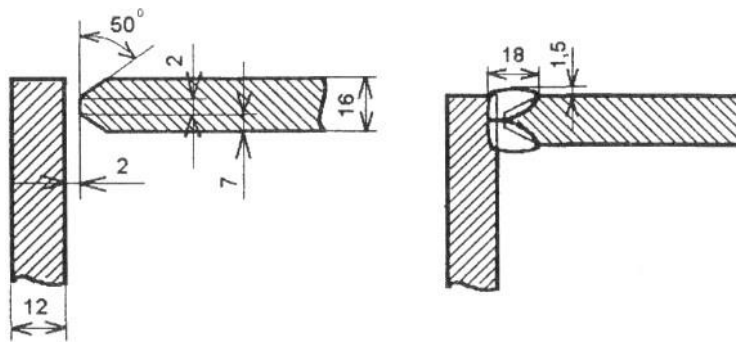


Рис. 4

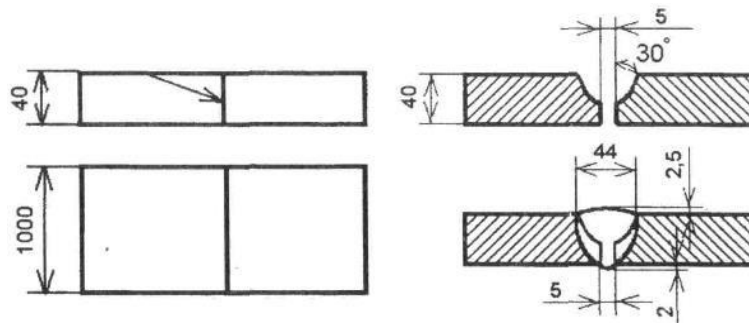


Рис. 5

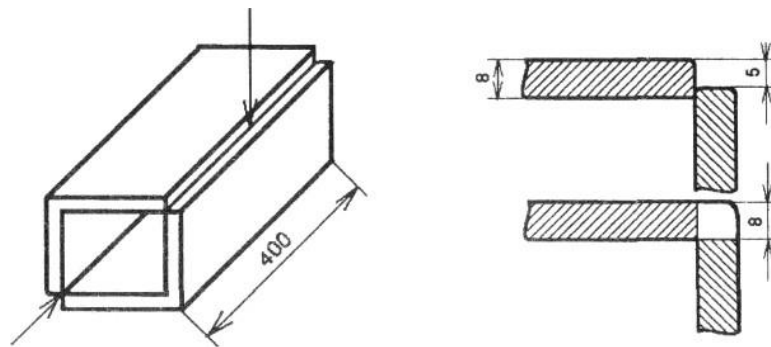


Рис. 6

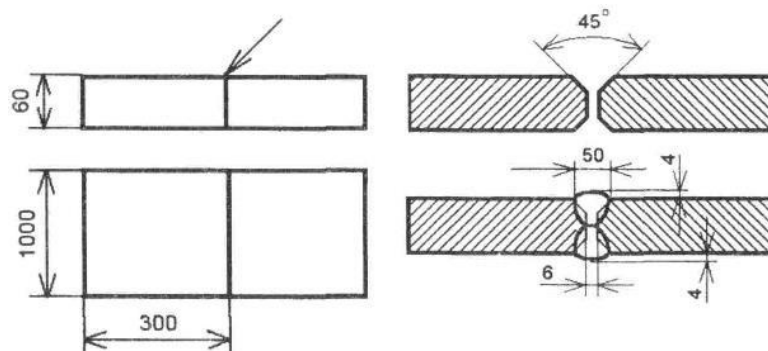


Рис. 7

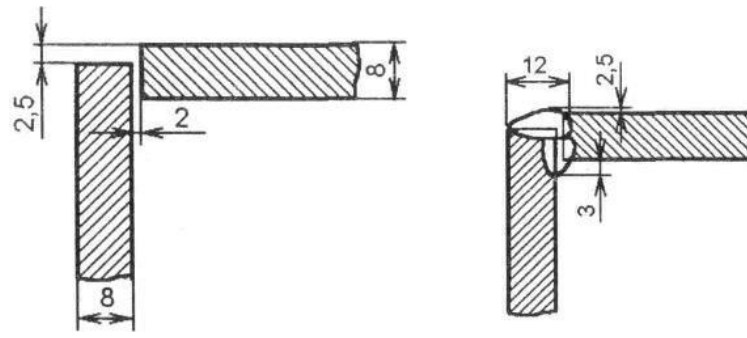


Рис. 8

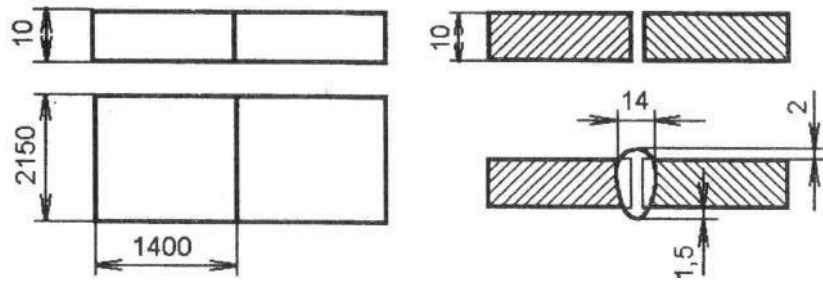


Рис. 9

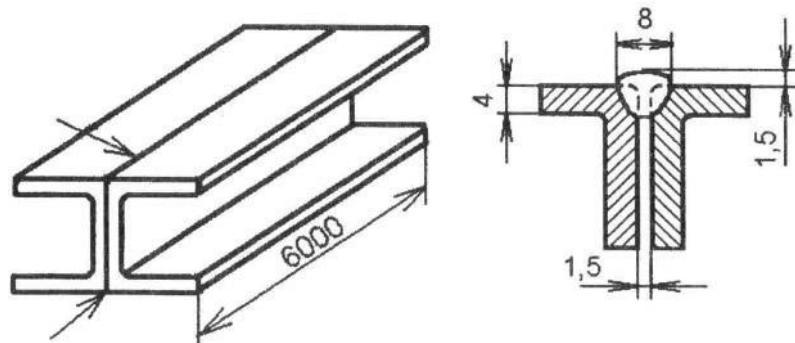


Рис. 10

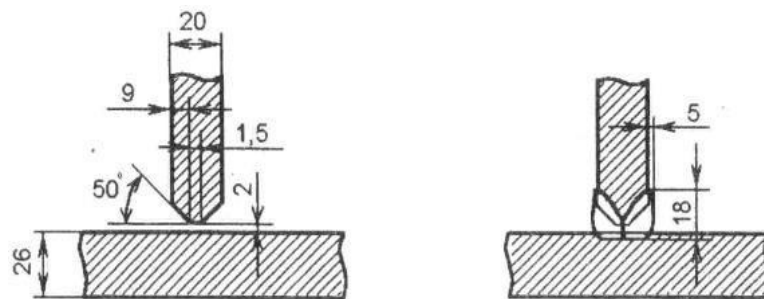


Рис. 11

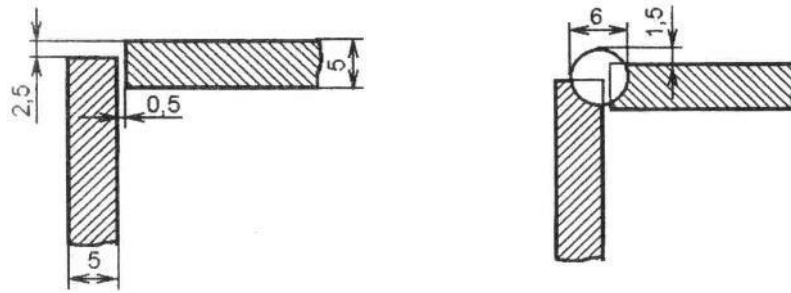


Рис. 12

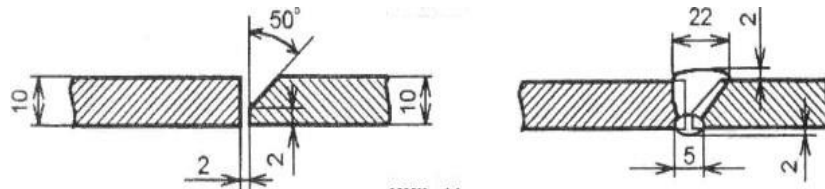


Рис. 13

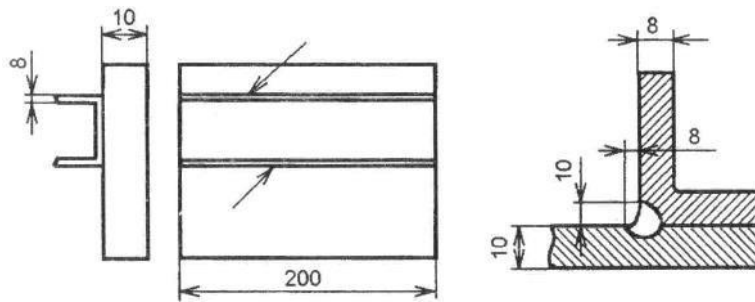


Рис. 14

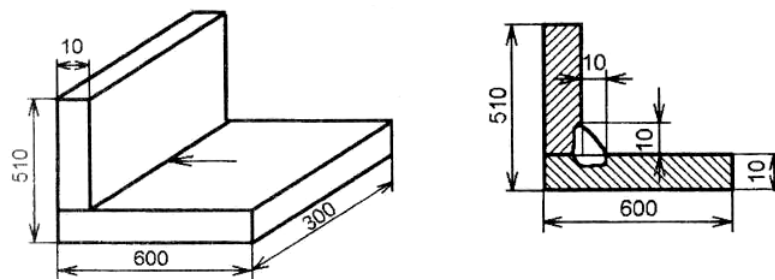


Рис. 15

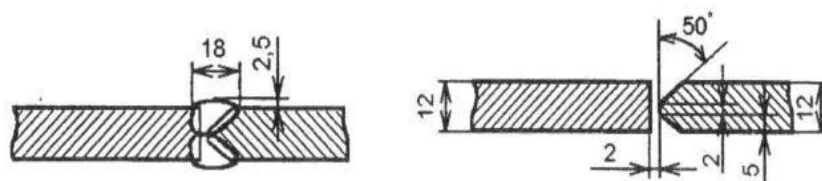


Рис. 16

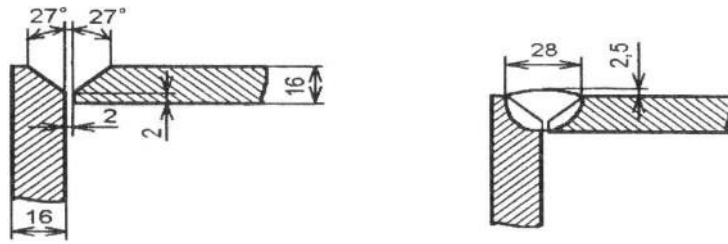


Рис. 17

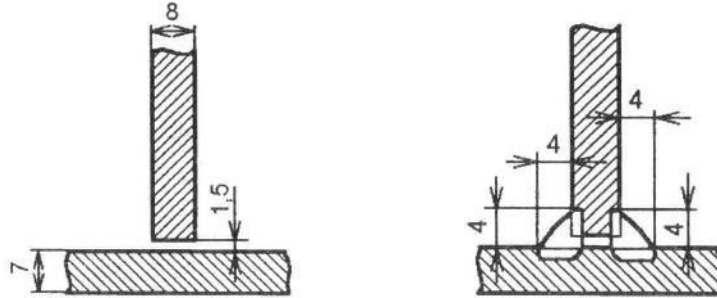


Рис. 18

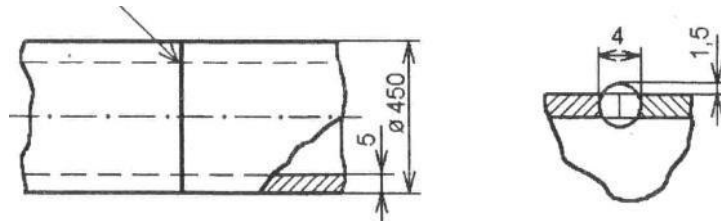


Рис. 19

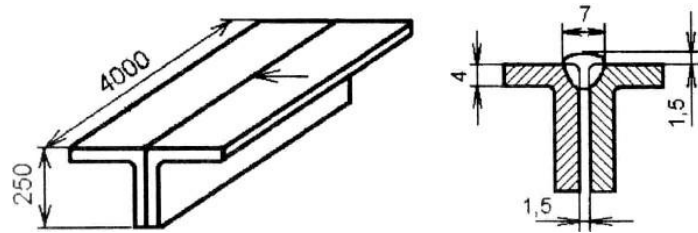


Рис. 20

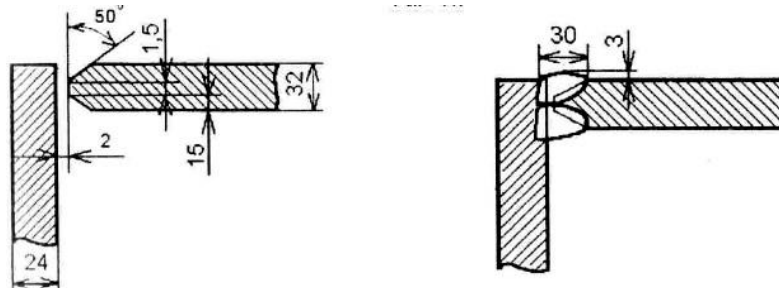


Рис. 21

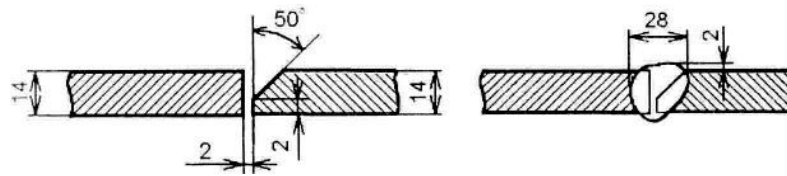


Рис. 22

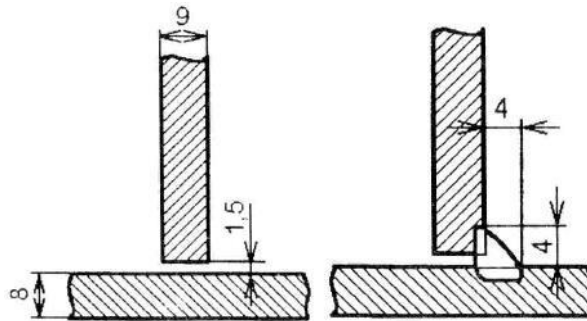


Рис. 23

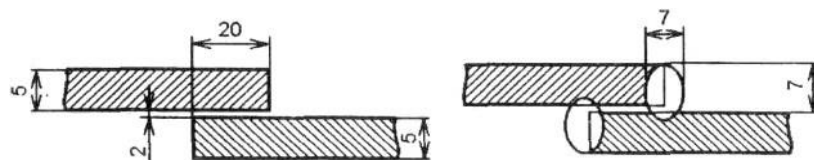


Рис. 24

Контрольні питання для захисту виконаної лабораторної роботи:

1. Перерахуйте основні види зварних з'єднань.
2. Які види зварних з'єднань застосовуються при зварюванні трубопроводів, ферм, стійок і зварних балок?
3. За якими ознаками поділяють зварні шви?
4. У яких випадках виконують одношарові і багат шарові шви?
5. Які поперечні коливальні рухи торця електрода виконують при зварюванні? Мета цих рухів.
6. Які електроди застосовуються при використанні ручної зварки?
7. Перерахуйте основні технологічні параметри режимів ручного дугового зварювання.
8. Назвіть основні марки електродів загального призначення для

зварювання сталей.

9. Залежно від чого вибирають джерело живлення зварювальної дуги.
10. Які джерела живлення застосуються при зварюванні виробів ручним дуговим зварюванням?
11. Сутність автоматичного зварювання під флюсом і в середовищі захисного газу.
12. Перерахуйте основні параметри автоматичного зварювання.
13. Які джерела живлення застосовують при автоматичному зварюванні під флюсом і в середовищі захисного газу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

«БУДОВА ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ»

Мета роботи: Вивчити види зварювання кольорових металів застосовуються в будівництві. На основі загальних закономірностей процесу кристалізації і діаграм стану вивчити формування макро- і мікроструктури зварних з'єднань різнорідних металів.

Прилади і приладдя на одну бригаду:

1. Мікрошліфи зварних з'єднань.
2. Мікроскоп МИМ-7.
3. Каталог мікроструктур зварних з'єднань.

Методика виконання роботи:

3.1. Загальні відомості

Якість зварних з'єднань визначається комплексом механічних і спеціальних властивостей, що є, як правило, структурно-чутливими характеристиками. Тому оцінка структури зварних з'єднань дозволяє в більшості випадків характеризувати їх якість і властивості, а також намітити шляхи управління структурними і фазовими перетвореннями. Це створюється регулюванням параметрів зварювальних процесів з метою отримання конструкцій із заданими експлуатаційними властивостями, що не містять дефектів.

У будівництві різні зварні конструкції виготовляють як з чорних, так і кольорових металів. Кольорові метали та сплави застосовують для огорожувальних, віконних і дверних конструкцій, покрівельних і стінових панелей, стель, перегородок. Метал, що постачається для виготовлення конструкцій очищають від мастила, правлять і обробляють для виготовлення деталей, а кромки готують під зварювання механічним або хімічним способом. Для механічного очищення використовують дискові щітки зі сталевого

нержавіючого дроту, добре знежирені і чисті. Хімічне очищення здійснюється знежиренням протягом 5...8 хв. лужним розчином і травленням протягом 1 хв.

4...5%-вим розчином їдкого натру NaOH, для зварювання елементів і зварювального дроту. Після обробки – промивають водою і сушать.

Зварювання виконують:

– покритими електродами (рис. 1) – застосовують в основному для маловідповідальних конструкцій через неможливість отримати шов, близький за механічними властивостями основного металу;

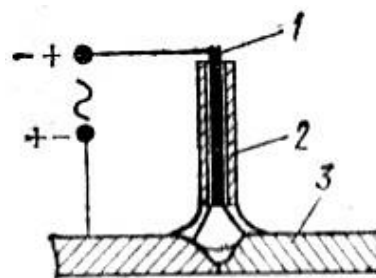


Рис. 1. Ручне зварювання електродом, що плавиться, покритим обмазкою: 1 – стрижень;
2 – обмазка; 3 – основний метал

– вугільними або графітізованими електродами (рис. 2) – шви товщиною до 3 мм зварюють по відбортовці крайок, в інших випадках використовується присадний дріт;

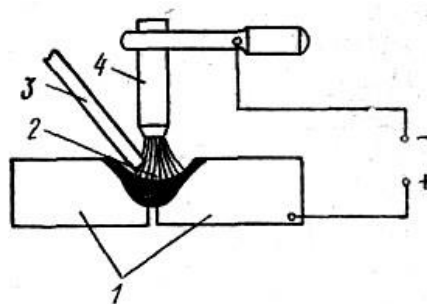


Рис. 2. Ручне зварювання електродом, що не плавиться: 1 – основний метал; 2 – метал шва;
3 – присадний метал; 4 – електрод, що не плавиться

– аргоннодугове зварювання неплавким електродом (рис. 3, б) – забезпечує високу якість зварних з'єднань і не вимагає застосування флюсів і покриттів.

Зварювання можливе у всіх просторових положеннях з присадним або без присадного металу. Зварюють метали товщиною до 10 мм.

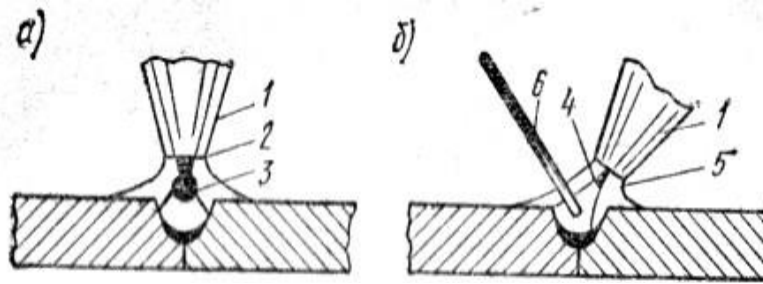


Рис. 3. Ручне дугове зварювання в захисному газі електродом, що плавиться (а), електродом, що не плавиться, з присадним дротом (б): 1 – пальник; 2 – зона зварювання; 3 – електрод, що плавиться; 4 – електрод, що не плавиться; 5 – захисний газ; 6 – присадний метал

При зварюванні плавленням з'єднання деталей здійснюється за рахунок розплавлення кромки зварювальних заготовок, а в разі необхідності – присадочного матеріалу для додаткового заповнення зазору між ними. Розплавлена ділянка з'єднання називається *зварювальна ванна (зона шва)*.

Зона основного металу, прилеглого до шву, в якій в результаті нагрівання і охолодження відбувається зміна структури і властивостей, називається *зоною термічного впливу*.

Для вивчення будови зварного з'єднання застосовують макроскопічний і мікроскопічний аналіз.

3.1.1. Макроструктура зварного з'єднання

При зварюванні плавленням характерно отримання зварного з'єднання, що складається з трьох зон:

- а) металу шва;
- б) металу зони сплавлення;
- в) зони термічного впливу (зони теплового впливу) (рис. 4.)

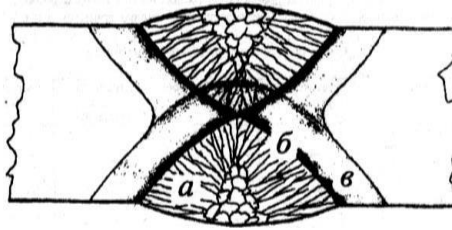


Рис. 4. Зони зварного з'єднання: а – наплавлений метал шва (стовпчасті і рівноосні кристали); б – метал зони сплавлення; в – зона термічного впливу (зона теплового впливу)

При впливі зварювальної дуги на основний метал відбувається оплавлення крайок. На оплавленій частині металу зерна, утворюються кристали, які служать основою для кристалізації зварного шва (рис. 5, а). Від оплавлених кромки перпендикулярно поверхні відводу теплоти ростуть стовпчасті кристали (рис. 5, б). Потім в невеликій зоні центральної і верхньої частини шва утворюються рівновісні кристали (рис. 5, в).

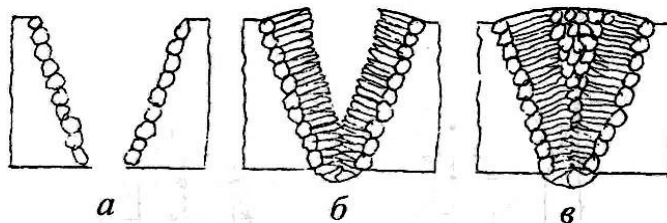


Рис. 5. Формування макроструктури зварного з'єднання: а – оплавлені кристали; б – стовпчасті кристали; в – рівновісні кристали

3.1.2. Формування мікроструктури зварних з'єднань

Основними труднощами, що виникають при зварюванні різнорідних кольорових металів, є їх металургійна несумісність, велика різниця температур плавлення і кипіння, відмінність в будові, коефіцієнтах лінійного розширення, тепло- і електропровідності, в окисленні наплавленого металу. Важливий вплив на зварюваність різнорідних металів надає взаємна розчинність металів як в рідкому, так і в твердому стані, а також утворення крихких хімічних сполук – інтерметалідів. Характер взаємодії між двома матеріалами визначають за відповідними діаграмами стану.

Метали, необмежено розчинні в рідкому і твердому станах, легко

утворюють зварні з'єднання (рис. 6)

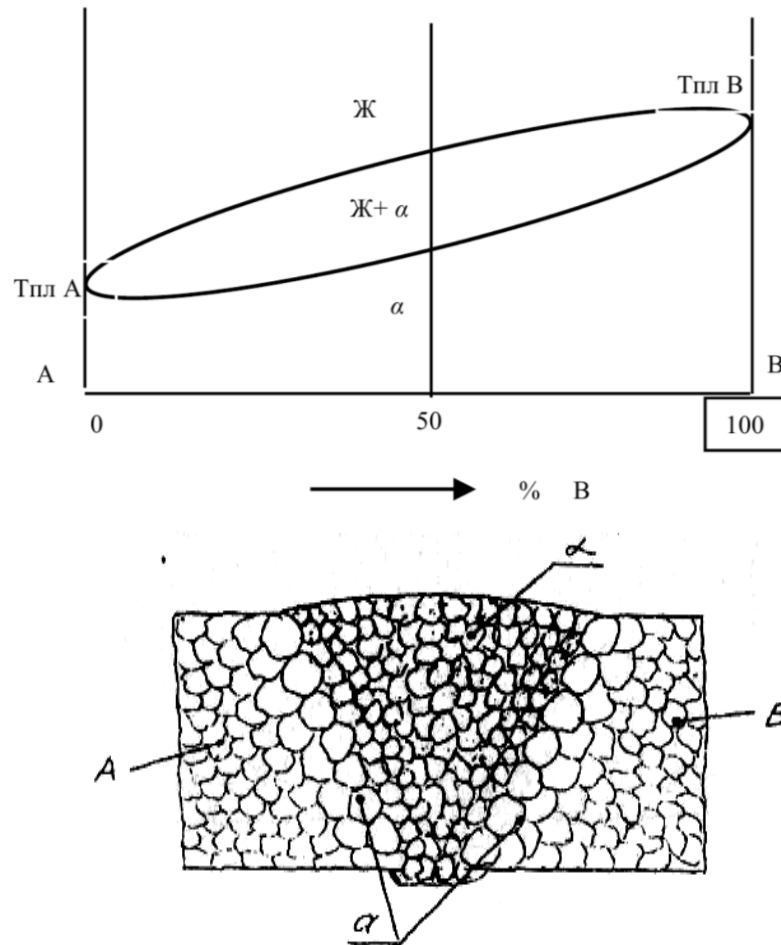


Рис. 6. Діаграма стану $A-B$ (компоненти необмежено розчинні в твердому стані) і мікроструктура зварного з'єднання: a – великі зерна в зоні перегріву

При дуговому зварюванні електродом, що плавиться, зони розплавлення і змішування, металів, що зварюються «А» і «В» в рідкому стані являється досить однорідним розчином, можливо, з дещо більшою концентрацією металу, що сплавляється у кромки. Після кристалізації, зварний шов – це безперервний ряд твердих розчинів змінного складу.

Метали, необмежено розчинні в рідкому стані, і мають обмежену розчинність один одного в твердому стані на крайках утворюють тверді розчини: $\alpha(B \rightarrow A)$ і $\beta(A \rightarrow B)$. У міру віддалення від крайок кристалізуються зони приблизною концентрації I і II (рис. 7). В зоні кристалізації I , між точками ліквідус (т. 1) і солідус (т. 2), виділяється α – твердий розчин, при температурі т. 2

відбувається евтектична реакція: рідина кристалізується в механічну рівномірну суміш двох твердих розчинів: $Ж \rightarrow (\alpha + \beta)$ евтектика. Аналогічні перетворення відбудуться в зоні кристалізації II з тією різницею, що між точками ліквідус і солідус виділяється з рідини β -твердий розчин. У міру віддалення від крайок, кількість евтектики збільшується аж до чисто евтектичної зони в проміжній області.

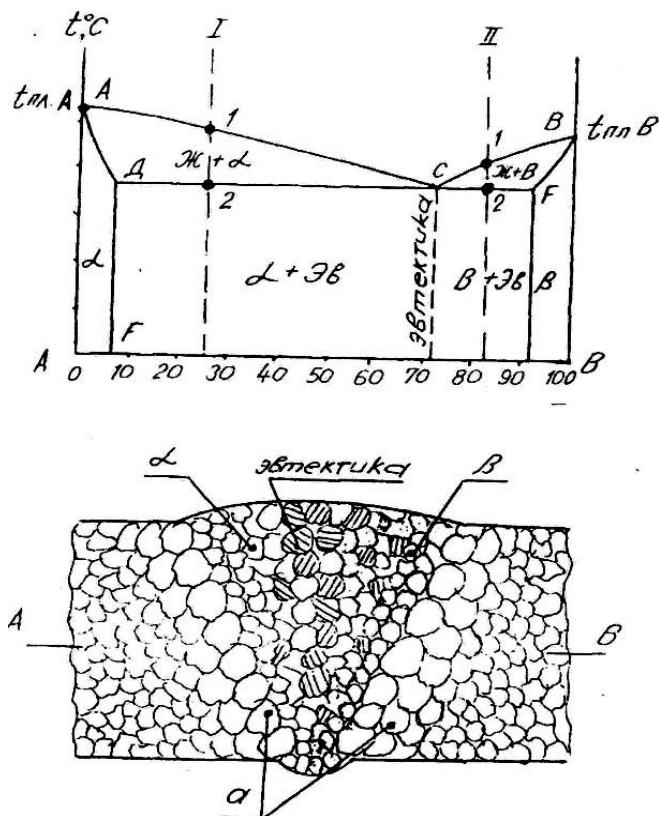


Рис. 7. Діаграма стану A-B (компоненти обмежено розчинні у твердому стані) та мікроструктура зварного з'єднання

Метали, необмежено розчинні в рідкому стані, а в твердому – нерозчинні, формують структуру зварного з'єднання наступним чином: в зварювальній ванні знаходиться рідкий розчин металів A і B. У кромки металу A він збагачений металом A, у кромки B – металом B. Тому кристалізація рідкого розчину у крайок відповідає, приблизно, складам I і II (рис. 8). При охолодженні зони складу I до температури т. ліквідус (т. 1), з рідкої фази починається виділення кристалів A, триваюче до температури солідус (т. 2), яка є температурою евтектичного

перетворення: залишок рідкої фази кристалізується в рівномірну механічну суміш двох фаз A та B , що називають *евтектикою*: $Ж \rightarrow (A+B)$ евтектика. Аналогічно відбудеться кристалізація у кромки B , з тією різницею, що першими утворюються кристали чистого металу B . Між цими зонами кількість евтектики поступово збільшується, і десь в проміжних ділянках утворюється чисто евтектична зона.

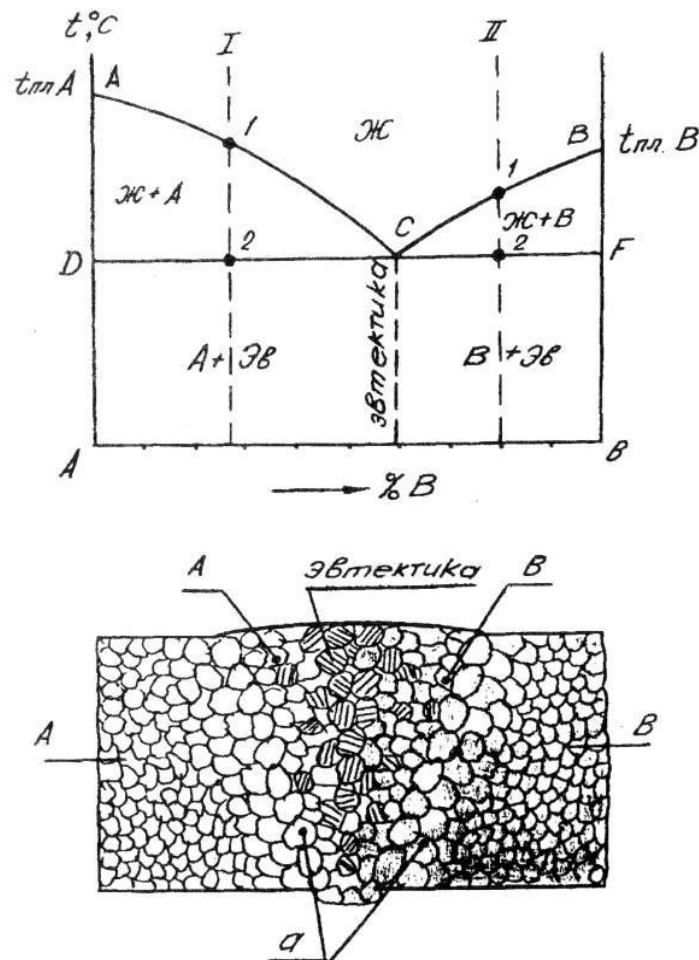


Рис. 8. Діаграма стану $A-B$ (компоненти в твердому стані нерозчинні) та мікроструктура зварного з'єднання

3.2. Порядок виконання і складання звіту

1. Вивчити макроструктуру зварного з'єднання, схематично зобразити її і вказати найменування зон (рис. 4).
2. Відповідно до заданого варіанту намалювати діаграму стану і на її основі мікроструктуру зварного з'єднання. Вказати всі фази і структуру, дати їх характеристику (табл. 1).

Варіанти завдання

№ п/п	Метали, що сплавлюють	№ рис.	№ п/п	Метали, що сплавлюють	№ рис.
1	Ni-Cu	9	9	Au-Ag	9
2	Ni-Au	9	10	Pb-Sn	10
3	Ni-Pt	9	11	Sn-Bi	10
4	Mo-V	9	12	Cd-Zn	10
5	W-Vo	9	13	Cu-Ag	10
6	Vo-Cr	9	14	Sn-Zn	11
7	Au-Ni	9	15	Pb-Sn	11
8	Fu-Pd	9			

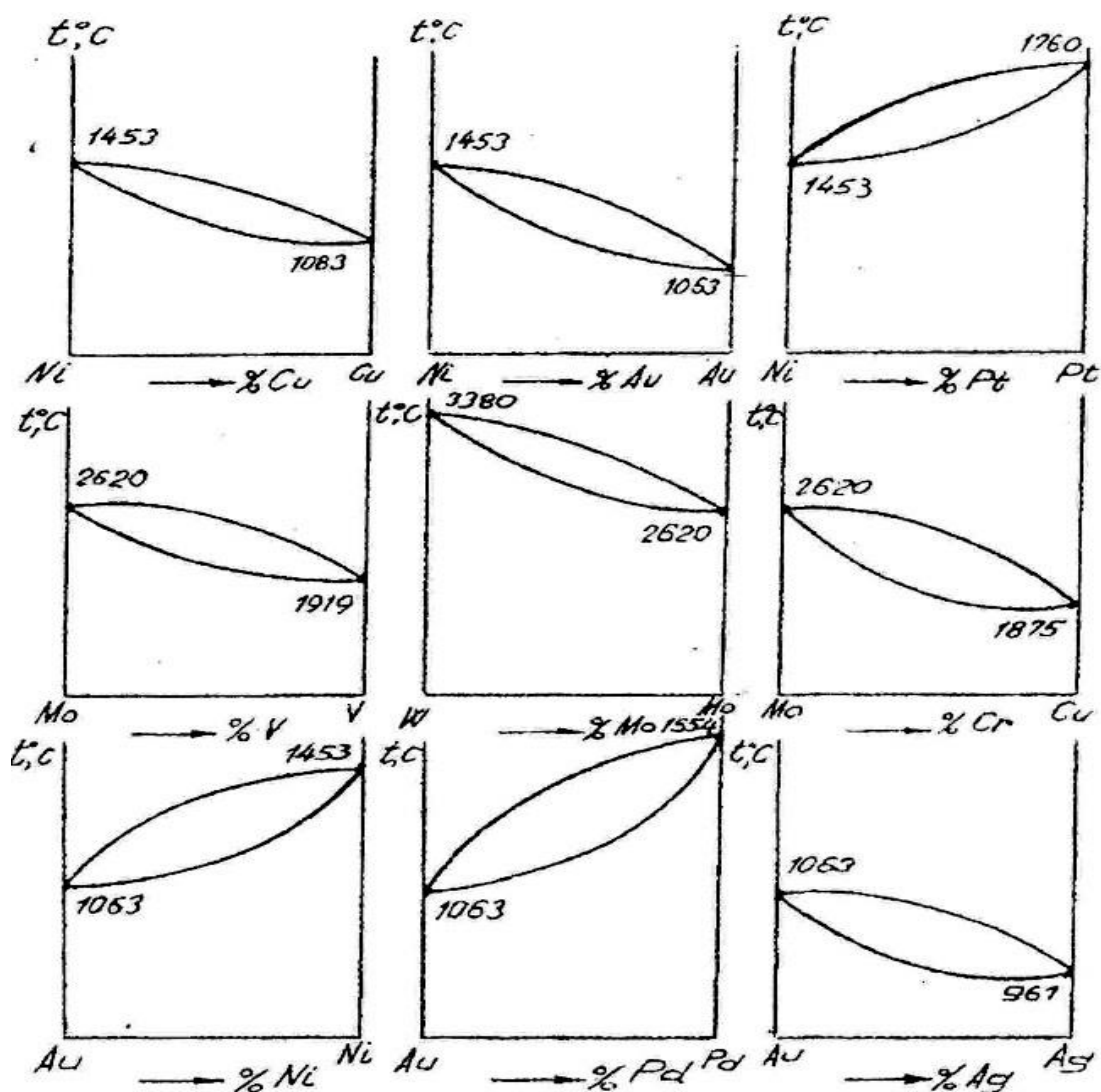


Рис. 9. Діаграма стану сплавів з необмеженою розчинністю компонентів в твердому стані

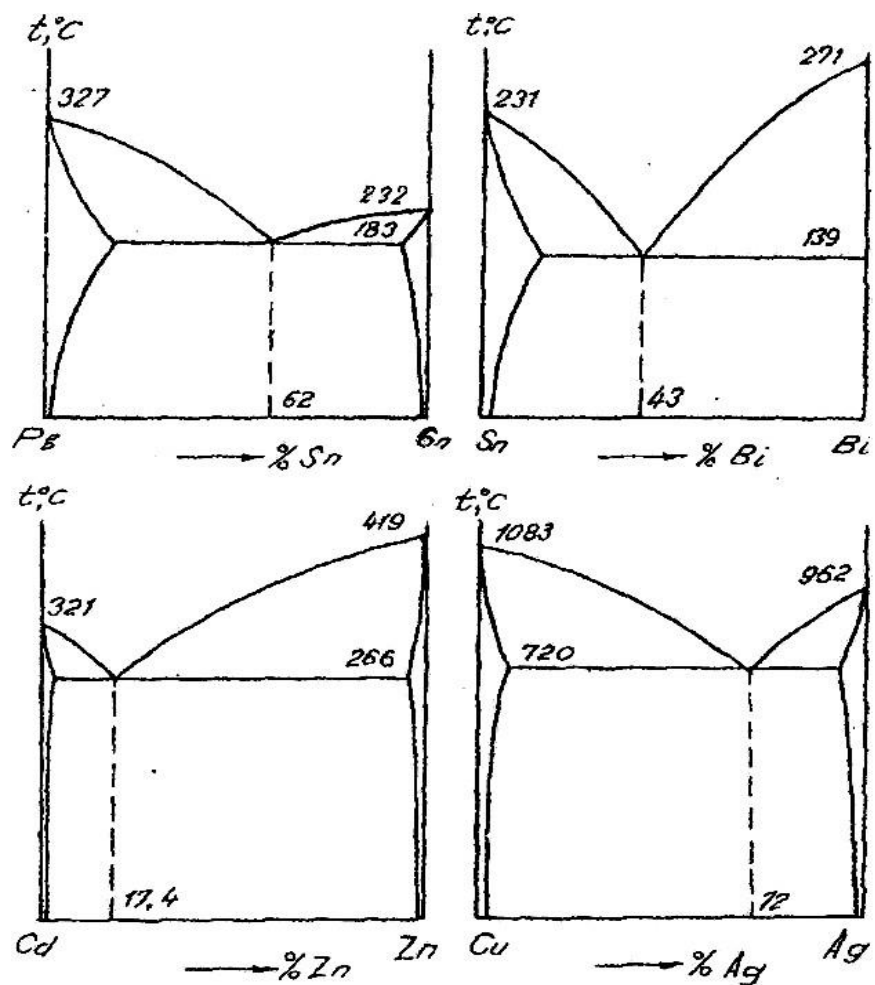


Рис. 10. Діаграма стану сплавів з обмеженою розчинністю компонентів в твердому стані

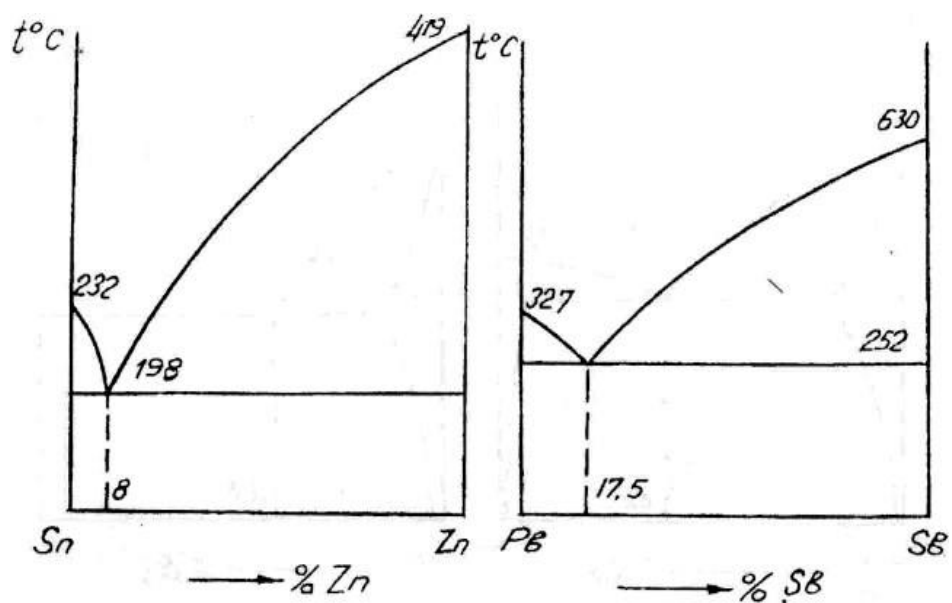


Рис. 11. Діаграма стану сплавів, компоненти яких нерозчинні в твердому стані

Контрольні питання для захисту виконаної лабораторної роботи:

1. Етапи підготовки металу під зварювання.
2. Якими способами виконують зварювання кольорових металів?
3. Що називають зварювальною ванною і зоною термічного впливу?
4. Що таке макроструктура?
5. Що таке мікроструктура?
6. Основні зони зварного з'єднання?
7. Етапи формування макроструктури зварного з'єднання.
8. Формування мікроструктури зварного з'єднання при необмеженій розчинності компонентів в твердому стані.
9. Формування мікроструктури зварного з'єднання при обмеженій розчинності компонентів в твердому стані.
10. Формування мікроструктури зварного з'єднання при відсутності розчинності компонентів в твердому стані.
11. Що таке твердий розчин?
12. Що таке евтектика?
13. У чому полягає евтектична реакція?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

«МІКРОСТРУКТУРИ ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ І ЧАВУНІВ. ЗВАРЮВАНІСТЬ СТАЛІ І ЧАВУНУ»

Мета роботи: вивчити будову вуглецевих сталей і чавунів в рівноважному стані, встановити залежність між їх будовою та здатністю до зварювання.

Прилади і приладдя на одну бригаду:

1. Набір мікрошліфів сталей і чавунів.
2. Мікроскоп МИМ-7.
3. Каталог мікроструктур сталей і чавунів.

Методика виконання роботи:

4.1. Загальні відомості

Сталі це сплави заліза з вуглецем, що містять до 2,14% С. Вуглецеві сталі відносяться до перлітного класу і діляться на: *доевтектоїдні* ($C < 0,8\%$), *евтектоїдні* ($C = 0,8\%$) і *заевтектоїдні* ($C > 0,8\%$).

Мікроструктура і фазовий склад сталей залежать від вмісту вуглецю. Мікроструктура доевтектоїдних сталей складається з фериту (світлий) і перліту (темний). Чим більше вуглецю в сталі, тим більше перліту. Евтектоїдна сталь має структуру перліту. Заевтектоїдні сталі складаються з перліту і вторинного цементиту, який виділяється у вигляді сітки по границях зерен.

Фази і структури в сталях:

аустеніт (*A*) – твердий розчин впровадження вуглецю в Fe_γ (ГЦК); *ферит* (*F*) – твердий розчин впровадження вуглецю в Fe_α (ОЦК); *цементит* (*C*) – хімічна сполука заліза з вуглецем – карбід заліза Fe_3C ;

перліт (*P*) – механічна суміш фериту і цементиту, що утворюється в результаті евтектоїдного перетворення.

За мікроструктурою можна визначити вміст вуглецю в сталі. Для визначення

вмісту вуглецю у доевтектоїдних і евтектоїдних сталях визначається площа, зайнята перлітом, по відношенню до загальної видимої в мікроскоп площі мікрошліфа, і отримана величина помножується на 0,8, тобто вміст вуглецю в перліті, %:

$$Q_c = \frac{П\% \cdot 0,8}{100} \quad (1)$$

У заевтектоїдної сталі визначається сумарний вміст вуглецю в перліті і вторинному цементиті у відсотках, тому що цементит є високовуглецеву фазою (містить 6,67% С):

$$Q_c = \frac{П\% \cdot 0,8}{100} + \frac{6,67 \cdot Ц\%}{100} \quad (2)$$

Зварюваність сталей в залежності від хімічного складу

Зварюваністю називається властивість металу утворювати при встановленій технології зварювання з'єднання (без тріщин та інших дефектів, що мають фізичні, механічні та інші властивості, близькі до властивостей основного металу) відповідає вимогам, обумовленим конструкцією і експлуатацією виробу (ДСТУ 3761.2-98 Зварювання та споріднені процеси. Частина 2. Процеси зварювання та паяння. Терміни та визначення).

Зварюваність різних металів та їх сплавів різна. Зварюваність характеризується і здатністю збереження звареним з'єднанням спеціальних фізичних, механічних властивостей основного металу.

Ступінь зварюваності встановлюється більшою чи меншою зміною властивостей зварного з'єднання по відношенню до основного металу. Ступінь зварюваності сплаву вважається вищою, якщо для його з'єднання можна застосувати багато видів зварювання і різні режими при кожному виді (до таких сплавів відносяться низьковуглецеві сталі).

Найбільший вплив на зварюваність сталі чинить кількість вуглецю що міститься в ній. За зварюваністю вуглецеві і низьколеговані сталі умовно поділяють на чотири групи:

I – добре зварюються;

II – задовільно зварюються;

III – обмежено зварюються;

IV – погано зварюються.

До групи I відносять сталі з вмістом вуглецю до 0,25%.

До групи II відносять сталі з вмістом вуглецю 0,25...0,35%. До групи III відносять сталі, що містять 0,35...0,5% вуглецю.

До групи IV відносять сталі з високим вмістом вуглецю (більше 0,5%).

Високовуглецеві інструментальні сталі від У7 (0,7% вуглецю) до У13 (1,3% вуглецю) мають досить низьку здатність до зварювання, утворюють зварні з'єднання поганої якості; практично ці сталі не зварюють.

Марки, властивості вуглецевих сталей наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Механічні властивості вуглецевих сталей (прокат сортовий гарячекатаний)

ДСТУ 7809:2015

Марки сталей	Вміст вуглецю	Механічні властивості не менше			
		σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ , %	ψ , %
10	0,07...0,14	330	205	31	55
15	0,12...0,19	370	225	27	55
20	0,17...0,24	410	245	25	55
24	0,22...0,30	450	275	23	50
30	0,27...0,35	490	295	21	50
35	0,32...0,40	530	315	21	45
40	0,37...0,45	570	335	19	45
45	0,42...0,50	600	355	16	40
50	0,47...0,55	630	375	14	40
55	0,52...0,60	650	380	13	35
60	0,57...0,65	680	400	12	35

65	0,62...0,70	710	420	10	30
70	0,67...0,75	730	430	9	30
75	0,72...0,80	830	500	9	30
80	0,77...0,85	900	540	8	29
85	0,82...0,90	940	560	7	27
У9	0,85...0,94	980	580	6	27
У10	0,95...1,04	960	570	5	26
У11	1,05...1,14	900	530	4	25
У12	1,15...1,24	500	500	4	25

Чавунами називають сплави заліза з вуглецем, що містять 2,14...6,67% С. Практичне застосування знаходять чавуни з концентрацією вуглецю не більше 4,0%, так як при великому вмісті вуглецю істотно знижуються їх механічні властивості. У технічних чавунах, крім заліза і вуглецю, присутні неминучі домішки: кремній, марганець, сірка і фосфор. Залежно від вмісту домішок, швидкості охолодження і подальшої обробки отримують чавуни: білі, сірі, ковкі і високоміцні. Чавун, як конструкційний матеріал, знайшов широке застосування для виготовлення відливок завдяки гарному стану механічних і технологічних властивостей, а також досить низьку вартість.

Білий чавун. Білі чавуни отримують або безпосередньо плавкою в доменній печі, вагранці, або з додатковим нагріванням в рідкому стані в електропечі. У білих чавунах весь вуглець знаходиться у зв'язаному стані у вигляді цементиту. Згідно діаграми залізо-цементит – білі чавуни в залежності від вмісту вуглецю поділяються на: доєвтектичні (2,14...4,3% С), евтектичні (4,3% С) і заєвтектичні (4,3. 6,67% С).

Схема структури білого доєвтектичного чавуну показана на рис. 1, а. Темні великі ділянки – перліт. Ділянки з темними вкрапленнями – ледебурит. Вторинний цементит знаходиться у вигляді світлих включень і голок а місцями зливається з цементитом ледебуриту (П+Ц).

Мікроструктура білого евтектичного чавуну складається з ледебуриту (рис. 1, б) і являє собою механічну суміш перліту і цементиту. Перліт в ледебуриті темний, а цементит – світлий.

Мікроструктура білого заевтектичного чавуну при кімнатній, температурі складається з первинного цементиту і ледебуриту (рис. 1, в). Великі світлі голки – первинний цементит. Ділянки з точковими темними вкрапленнями – ледебурит.

Білі чавуни дуже тверді і крихкі, погано обробляються ріжучими інструментами і тому деталі з нього виготовляються тільки литвом і обробляються абразивами. Крім цього, білі чавуни йдуть на переплавку в сталь і називаються передільними чавунами. Частина білого чавуну йде на отримання ковкого чавуну.

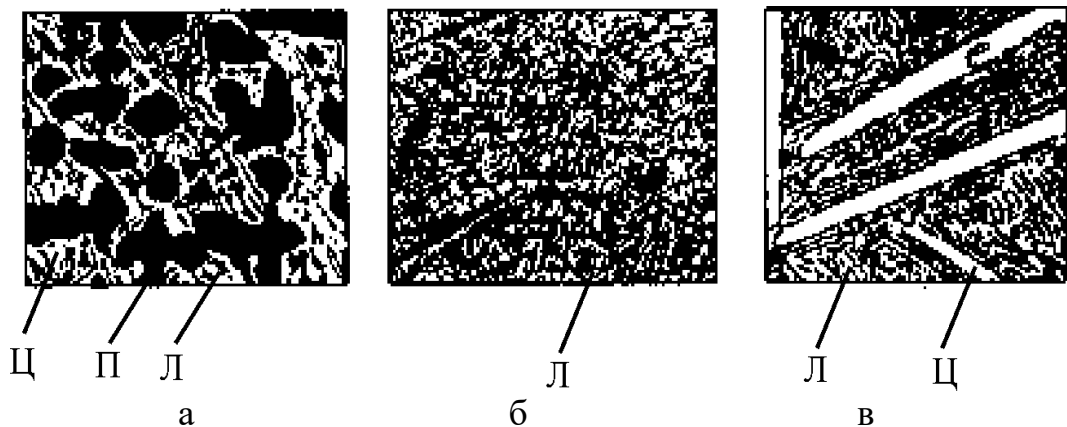


Рис. 1. Мікроструктури білих чавунів:

а – доевтектичний білий чавун (П+Л+Ц_п); б – евтектичний білий чавун (Л); в – заевтектичний білий чавун (Л+Ц)

Чавуни, в яких велика частина вуглецю знаходиться у вільному стані у вигляді графіту, називаються сірими, високоміцними і ковкими. Відрізняються вони між собою формою графітних включень (рис. 2).

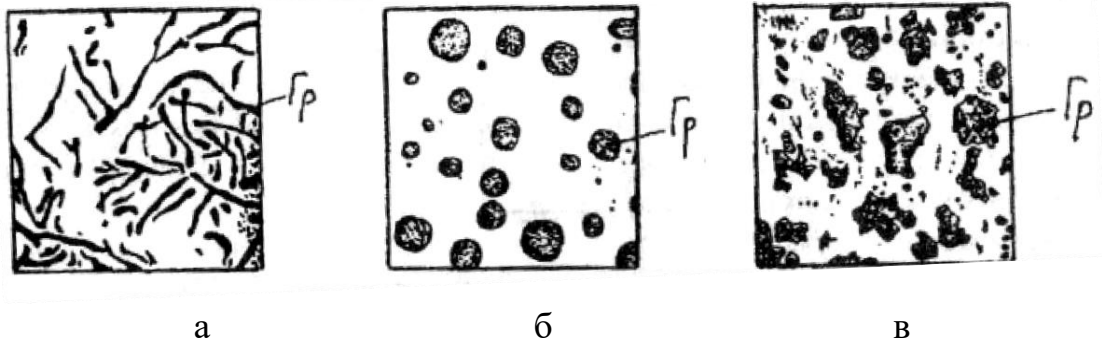


Рис. 2. Форма графітних включень:

а – графіт пластинчастий (сірий чавун); б – графіт кулястий (високоміцний чавун); в – графіт пластівчастий (ковкий чавун)

Сірий чавун. У сірих чавунах графіт пластинчастої форми (рис. 2, а). Структура сірого чавуну залежить від хімічного складу (вмісту вуглецю і кремнію) і швидкості охолодження. Процес кристалізації графіту в сплавах заліза з вуглецем називається *графітизацією*.

Елементи, що сприяють графітизації, називають *графітизуючі*. До них відносяться: кремній, алюміній, нікель, мідь та ін. Для сірого чавуну найбільш важливим елементом є кремній. При введенні в сплав кремнію близько 5% цементит сірого чавуну практично повністю розпадається і утворюється структура з пластичної феритної основи і включень графіту (рис. 3, а). Зі зменшенням вмісту кремнію цементит, що входить до складу перліту, частково розпадається і утворюється структура з включеннями графіту (рис. 3, а). При подальшому зменшенні вмісту кремнію формується структура сірого чавуну на перлітній основі з включеннями графіту (рис. 3, а).

Механічні властивості сірого чавуну залежать від властивостей металевої основи, кількості, геометричних параметрів та характеру розподілу включень графіту. Чим менше включень графіту і чим вони дрібніші, тим вище міцність чавуну. Металева основа в сірому чавуні забезпечує найбільшу міцність і зносостійкість, якщо вона має перлітну структуру. Найменшою міцністю володіє сірий чавун з феритною основою.

Застосовуються феритні і ферито-перлітні сірі чавуни для малонавантажених

деталей сільськогосподарських машин, автомобілів, тракторів. Чавуни з перлітною основою, що володіють високою здатністю гасити механічні коливання, застосовуються для виливків станин верстатів і механізмів, дизельних циліндрів, деталей блоку двигунів внутрішнього згорання.

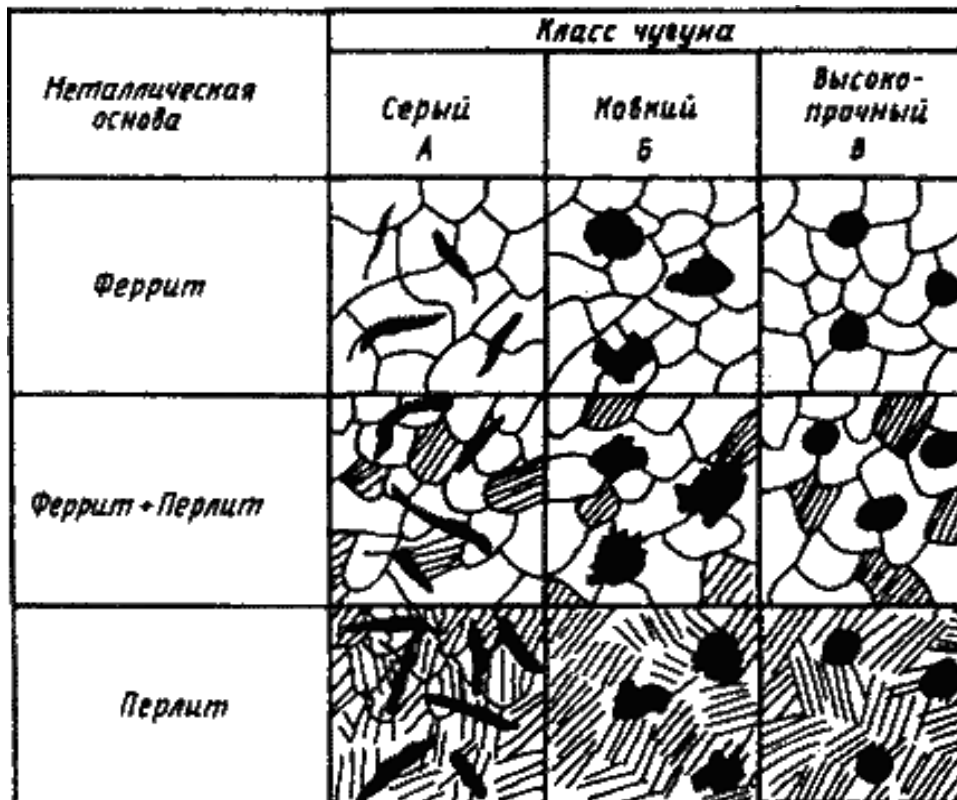


Рис. 3. Схеми мікроструктур чавуну в залежності від металевої основи і форми графітових включень

Маркуються сірі чавуни літерами СЧ, після букв слідує цифри, що показують мінімальне значення тимчасового опору чавуну при розтягуванні в МПа (число після букв помножують на 10). Марки, властивості і структури сірих чавунів наведені в табл. 2.

Високоміцний чавун. Високоміцний чавун отримують за допомогою введення в рідкий чавун перед розливанням невеликих добавок магнію (0,3...0,7%) або церію (до 0,5%). За змістом інших елементів високоміцний чавун не відрізняється від звичайного сірого чавуну. Після обробки чавуну магнієм або церієм графіт набуває кулястої форми (рис. 2, б). Кулястий графіт, що має мінімальну поверхню при заданому об'ємі, значно менше послаблює металеву

основу чавуну, ніж пластинчастий графіт. На відміну від пластинчастого кулястий графіт не є активним концентратором напружень.

Таблиця 2

Механічні властивості і мікроструктура чавунів (сірий чавун ДСТУ 8833:2019, високоміцний чавун ДСТУ 3925-99, ковкий чавун ДСТУ 8833:2019)

Марка	σ_B	$\sigma_{0,2}$	$\delta, \%$	НВ	Орієнтовна мікроструктура
	Н/мм ²				
СЧ 10	100	-	-	120...205	Ферит + Графіт
СЧ 20	150	-	-	130...241	Ферит + Перліт + Графіт
СЧ 25	200	-		143...255	Перліт + Графіт
ВЧ 35	350	220	22	140...170	Ферит + Графіт
ВЧ 45	450	310	10	140...225	Ферит + Перліт + Графіт
ВЧ 50	500	320	7	153...245	Перліт + Графіт
КЧ 30-6	294	-	6	100...163	Ферит + Графіт
КЧ 45-7	441	-	72	150...207	Ферит + Перліт + Графіт
КЧ 60-3	588	-	3	200...269	Перліт + Графіт

Металева основа (рис. 3, в) високоміцних чавунів також може бути феритною, феритно-перлітною і перлітною.

Чавуни з кулястою формою графіту мають більш високу міцність і пластичність в порівнянні з сірим чавуном, не поступаються литій вуглецевій сталі, мають хороші ливарні властивості і обробляються різанням, високу зносостійкість, добре гасять вібрації.

Високоміцні чавуни широко застосовуються в якості деталей відповідального призначення в машинобудуванні, авто- і тракторобудуванні.

Маркуються високоміцні чавуни літерами ВЧ після букв слідує цифри, що показують мінімальне значення тимчасового опору чавуну при розтягуванні в

МПа (число після букв помножують на 10). Марки, властивості і структури високоміцких чавунів наведені в табл. 2

Ковкий чавун. Ковкий чавун – умовна назва більш пластичного чавуну в порівнянні з сірим. Ковкий чавун ніколи не кують. Ковкий чавун отримують шляхом спеціального графітуючого відпалу (томління) білих доєвтектичних чавунів, що містять від 2,2% до 3,2% С. При відпалі цементит білого чавуну розпадається з утворенням графіту пластівчастої форми (рис. 2, в). Температура графітуючого відпалу 950...1000°С при витримці до 40 год.

Регулюючи швидкість охолодження і тривалість витримки в температурній області евтектоїдного перетворення, можна отримати ковкий чавун (рис. 3, б) з феритною, ферито-перлітною і перлітною основою. Найбільшою міцністю володіє перлітний ковкий чавун, а найбільшою пластичністю – феритний.

4.2. Режими і прийоми зварювання чавуну

Зварюванням виправляють чавунне лиття як до механічної обробки, так і в процесі її, а також деталі, які були в експлуатації.

Зварювання чавуну ускладнене з наступних причин: відбілювання чавуну в місці зварювання, тобто утворення твердої структури (цементиту), що не піддається механічній обробці звичайним ріжучим інструментом; низька пластичність при нерівномірному нагріванні, що викликає тріщини в зоні зварювання; неможливість зварювання в інших положеннях, крім нижнього, так як чавун не має пластичного стану при переході з твердого в рідкий; утворення пористості за рахунок великої кількості оксиду вуглецю і швидкого твердіння розплавленого металу; утворення плівки оксидів кремнію на поверхні ванни, що мають високу температуру плавлення.

Задовільно зварюються сірі чавуни з дрібнозернистою перлітною структурою і дрібними графітовими включеннями. Решта чавунів погано зварюються. Майже не піддаються зварюванню чавунні деталі, що працюють довгий час при температурі 300...400°С і вище або тривалий час піддавалися дії паливно-

мастильних матеріалів.

Різновиди дугового зварювання чавуну.

1. Гаряче зварювання з попереднім і супутнім підігрівом виробу. Зварювання виконують чавунним електродом з покриттям або вугільним електродом з чавунним присадним прутком. Нагрівання здійснюється в газових або електричних печах до 400...450°C. Місце, яке підлягає зварюванню, обробляють і заформовують (для утримання розплавленого металу).

2. Холодне зварювання без попереднього підігріву виробу. Сварка виконується електродами УОНІ-13/45 і УОНІ-13/55, а також електродами інших марок зі сталевими і мідно-нікелевими стрижнями.

4. 3. Порядок виконання роботи та складання звіту

1. Вивчити мікроструктуру вуглецевих сталей в рівноважному стані.
2. Схематично зобразити спостережувану в мікроскоп мікроструктуру в квадратах 30×30 мм.
3. Визначити по мікроструктурі за допомогою правила відрізків вміст вуглецю в кожному зразку сталі.
4. Під кожним рисунком вказати мікроструктуру, вміст вуглецю, фазовий склад, передбачувану марку сталі, її клас.
5. Визначити зварюваність вуглецевих сталей в залежності від вмісту вуглецю.
6. Вивчити під мікроскопом мікроструктуру білого чавуну і зобразити її в квадраті 30×30 мм. Вказати структуру і структурний клас зображеного чавуну.
7. Вивчити під мікроскопом мікроструктури сірих, високоміцних і ковких чавунів до і після травлення. На мікрошліфі до травлення визначити форму графітних включень і вид чавуну. На мікрошліфі після травлення дослідити будову металевої основи. Результати досліджень представити у вигляді рисунків (квадрати 30×30 мм).
8. Визначити зварюваність чавунів в залежності від структури і величини

графітових включень.

Контрольні питання для захисту виконаної лабораторної роботи:

1. В якій концентраційній області діаграми Fe-Fe₃C знаходяться сплави, які називаються сталями?
2. Що таке ферит, аустеніт, перліт?
3. Як визначити вміст вуглецю в сталі по мікроструктурі?
5. Як маркуються вуглецеві сталі звичайної якості, якісні конструкційні вуглецеві сталі, якісні інструментальні вуглецеві сталі, високоякісні інструментальні вуглецеві сталі (навести приклади)?
6. Що розуміють під зварюваністю металу?
7. Ступінь зварюваності сплаву.
8. Як впливає вуглець на зварюваність вуглецевих сталей? На які групи по зварюваності поділяються вуглецеві сталі?
9. Який сплав називається чавуном?
10. У якому стані знаходиться вуглець в білому чавуні?
11. Які структурні складові мають доевтектичні, евтектичні і заевтектичні білі чавуни?
12. У чому полягає евтектоїдне і евтектичне перетворення?
13. Яка форма включень графіту в сірому, ковкому і високоміцному чавуні?
14. Як розшифровуються марки чавунів? Привести приклади.
15. Які фази в евтектичному білому чавуні?
16. У якому вигляді знаходиться вуглець в сірих, кувких і високоміцних чавунах?
17. У яких випадках застосовується зварювання чавунів?
18. У чому полягають труднощі зварювання чавунів?
19. Зварюваність різних чавунів.
20. Холодне і гаряче зварювання чавуну.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

«ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ НА МІКРОСТРУКТУРИ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ»

Мета роботи: придбати навички дослідження мікроструктури зварного з'єднання низьковуглецевої сталі.

Прилади і приладдя на одну бригаду:

1. Набір мікрошліфів зварних з'єднань низьковуглецевих сталей.
2. Мікроскоп МИМ-7.
3. Каталог мікроструктур сталей.

Методика виконання роботи:

5.1. Загальні відомості

Для зварювання металів зазвичай використовують електричну дугу прямої дії, в якій одним електродом 1 служить вугільний або металевий стрижень (рис. 1), а другим – виріб, що зварюється 3. До електродів підведене живлення від джерела 2 постійного струму. Дуга складається з анодної області 4, катодної області 6 і стовпа 5. В електричній дузі при невеликому її об'ємі виділяється значна кількість тепла. Велика концентрація тепла і висока температура дуги (5000...7000°C – по осі стовпа) дозволяють розплавляти практично всі метали і сплави. На поверхнях анода і катода температура дуги знижується до 3500...4000°C. Стовп дуги оточений полум'ям (ореолом).

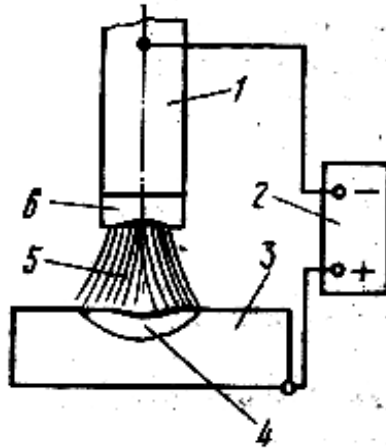


Рис. 1. Схема електричної дуги прямої дії: 1 – електрод, 2 – джерело живлення, 3 – виріб, що зварюється, 4 – анодна область, 5 – стовп дуги, 6 – катодна область

Ефективна (діюча) потужність дуги завжди менше повної її потужності, так як частина тепла витрачається на розсіювання в навколишнє середовище, розбризування, плавлення флюсу і тепловідвід в електроди. Частина тепла, витраченого на нагрів електроду, відшкодовується перенесенням його з краплями розплавленого металу. ККД відкритою дугою при зварюванні металевим електродом становить 0,75...0,90.

Закономірності кристалізації зварного шва.

З віддаленням від осередку дуги за різними напрямками температура рідкого металу знижується. Зростання кристалів в хвостовій частині ванни значно випереджає зростання кристалів з кромки в зоні максимальних температур тому, що в хвостовій частині ванни температура нижче. Зростання кристалів починається з поверхні металу шва, що закристалізувався. Кристали у хвостовій частині мають велику протяжність. Кристали з бічної поверхні складають з віссю шва певний кут, який залежить від товщини, маси металу, що зварюється, температури, швидкості зварювання та ін.

Вторинна кристалізація

Нагрівання або охолодження металу в твердому стані може викликати

перехід одного виду кристалічної решітки в іншій відповідно до мінімуму вільної енергії, що відповідає тому чи іншому розташуванню атомів. Такий перехід при нагріванні або охолодженні металу називають алотропічним або поліморфним перетворенням. Зміна алотропічних форм в твердому стані характерне різним металам.

Вторинна кристалізація для зварних швів має кілька аспектів.

1. При охолодженні після зварювання, якщо метал зварного шва піддається вторинній кристалізації, порушується несприятлива будова у вигляді стовпчастих кристалів і виникає нова, більш дрібнозерниста структура.

2. Структуру перегрітого при зварюванні плавленням основного металу можна перетворити знову дрібнозернисту за рахунок додаткового нагрівання з малим перегрівом вище температури поліморфного перетворення з наступним охолодженням з різною швидкістю.

Мікроструктура зварного з'єднання

Основний метал досліджуваних зварних з'єднань – низьковуглецева сталь (С – 0,25%) у вигляді прокату зі структурою ферит + 15% стрічкового перліту (рис. 2, а).

Наплавлений метал шва має мікроструктуру, характерну литому металу. Великий розмір зерна і прискорене охолодження приводять до отримання в наплавленому металі відманштетову структуру (рис. 2, б). Вона характеризується тим, що ферит в процесі охолодження утворюється по здвиговому механізму перетворення $Fe_{\gamma} > Fe_{\alpha}$, і його кристали виділяються не тільки по межах зерен, але і всередині зерен аустеніту у вигляді пластин, орієнтованих уздовж певних кристалографічних площин.

Структурні і фазові перетворення в зоні термічного впливу визначаються розподілом температур. Залежно від температури нагрівання вона складається з наступних ділянок:

- а) неповного розплавлення;
- б) перегріву;

в) нормалізації;

г) неповної перекристалізації (рис. 3).

Тривалий нагрів доєвтектоїдної сталі при температурах, які значно перевищують A_{c3} (A_3 – лінія GS на рис. 3) приводить до утворення крупного зерна як безпосередньо при цій температурі, так і після охолодження до 20°C . Такий нагрів прийнято називати *перегрівом сталі*. З ростом зерна різко знижується ударна в'язкість, робота поширення тріщини, підвищується поріг холодноламкості.

Нормалізація полягає в нагріванні доєвтектоїдних сталей до температури що перевищує точку A_{c3} (A_3) на 50°C , нетривалої витримки для прогріву металу, що зварюється і завершення фазових перетворень і охолодження на повітрі. Нормалізація викликає повну фазову перекристалізацію сталі і усуває грубозернисту структуру, отриману при литті або прокатці (прокаткою отримують арматурні стержні, куточки, швелера та ін.), куванні або штампуванні. Нормалізація призводить до підвищення на 10...15% міцності і твердості сталі в порівнянні з початковим станом зварюваної сталі.

Ділянка неповного розплавлення – тонка перехідна смуга від металу шва до основного металу, яка нагрівається в інтервалі точка ліквідус – точка солідус. Отже, тут є і рідка, і тверда фази. На даній ділянці відбувається безпосереднє зрощування кристалів металу шва з зерном основного металу, тому він часто визначає якість зварного з'єднання. Структура ферито-перлітна, грубозерниста з окантовкою перлітних зерен феритними прошарками.

Ділянка перегріву утворюється в інтервалі температур нагріву точки солідус – 1130°C . У цих умовах зерно встигає сильно вирости. Тому метал ділянки перегріву має грубозернисту будову. Ферит оточує укрупнені перлітні зерна своєрідною окантовкою, причому іноді тут можна побачити відманштетову структуру. Ділянка перегріву відрізняється погіршеними механічними властивостями. Тому чим вона менше, тим вище якість зварного з'єднання (рис. 2, в).

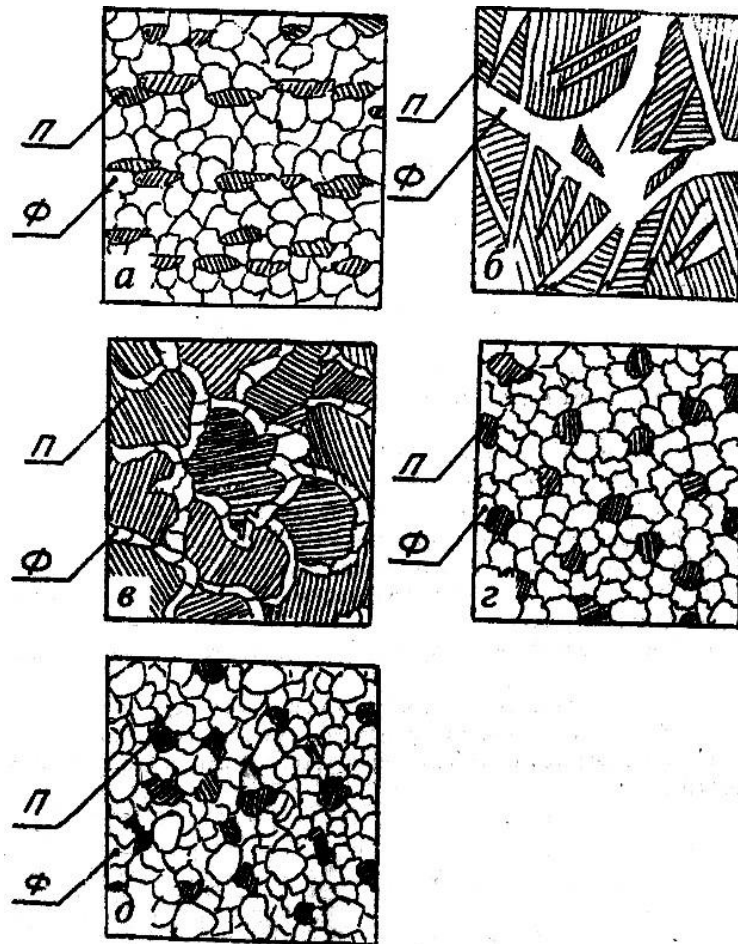


Рис. 2. Мікроструктура основного металу – а; наплавленого металу шва – б; і ділянок зони термічного впливу: в – перегріву; г – нормалізації; д – неповної перекристалізації

Ділянка нормалізації знаходиться в тих областях металу, які нагріваються до температур $1130^{\circ}\text{C} - A_3$. Так як тривалість перебування металу при цих температурах невелика, зерно аустеніту помітно вирости не встигає. Подальша перекристалізація при охолодженні металу призводить до отримання дрібної рівновісної структури. Метал цієї ділянки має найвищі механічні властивості (рис. 2, г).

Ділянка неповної перекристалізації спостерігається в області нагріву металу між точками $A_3 - A_1$ (лінія PS) відбувається неповна перекристалізація сталі, тому після охолодження поряд з великими зернами фериту утворюються дрібні зерна фериту і перліту (рис. 2, д).

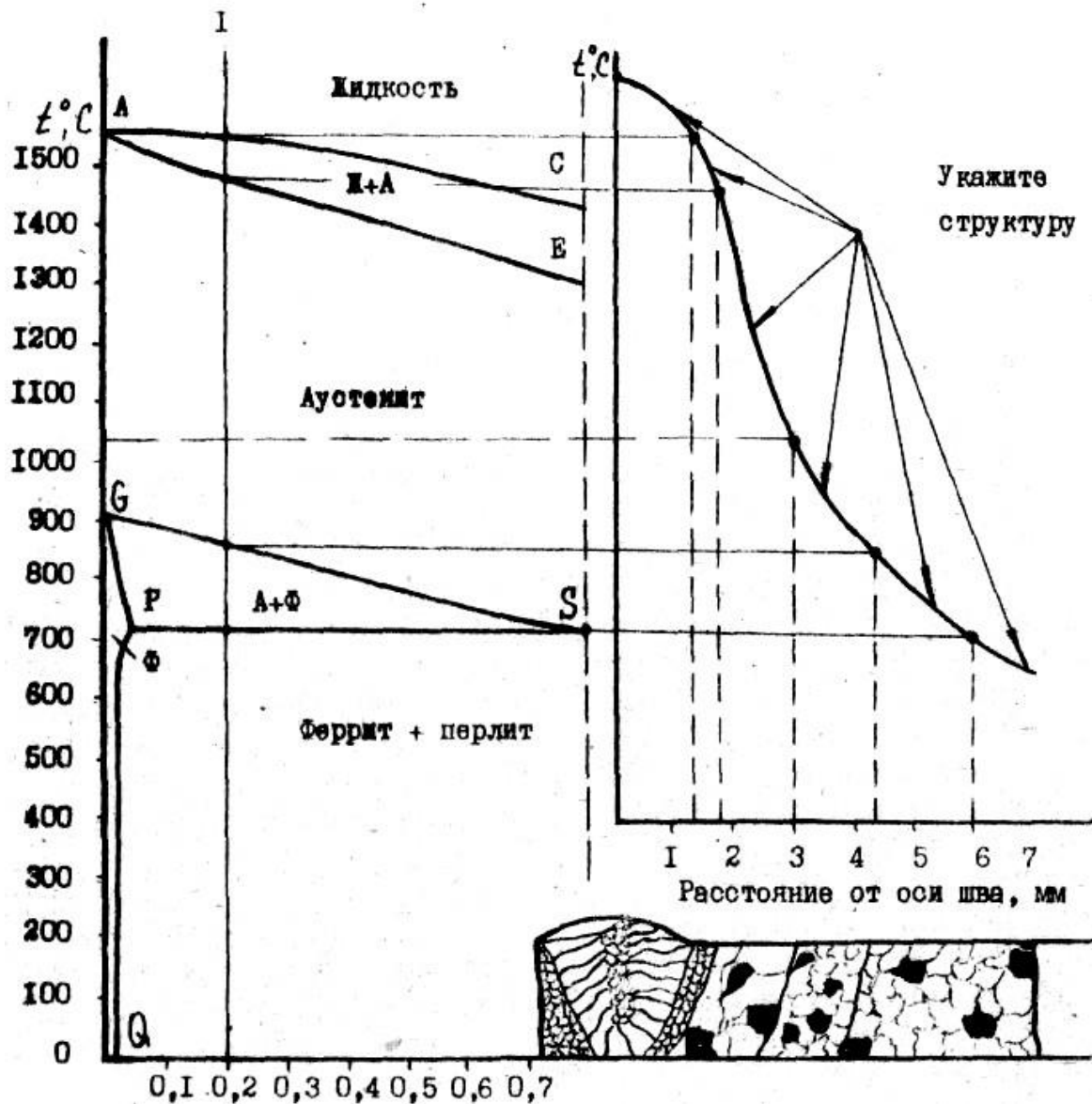


Рис. 3. Розподіл температури в зоні термічного впливу і її мікроструктура

5.2. Порядок виконання роботи та складання звіту

1. Зобразити діаграму залізо-цементит (область сталей) і приблизний розподіл температур в зоні зварного з'єднання (рис. 3).

2. Для сталі з вмістом вуглецю 0,2% визначити температури критичних точок: A_1 , A_3 , солідус, ліквідус. Визначити структуру на кожній ділянці зони термічного впливу при нагріванні і після охолодження. Вказати вплив температури на величину зерна сталі (грубозерниста, дрібнозерниста та ін.).

3. Заповнити таблицю:

Структура зони термічного впливу

Ділянка	Інтервал температур	Структура при нагріві	Структура після охолодження	Зернистість
1 Неповного розплавлення				
2. Перегріву				
3. Нормалізації				
4. Неповної перекристалізації				

4. Вивчити під мікроскопом мікроструктуру зварного з'єднання і схематично в квадратах 30×30 мм зобразити мікроструктуру:

5. Металу шва;
6. Ділянки перегріву зони термічного впливу;
7. Ділянки нормалізації;
8. Основного металу.

Контрольні питання для захисту виконаної лабораторної роботи:

1. З яких складових частин складається дуга прямої дії?
2. Яку величину становить температура дуги, анода і катода?
3. Назвати закономірності кристалізації зварного шва.
4. Вторинна кристалізація.
5. Що означає критична точка A_1 ?
6. Що означає критична точка A_3 ?
7. Що означає точка солідус? Що означає точка ліквідус?
8. Охарактеризуйте мікроструктуру наплавленого металу.
9. Перерахуйте ділянки зони термічного впливу.
10. Поясніть, чому в зоні термічного впливу утворюються ділянки з різною мікроструктурою.
11. Дайте характеристику мікроструктури на ділянці неповного розплавлення.
12. Дайте характеристику мікроструктури на ділянці перегріву.
13. Дайте характеристику мікроструктури на ділянці нормалізації.
14. Дайте характеристику мікроструктури на ділянці неповної перекристалізації.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

«ЗВАРЮВАННЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ БУДІВЕЛЬНИХ ВУГЛЕЦЕВИХ І НИЗЬКОЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ»

Мета роботи: вивчити марки будівельних вуглецевих і низьколегованих сталей і види зварювання арматурних сталей.

Прилади і приладдя на одну бригаду:

1. Зразки зварних з'єднань арматури.
2. Каталог арматури.
3. Штангенциркуль.

Методика виконання роботи:

6.1. Загальні відомості

Арматуру виготовляють з низьковуглецевої сталі (вміст вуглецю до 0,25%), середневуглецевої сталі (вміст вуглецю 0,3...0,6%) і низьколегованої. Діаметр стрижнів – від 6 до 90 мм.

Сталі звичайної якості. Цифри від 0 до 6 – це умовний номер марки сталі. За призначенням сталі звичайної якості підрозділяються на три групи, які поставляються з гарантією: А – за механічними властивостями (Ці сталі призначаються для використання головним чином в стані поставки без подальшого зварювання або термічної обробки, оскільки їх хімічний склад, який визначає режими обробки, може сильно коливатися); Б – за хімічним складом; В – за механічними властивостями і хімічним складом. Сталі В і Б поставляються з гарантією зварюваності. Залежно від нормованих показників (механічних властивостей, хімічного складу) сталь вищевказаних груп ділиться на категорії: група А – 1, 2, 3-тя; група Б – 1, 2-я; група В – 1, 2, 3, 4, 5, 6-а. Для позначення сталей звичайної якості з підвищеним вмістом марганцю до позначення марки сталі після номера марки ставлять букву Г. Індекси кп, пс, сп указують ступінь

розкисленням сталі при виплавці: кп – кипляча, пс – напівспокійна, сп – спокійна (табл. 1).

Легованою називають сталь, в яку при виплавці спеціально вводять елементи, що змінюють її властивості. Такі елементи називаються *легуючими* (табл. 2). Отже, легована сталь – це сплав залізо - вуглець - легуючий елемент. Легуючі елементи знаходяться в сталі у вигляді твердих розчинів і різних хімічних сполук: карбідів, нітридів, інтерметалідів та ін.

Таблиця 1

Хімічний склад (%) сталі звичайної якості

Сталь	C	Mn	Si
ВСтЗкп	0,14...0,2	0,30...0,60	Не більше 0,07
ВСтЗпс		0,40...0,65	0,05...0,17
ВСтЗсп			0,12...0,30
ВСтЗГпс		0,80...1,10	Не більше 0,15
ВСтЗпс	0,28...0,37	1,50...0,80	0,05...0,17
ВСтЗсп			0,15...0,35

Домішки не більше 0,3% Cu; 0,3% Ni; 0,3% Cr; 0,04% P; 0,05% S.

Таблиця 2

Легуючі елемент і їх позначення

Найменування елемента	Умовне позначення в марках сталей	Найменування елемента	Умовне позначення в марках сталей
Цирконій	Ц	Вольфрам	В
Марганець	Г	Мідь	Д
Кремній	С	Алюміній	Ю
Хром	Х	Бор	Р
Нікель	Н	Кобальт	К
Молібден	М	Титан	Т
Ванадій	Ф	Ніобій	В

Маркування легованих сталей. Вуглець (С) у легованих сталях літерного позначення не має; зміст його в сотих частках відсотка вказують цифрами на початку позначення; кількість легуючого елемента в відсотках вказують цифрами після відповідної букви; при вмісті елемента до 1% цифра не ставиться.

Низьколегованими називаються сталі, що містять не більше 0,22% С і легована одним елементом при його вмісті не більше 2% або декількома елементами при сумарному їх вмісті – 3,5%.

Арматура для залізобетонних конструкцій випускається у вигляді стрижнів круглого перетину гладкого або періодичного профілю. Арматурна сталь періодичного профілю являє собою круглі стрижні з двома поздовжніми ребрами і поперечними виступами, що розташовуються по тризаходній гвинтовій лінії. Залежно від механічних властивостей стрижнева арматурна сталь ділиться на п'ять класів: А-I, А-II, А-III, А-IV та А-V (табл. 3)

Таблиця 3

Механічні властивості арматурної сталі по класах (ДСТУ 3760:2019)

Клас сталі	Сталі	Ø, мм	σ _T	σ _B	δ
			МПа		%
А-I	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, ВСт3кп, ВСт3пс, ВСт3сп	6...40	240	380	25
	ВСт3Гпс	6...18			
Ас-II	ВСт5сп, ВСт5пс	10...40	300	500	19
	18Г2С	40...80			
Ас-II	10ГТ	10...32	300	450	25
А-III	35 ГС, 25Г2С	6...40	400	600	14
А-IV	80С	10...18	600	900	6
	20ХГ2Ц				
А-V	23Х2Г2Т	10...22	800	1050	7

Арматура класу А-I виготовляється гладкою; класів А-II, А-III, А-IV і А-V – періодичного профілю. Арматурна сталь класів А-I, А-II, А-III, А-IV виготовляється без термообробки; класу А-V – після низькотемпературного відпуску ($250 \pm 50^\circ\text{C}$).

Стрижні класів А-I і А-II до $\varnothing 12$ мм і класу А-III до $\varnothing 10$ мм включно виготовляються в мотках або в прутках, а великих діаметрів – в прутках. Арматурна сталь класів А-IV і А-V виготовляється в прутках.

Кінці стрижнів низьколегованих арматурних сталей класу А-IV повинні бути пофарбовані червоною фарбою, класу А-V – червоною і зеленою.

ДСТУ 3760:2019 поширюється на стрижневу термічно зміцнену сталь періодичного профілю, призначену для армування попередньо-напружених залізобетонних конструкцій

Таблиця 4

Механічні властивості арматурних стержнів в стані поставки і після електронагріву (ДСТУ 3760:2019)

Клас стрижнів	Температура електронагріву	\varnothing , мм	σ_T	σ_B	δ
			МПа		%
АТ-IV	350	10...18	900	600	8
		20...40			
АТ-V	400	10...14	1000	80	7
		16...40			
АТ- VI	450	10...14	1200	1000	6
		16...32			
АТ-VII	500	10...32	1400	1200	5

Арматурні стержні повинні виготовлятися з вуглецевої і низьколегованої сталі. Марки сталі встановлюються підприємствами-виробниками. Стрижні поставляють профільованими класів А-II і А-III за ДСТУ 3760:2019 з відповідним

кольоровим маркуванням кінців стрижнів: Ат-IV – білою, Ат-V – синьою, Ат-VI – жовтою, Ат-VII – зеленою.

Зварювання сталі

Найбільший вплив на зварюваність сталі надає кількість вуглецю і легуючих компонентів, що міститься в ній.

За вмістом вуглецю і легуючих елементів низьколеговані сталі умовно поділяють на чотири групи: I – добре зварюються, II – задовільно зварюються, III – обмежено зварюються, IV – погано зварюються. До групи I відносяться низьколеговані сталі, що містять до 0,2% вуглецю. До групи II низьколеговані сталі, вміст вуглецю 0,3...0,35%. До групи III відносять низьколеговані сталі, що містять 0,35...0,5% вуглецю в яких підвищений вміст легуючих елементів. До групи IV відносять низьколеговані сталі з високим вмістом вуглецю (більше 0,5%) і підвищеним вмістом хрому і кремнію.

Вплив елементів, що містяться в сталях, на їх зварюваність

Вуглець. Сталі з невеликим вмістом вуглецю добре зварюються всіма видами зварювання, на будь-яких режимах. Підвищення вмісту вуглецю в сталі веде до збільшення твердості і зменшення пластичності. Метал в зварному з'єднанні буде гартуватися, що призведе до появи тріщин. Інтенсивне окислення вуглецю під час зварювання викликає утворення великої кількості газових пор.

Марганець. У невеликій кількості (в вуглецевих сталях зазвичай 0,3...0,8%) марганець не погіршує зварюваність і не ускладнює зварювання. Будучи хорошим розкислювачем, він сприяє зменшенню вмісту кисню в сталі. При змісті марганцю 1,5...2,5% зварюваність погіршується, так як збільшується твердість сталі, утворюються гартівні структури і можуть з'явитися тріщини.

Кремній. У вуглецевих сталях кремній міститься в невеликій кількості (0,03...0,35%), вводиться як розкислювач і не впливає на зварюваність. При вмісті кремнію більш 1% зварюваність погіршується, так як утворюються тугоплавкі

оксидації, що ведуть до появи шлакових включень. У зварному з'єднанні метал набуває велику міцність і твердість, а разом з цим і крихкість.

Хром. У вуглецевих сталях вміст хрому не перевищує 0,25%, що не позначається на зварюваності. При вмісті хрому від 0,7 до 1,1% твердість збільшується, а зварюваність погіршується, особливо зі збільшенням вмісту вуглецю.

Нікель. У звичайних вуглецевих сталях нікелю міститься: 0,2...0,3%. Нікель разом з міцністю підвищує і пластичність металу зварного з'єднання. І не погіршує зварюваність.

Молибден. Молибден міститься в сталях від 0,2 до 0,8%. У великій мірі збільшує міцність і ударну в'язкість сталі, але погіршує зварюваність, так як викликає схильність до утворення тріщин як в самому шві, так і перехідній зоні.

Ванадій. Ванадій вводиться в сталі до 1,5%. Ванадій ускладнює зварювання, здатний сильно окислюватися при зварюванні вимагає введення в зону плавлення активних розкислювачів.

Вольфрам. Сталі з вмістом вольфраму до 2% володіють досить значною твердістю і міцністю при високих температурах. Вольфрам погіршує зварюваність, сильно окислюється.

Титан і ніобій. При зварюванні сталей що містять хром утворюються сполуки вуглецю з хромом – карбід хрому. Зменшення вмісту хрому по межах зерен веде до утворення корозії і руйнування зварних швів. Для протидії цьому процесу в сталі вводять титан або ніобій в кількості 0,5...1%. Титан і ніобій з'єднуються з вуглецем, перешкоджаючи утворенню карбідів хрому. Тим самим титан і ніобій покращують зварюваність сталі.

Мідь. У сталях, які використовуються для відповідальних конструкцій високої надійності, міститься мідь в кількості 0,3...0,8%. Мідь покращує зварюваність, підвищуючи міцність, пластичні властивості, ударну в'язкість і корозійну стійкість сталей.

Сірка. Сірка – шкідлива домішка в сталі, її підвищений вміст призводить до

утворення гарячих тріщин. Найбільш допустимий вміст сірки – 0,06%, найменше в більшості легованих сталей – 0,02% (у деяких – 0,01%).

Фосфор. Фосфор – шкідлива домішка; підвищений вміст фосфору викликає при зварюванні появу холодних тріщин, отже, погіршує зварюваність. У вуглецевих сталях вміст фосфору допускається не більше 0,08%.

Кисень, азот і водень. Кисень погіршує зварюваність сталі, знижуючи її механічні властивості: міцність, пластичність, ударну в'язкість. Азот розчиняється в розплавленому металі, потрапляючи з навколишнього повітря; при охолодженні зварювальної ванни азот утворює хімічні сполуки з залізом (нітриди заліза), які підвищують міцність і твердість сталі і значно знижують пластичність. Водень – шкідлива домішка в сталі. Водень накопичується в окремих місцях зварного шва, утворює газові бульбашки, викликає появу пористості і дрібних тріщин.

Зварювання арматури залізобетону

З'єднання арматурних стрижнів виробляються всіма видами зварювання: ручним дуговим покритими електродами, напівавтоматичним в вуглекислому газі, порошковим і / або легуючим дротом, ванним і електрошлаковим – стикові з'єднання стрижнів діаметром більше 20 мм.

Деякі типи з'єднань арматури залізобетону наведені на рис. 1. До них відносяться: стикові (рис. 1, а), що виконуються дуговою або електрошлаковою зваркою в сталевій формі що залишається, внакладку (рис. 1, б), з круглими накладками (рис. 1, в) і плоскими елементами (рис. 1, г), останні три – тільки дуговим зварюванням.

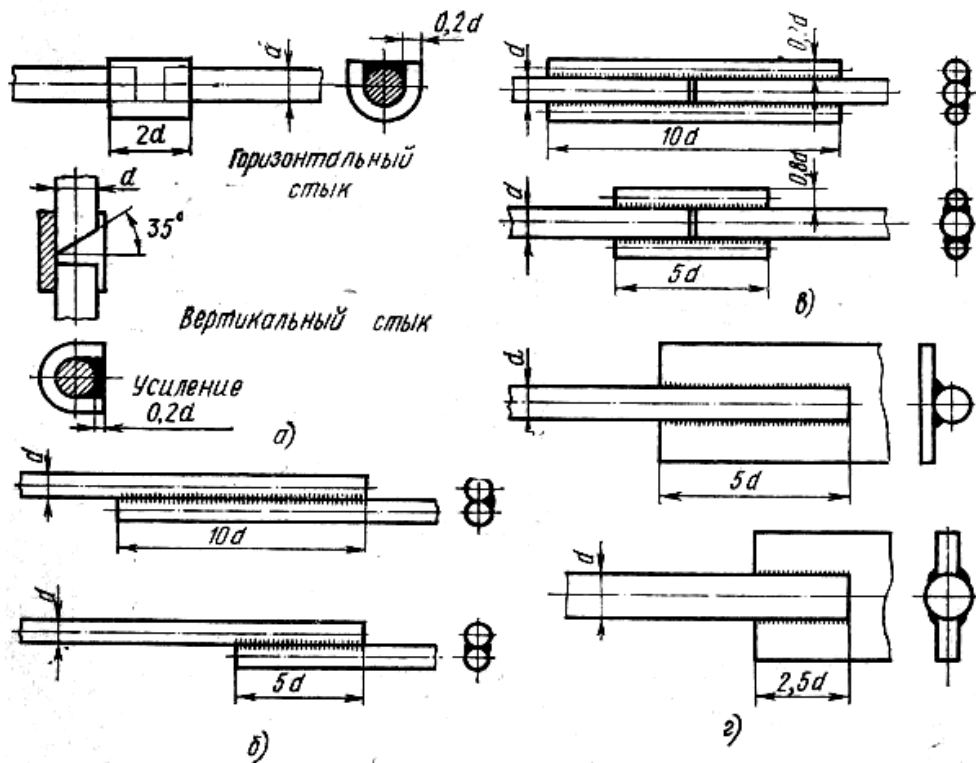


Рис. 1. Способи з'єднання зварної арматури залізобетону:
 а – стикові, б – внакладку, в – з круглими накладками, г – з плоскими елементами

Для зварювання ванним способом гребінкою електродів, стрижні збирають з зазором 10...15 мм. Для утримання розплавленого металу встановлюють і прихоплюють форму. Дуга збуджується в нижній частині форми; після утворення ванни розплавленого металу дуга горить в шарі розплавленого шлаку; гребінка електродів, затиснутих в дворучковому тримачі, поступово піднімається. Для отримання посилення у верхній частині стику гребінка занурюється в рідкий метал, дуга згасає, електродний метал плавиться в ванні за рахунок тепла від проходження електричного струму.

При зварюванні арматурних стрижнів з низьколегованих сталей 25Г2С і 35ГС на відкритому повітрі при мінусовій температурі уникнути появи тріщин можна попереднім підгрівом місця зварювання і повільним охолодженням звареного стику.

Для зварювання стрижнів зі сталі класу А-І застосовуються електроди УОНІ 13/45, для всіх інших – УОНІ 13/55У. Арматуру діаметром до 36 мм зварюють

електродами діаметром 4...5, арматуру діаметром 40 мм і вище – електродами 5...6 мм.

6.2. Порядок виконання роботи та складання звіту

1. Описати сутність процесу ручного дугового зварювання для з'єднання зазначеного варіанта з табл. 5. Зарисувати ескіз з'єднання, визначити тип з'єднання.

Таблиця 5

Варіанти завдань

№ варіанти	Марка сталі	Ø, мм	Спосіб з'єднання арматури
1	СтЗкп	6	Стикове (горизонтальний стик)
2	СтЗпс	10	Стикове (вертикальний стик)
3	СтЗсп	18	Внакладку (один шов)
4	ВСтЗкп	24	Внакладку (два шва)
5	ВСтЗпс	32	3 круглими накладками (два шва)
6	ВСтЗсп	40	3 круглими накладками (чотири шва)
7	ВСтЗГпс	18	3 плоскими елементами (два шва)
8	ВСт5сп	10	3 плоскими елементами (чотири шва)
9	ВСт5пс	40	Внакладку (один шов)
10	18Г2С	50	Внакладку (два шва)
11	10ГТ	10	3 круглими накладками (два шва)
12	35ГС	6	3 круглими накладками (чотири шва)
13	25Г2С	40	3 плоскими елементами (два шва)
14	80С	10	Стикове (горизонтальний стик)
15	20ХГ2Ц	18	Стикове (вертикальний стик)
16	23Х2Г2Т	22	Стикове (горизонтальний стик)
17	18Г2С	45	3 плоскими елементами (чотири шва)
18	25Г2С	8	Внакладку (два шва)
19	ВСтЗГпс	6	3 круглими накладками (два шва)
20	23Х2Г2Т	10	Стикове (вертикальний стик)

2. Визначити клас арматурної сталі. Визначити клас сталі за хімічним складом. Розшифрувати марку сталі. Визначити зварюваність сталі. Описати вплив домішок і легуючих елементів, що містяться в сталі, на їх зварюваність.

3. Визначити в якому вигляді поставляється задана арматура для залізобетону: вид перетину; чи піддавалась термічній обробці; мотках або прутках; яким кольором пофарбовані кінці стрижнів.

4. Розрахувати довжину шва.

5. Визначити марку і діаметр електрода.

Контрольні питання для захисту виконаної лабораторної роботи:

1. Які сталі, за хімічним складом, застосовують при виготовленні арматури для залізобетону?

2. Маркування сталей звичайної якості.

3. Яка сталь називається легованою?

4. З якою метою вводяться в сталь легуючі елементи?

5. Маркування легованих сталей. Привести приклади.

6. Які сталі називаються низьколегованими?

7. Який вигляд має перетин арматури?

8. На які класи в залежності від механічних властивостей поділяється арматура?

9. У якому вигляді в залежності від класу поставляється арматура?

10. На які класи в залежності від електронагріву ділиться арматура?

11. Що впливає на зварюваність низьковуглецевих сталей.

12. Вплив елементів, що містяться в сталях, на їх зварюваність.

13. Які види зварювання застосовують для з'єднання арматурних стрижнів.

14. Типи з'єднань арматури залізобетону.

15. Які типи електродів застосовують для з'єднання стрижнів арматури?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

«ЗВАРЮВАННЯ КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ»

Мета роботи: встановити структурний склад кольорових сплавів в рівноважному стані і вивчити їх мікроструктуру.

Прилади і приладдя на одну бригаду:

1. Набір мікрошліфів кольорових металів і сплавів.
2. Каталог мікроструктур кольорових металів і сплавів.
3. Мікроскоп МИМ-7.

Методика виконання роботи:

7.1. Загальні відомості

Пости для ручного дугового зварювання

Зварювальний пост для ручного дугового зварювання електродом, що плавиться

Спеціально обладнане робоче місце для зварювання називають зварювальним постом. Зварювальний пост (рис. 1) складається з зварювального апарату – джерела живлення дуги електричним струмом, пускової апаратури, комплекту зварювальних проводів, електродотримача і самого робочого місця, на якому працює зварювальник. При постійному розташуванні зварювальний пост називають стаціонарним, при змінному – пересувним.

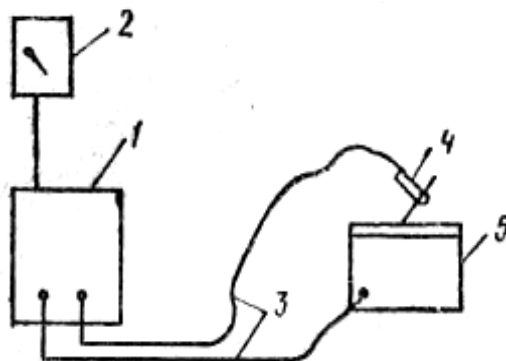


Рис. 1. Зварювальний пост для ручного дугового зварювання: 1 – джерело живлення; 2 – пусковий апарат; 3 – зварювальні проводи; 4 – електродотримач; 5 – робоче місце зварника (зварювальна деталь)

Стаціонарні зварювальні пости розміщують в цехах для виготовлення зварних будівельних конструкцій. До посту подають зібрану під зварювання конструкцію, і при виконанні декількох зварних швів зварювальник пересувається і його робоче місце змінюється від шва до шва, а джерело живлення струмом і пускова апаратура залишаються на місці. Пересування зварника може бути в межах довжини зварювального кабелю – не більше 30...40 м; при більшій довжині зростає падіння напруги зварювального ланцюга, що перешкоджає нормальному процесу зварювання. При зварюванні невеликих виробів зварювальний пост обладнують в кабіні (рис. 2), яку виготовляють з будь-яких вогнетривких матеріалів (тонкі сталеві листи, азбестоцементні плити та ін.). Вхід в кабінку роблять у вигляді штор з брезенту з вогнетривким просоченням, а підлога – з вогнестійких матеріалів. В кабіні встановлюють металевий зварювальний стіл. Зварювальний апарат та пускову апаратуру, як правило, встановлюють в кабіні, однак вони можуть бути винесені за її межі. Кабінку, як правило, обладнують вентиляцією і консольним краном для подачі виробів під зварювання.

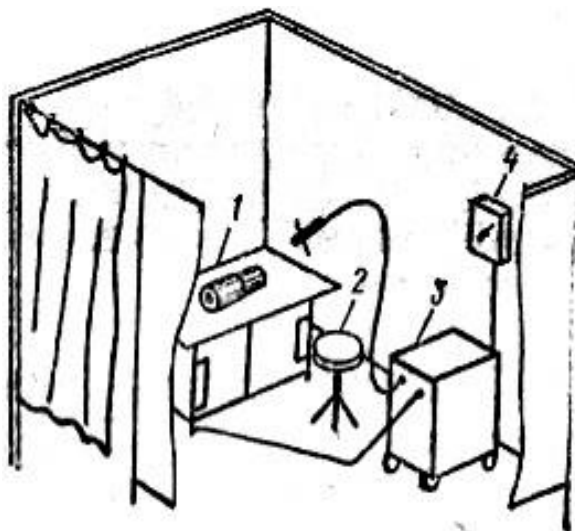


Рис. 2. Кабіна для стаціонарного зварювального поста: 1 – стіл; 2 – стілець; 3 – зварювальний апарат; 4 – пусковий апарат

Пересувні зварювальні пости застосовують при будівництві різних будівель і споруд безпосередньо на будівельному майданчику. Ці пости розміщують в пересувних машинних залах (рис. 3), виготовлених із сталевих

каркаса, обшитого тонким листовим залізом. У залі розміщують 1...3 зварювальних апарата, пускову апаратуру, піч для прожарювання електродів, шафа для інструменту і зварювального кабелю. Пересувні машинні зали мають внизу полози для переміщення на коротку відстань волоком, а в верхніх кутах – приварені вушка для зачеплення стропами і переміщення по висоті краном або навантаження на машини і вагони.

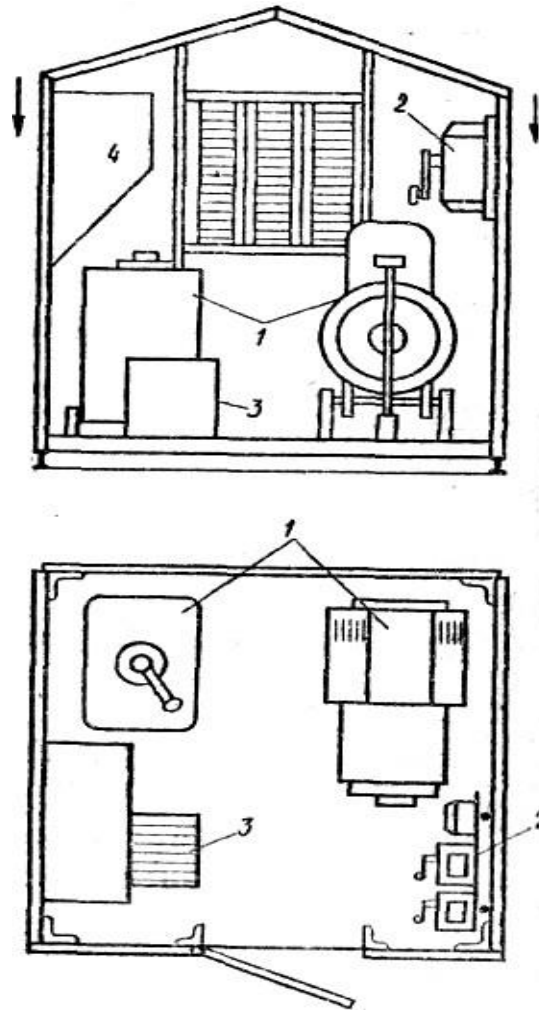


Рис. 3. Пересувний зварювальний пост (машинний зал)

1 – зварювальні апарати; 2 – пускові апарати; 3 – піч для сушіння електродів;
4 – шафа для інструментів

Устаткування зварювальних постів. Основним обладнанням зварювального поста є *джерело живлення*: для змінного струму – зварювальні трансформатори, для постійного струму – перетворювачі і випрямлячі.

Для включення постового джерела живлення в силову електричну мережу

застосовують пускову і захисну електроапаратуру на напругу до 1000 В. До неї відносяться рубильники закритого типу і плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі.

Основним робочим інструментом електрозварника є *електродотримач*, що слугує для утримання електрода, підведення до нього зварювального струму і маніпулювання електродом в процесі зварювання. На рис. 4 показані схеми електродотримачів пасатижного, гвинтового, важільного і засувного типів. Рукоятки електродотримачів і поверхні їх деталей ізолювані електро- і теплоізоляційними матеріалами.

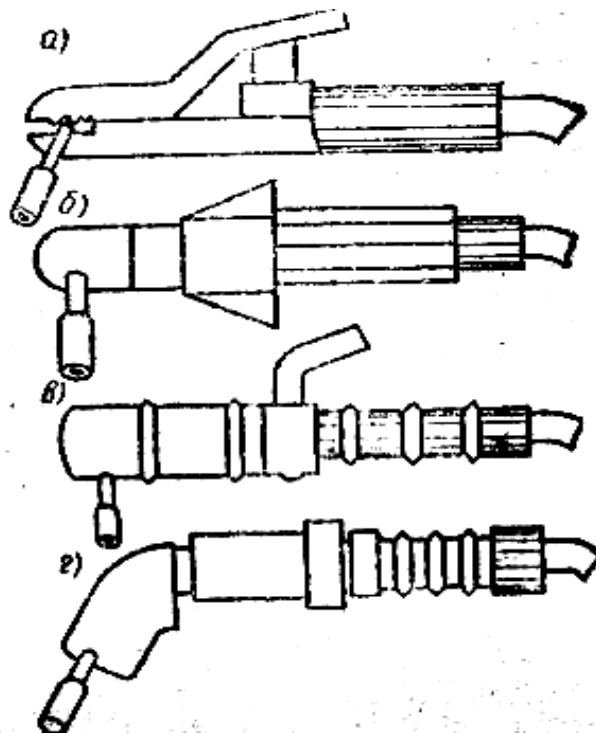


Рис. 4. Електродотримачі: а – пасатижного типу; б – гвинтового типу; в – типу важеля; г – засувного типу

В процесі роботи зварювальник користується інструментами для зачистки крайок від іржі та інших забруднень, а також для вирубки дефектів і зачистки швів від шлаку. Для цього застосовують металеву дротяну щітку, зубило, молоток, комбіноване зубило з рукояткою, що має один загострений кінець, а інший кінець у вигляді звичайного зубила (рис. 5).

Зварювання кольорових металів

Кольоровими називаються сплави, основою яких є кольорові метали: Cu, Al, Mg, Ti та ін. Найбільше практичне застосування мають мідні (латунь, бронза) і алюмінієві сплави (дюралюміній, силумін).

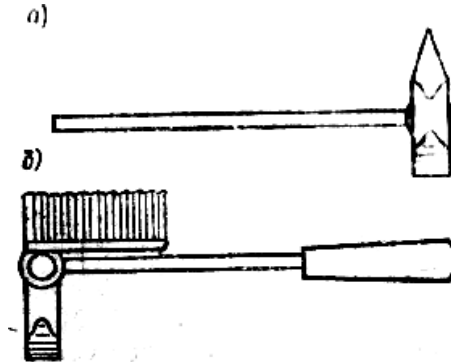


Рис. 5. Інструмент зварювальника: а – зубило; б – комбінована щітка з зубилом

Мідь має гранецентровану кубічну решітку. Щільність міді $8,94 \text{ г/см}^3$, температура плавлення 1083°C . Характерною властивістю міді є її висока електропровідність і теплопровідність. Технічно чиста мідь маркується: М00 (99,99 % Cu) – М4 (99 % Cu).

1. Зварювання вугільним електродом. Мідь товщиною до 3 мм зварюють по відбортовці без присадного металу; більше 3 мм – з присадкою: мідь марки М1, фосфориста або кремениста бронза, з попереднім підігрівом до $250\text{...}350^\circ\text{C}$.

2. Зварювання металевим електродом марки К-100 (Комсомолец-100).

3. Автоматичне зварювання під флюсом вугільним електродом при товщині деталей 4...6 мм. У зварюваний стик укладають смужку латуні ЛТ-80, флюс ОСЦ-45.

4. Автоматичне зварювання під флюсом металевим електродом. Зварювальний дріт М1, М2, флюси – ОСЦ-45, АН-20, АН-348А.

5. Зварювання в середовищі аргону і азоту виробів товщиною 1,5...20 мм. Зварювальний дріт М1 і М2.

Зварювання латуні. Латуні – сплави міді з цинком. Латуні можуть мати в своєму складі до 45% цинку. За способом виготовлення виробів розрізняють латуні що деформуються і ливарні.

Латуні, що деформуються маркуються буквою Л, за якою слідує число, що показує вміст міді у відсотках. Якщо крім міді і цинку, є інші елементи, то ставляться їх початкові літери (**О** – олово, **С** – свинець, **Ж** – залізо, **Ф** – фосфор, **Мц** – марганець, **А** – алюміній, **Ц** – цинк). Кількість цих елементів позначається відповідними цифрами після числа, що показує вміст міді.

Ливарні латуні також маркуються буквою Л, Після літерного позначення основного легуючого елемента (цинк) і кожної наступної ставиться цифра, яка вказує його усереднений вміст у сплаві.

При зварюванні латуні з неї випаровується цинк; в шві утворюється пористість. Пари цинку токсичні; це створює значні труднощі при зварюванні латуні.

1. Зварювання вугільним електродом листів товщиною 1...10 мм. Присадний метал – латунь з вмістом 40% цинку, флюс – прожарена бура.

Зварювання металевим електродом листів товщиною 5...15 мм. Присадний метал – латунь з вмістом 38,5...42,5% цинку.

3. Автоматичне зварювання під флюсом. Дріт – латунь ЛК62-05, ЛК80-3, бронза БрОЦ4-3, БрКМц3-1 або мідь М1, М2, М3 діаметром 1,5...3 мм, флюси – ОСЦ-45.

Зварювання бронзи. Бронзи – сплави міді з іншими (крім цинку) елементами. Найбільш поширені бронзи: олов'яниста, алюмінієва, марганцевиста, фосфориста, свинцювата.

Різновиди зварювання бронзи:

1. Зварювання вугільним електродом. Присадний метал – литі прутки того ж складу, що й основний метал; флюс – бура, попередній підігрів до 250...350°C.

2. Зварювання металевим електродом. Для зварювання олов'янистої бронзи застосовують електроди, стрижні яких мають склад: 8% цинку, 6% свинцю, 3% олова, 0,2% фосфору, 0,3% заліза, 0,3% нікелю, решта – мідь. Попередній підігрів до 250...300°C. При зварюванні безолов'янистої бронзи склад стрижня електрода повинен бути таким же, як і склад основного металу.

3. Автоматичне зварювання під флюсом. Цим способом зварюють алюмінієві бронзи, застосовуючи електродний дріт з бронзи БрАМц9-2 і флюс АН-20.

4. Аргонно-дугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом ведеться без флюсу, присадний метал – прутки того ж складу, що і основного.

Зварювання алюмінію і алюмінієвих сплавів. Алюміній – легкий метал з щільністю $2,7 \text{ г/см}^3$ і температурою плавлення 660°C . Має високу тепло- і електропровідність. Алюміній високої чистоти маркується А99 (99,999% Al), А8 – А0 (вміст алюмінію від 99,85% до 99%).

Технічний алюміній добре зварюється, має високу пластичність. З нього виготовляють будівельні конструкції, використовують в якості електротехнічного матеріалу для кабелів, проводів.

Принцип маркування алюмінієвих сплавів. На початку вказується тип сплаву: **Д** – сплави типу дюралюміній; **А** – технічний алюміній; **АК** – ковкі алюмінієві сплави; **В** – високоміцні сплави; **АЛ** – ливарні сплави. Далі вказується умовний номер сплаву. За умовним номером іде позначення, що характеризує стан сплаву: **М** – м'який (відпалений); **Т** – термічно оброблений (гарт плюс старіння); **Н** – нагартований; **П** – полунагартований

За технологічними властивостями сплави підрозділяються на три групи:

- сплави, що деформуються, і не зміцнюються термічною обробкою;
- сплави, що деформуються і зміцнюються термічною обробкою;
- ливарні сплави.

Сплави, що деформуються, і не зміцнюються термічною обробкою позначаються: з марганцем – АМц, з магнієм – АМг; після позначення елемента вказується його вміст (АМг3).

Нагартовані і полунагартовані сплави (АМг3П) застосовують для виготовлення різних зварних ємностей.

Сплави дюралюмінію, що деформуються (складні сплави систем алюміній-мідь-магній, або алюміній-мідь-магній-цинк) зазвичай піддаються гартуванню з

температури 500°C і природного старіння, якому передують дво-, тригодинний інкубаційний період. Максимальна міцність досягається через 4...5 діб. Широке застосування дюралюмінію знаходять в будівництві.

Високоміцними старіючими сплавами є сплави, які крім міді і магнію містять цинк В95, В96.

Кувальні алюмінієві сплави АК, АК8 застосовуються для виготовлення поковок. До складу алюмінієвих сплавів додатково вводять нікель, залізо, титан, які підвищують температуру рекристалізації і жароміцності до 300°C.

До ливарних сплавів відносяться сплави системи алюміній-кремній (силуміни), що містять 10...13% кремнію. Ливарні сплави маркуються від АЛ2 до АЛ20.

Температура плавлення алюмінію – 657°C; на поверхні алюмінію утворюється тонка і міцна плівка оксиду (Al_2O_3), температура плавлення якої 2050°C. Ця плівка затрудняє зварювання алюмінію; її можна зруйнувати вводячи в зону плавлення флюси.

Різновиди зварювання алюмінію і його сплавів:

1. Дугове зварювання вугільним електродом ведеться на графітових або сталевих підкладках; при товщині листів або шин більше 10...12 мм необхідне оброблення крайок під загальним кутом 60...70°.

2. Дугове зварювання металевими електродами ОЗА-1 і ОЗА-2 ведеться з попереднім підігрівом: для металу товщиною 6...9 мм – до 200...250°C, 9...16 мм – до 300...350°C.

3. Автоматичне зварювання під флюсом. Зварювальний дріт – Св-А97 і Св-АМц діаметром 2...3 мм; висота шару флюсу (АН-А1, АН-А4) – 15...30 мм.

4. Аргонно-дугове (ручне і автоматичне). Зварювання неплавким електродом виконується змінним струмом, зварювання електродом, що плавиться – на постійному струмі зворотної полярності.

7.2. Порядок виконання роботи та складання звіту

1. Визначити хімічний склад міді М1 і кольорових сплавів латуні Л60, бронзи БрС30, дюралюмінію Д1 і силуміну АЛ2.
2. Вивчити мікроструктуру міді М1 кольорових сплавів латуні Л60, бронзи БрС30, дюралюмінію Д1 (загартованого і штучно зістареного) і силуміну АЛ2.
3. Схематично зобразити структури сплавів, що спостерігаються в квадратах (30×30 мм). Під кожним рисунком вказати марку сплаву, хімічний склад.
4. Вибрати для кожного сплаву вид зварювання. Описати вид зварювання.
5. Вказати який з вивчених сплавів має кращу зварюваність.

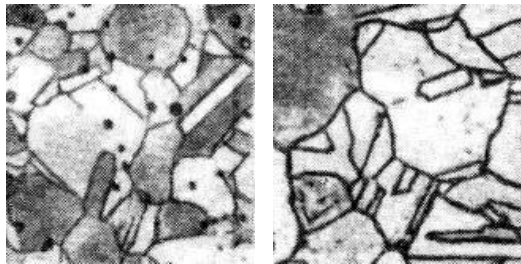


Рис. 6. Типові мікроструктури поковок з міді (×75):
а – більше 0,1% O₂; б – безкиснева.

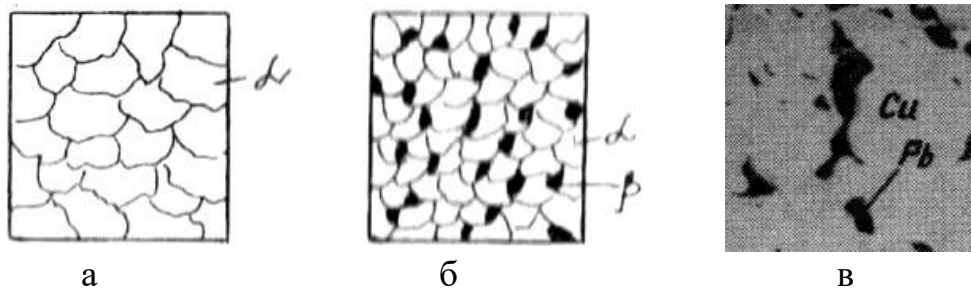


Рис. 7. Мікроструктура мідних сплавів:
а – однофазна латунь, б – двофазна латунь; в – свинцювата бронза

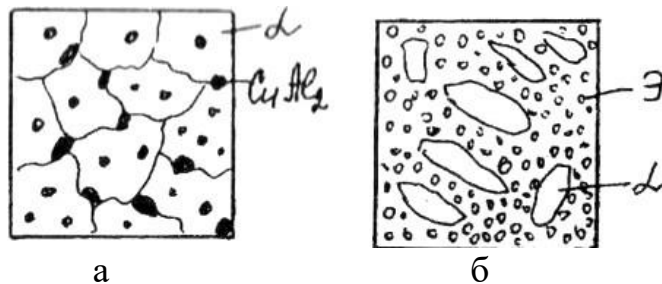


Рис. 6. Мікроструктура алюмінієвих сплавів:
а – дюралюмінію, б – модифікованого силуміну

Контрольні питання для захисту виконаної лабораторної роботи:

1. Що називають зварювальним постом?
2. Яка різниця між стаціонарним і пересувним постом?
3. При спорудженні приміщення складу потрібно зварити стики двох балок. Який пост для цього буде потрібно?
4. Для чого служать електродотримачі? Які типи електродотримачів ви знаєте?
5. Які інструменти потрібні зварнику для нормальної роботи?
6. Які сплави називаються кольоровими?
7. Які сплави називаються латунями?
8. Як розрізняються латуні в залежності від способу обробки?
9. Назвіть марки простих і багатокомпонентних латуней.
10. Які сплави називаються бронзою?
11. Як розрізняються бронзи в залежності від способу обробки?
12. Наведіть основну класифікацію алюмінієвих сплавів.
13. Який основний фактор лежить в основі розмежування алюмінієвих сплавів на сплави, що деформуються і ливарні?
14. Які сплави називаються силумінами?
15. Назвіть марки алюмінієвих сплавів, що деформуються і ливарних.
16. Якими видами зварювання зварюють кольорові метали та їх сплави?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Власенко А.М. Матеріалознавство та технологія металів: підручник для здобувачів професійної освіти. – Київ: Літера ЛТД, 2019. – 224 с.
2. Бурда, М.Й. Металознавство і зварювання [Текст]: лаб. практикум / М.Й. Бурда, О.М. Матвієнків. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. – 69 с.
3. Спеціальні способи зварювання: підручник / І.В. Кривцун, В.В. Квасницький, С.Ю. Максимов, Г.В. Єрмолаєв, за загальною редакцією академіка НАН України, доктора технічних наук, професора Б.Є. Патона. – Миколаїв: НУК, 2017.– 346 с.
4. Металознавство: навч. посібник / І.В. Прокопович. – Одеса: Екологія, 2020. – 308 с.
5. Матеріалознавство: навчальний посібник / І. Савуляк, О.П. Шиліна, В.Й. Шенфельд / ВНТУ – Вінниця: 2019.-34 с.
6. Матеріалознавство. Сталь: класифікація, виробництво, споживання, маркування. За ред. Криля Я.А. Новий світ-2000: 2021. – 267 с.
7. Пахаренко В.Л., Марчук М.М., Пахаренко О.В. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство (обробка металів різанням) НУВГП Рівне: 2018. – 252 с.
8. Бодрова Л.Г. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство, розділ Матеріалознавство: Навчальний посібник / Л.Г. Бодрова, Г.М. Крамар, Я.О. Ковальчук, І.В. Коваль – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 157 с.

Нормативні джерела:

1. ДСТУ 2651:2005 Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. Київ. Держспоживстандарт України 2006.
2. ДСТУ 4484:2005/ГОСТ 535-2005 Прокат сортовий і фасонний зі сталі вуглецевої звичайної якості. Загальні технічні умови. Київ. Держспоживстандарт України 2005.

3. ДСТУ 7806:2015 Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови. Київ. (ДП «УкрНДНЦ») 2016.
4. ДСТУ 8833:2019 Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови. Київ. (ДП «УкрНДНЦ») 2019.
5. ДСТУ 3925-99 Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки. З поправками (ІПС № 9-2002, ІПС № 8-2006). Київ. Держстандарт України 2000.
6. ДСТУ ГОСТ 15527:2005 Сплави мідно-цинкві (латунні), оброблювані тиском. Марки (ГОСТ 15527-2004, ІДТ). З Поправками (ІПС № 6-2005), (ІПС № 9-2005). Київ. Держспоживстандарт України 2005.
7. ДСТУ ГОСТ 5017:2007 Бронзи олов'яні, оброблювані тиском. Марки (ГОСТ 5017-2006, ІДТ).
8. ДСТУ ISO 209-1:2002 Алюміній та алюмінієві сплави zdeформовні. Хімічний склад та види продукції. Частина 1. Марки (ISO 209-1:1989, ІДТ). Київ. Держспоживстандарт України 2004.
9. ДСТУ EN ISO 3834-1:2022 «Вимоги до якості для зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 1. Критерії вибору належного рівня вимог до якості». – Діючий (набрав чинності 31.12.2023).
10. ДСТУ EN ISO 9606-1:2018 «Кваліфікаційні випробування зварників. Зварювання плавленням. Частина 1. Сталі». — Діючий.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
«МЕТАЛОЗНАВСТВО ТА ЗВАРЮВАННЯ»

*(для здобувачів вищої освіти
спеціальності G19 «Будівництво та цивільна інженерія»)
(Електронне видання)*

Укладач: БІЛОШИЦЬКИЙ Микола Володимирович

Оригінал - макет Н.І. Білошицька

Підписано до друку _____

Формат 60×84¹/₁₆. Папір типограф. Гарнитура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. ____ . Обл.-вид.арк. ____ .

Тираж ____ прим. Вид. № ____ . Замовл. № ____ . Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Адреса видавництва: м. Київ, вул. Іоанна Павла II буд 17, Телефон: +38(050) 218
04 78, факс (064 52) 4 03 42

E-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com