

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет Конструювання та дизайну

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного

(назва кафедри)

менеджменту імені М.П. Момотенка

Руслан ШАТРОВ

(підпис)

(ПІБ)

«___» _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему «Розробка технологічного процесу відновлення тріщин
корпусних деталей зварюванням з газополуміневим захистом»**

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, професор.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Володимир БУЛГАКОВ

(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доц.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Соломка Олексій Валерійович

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Іващенко Владислав Олександрович

(ПІБ)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет Конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та
інженерного менеджменту імені М.П. Момотенка

К.Т.Н., доц. Руслан ШАТРОВ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

« ____ » _____ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Іващенко Владиславу Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Розробка технологічного процесу відновлення тріщин корпусних деталей зварюванням з газополуменим захистом»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «15» квітня 2026 р. № 1044 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру _____
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи Матеріали первинного бухгалтерського обліку, нормативно-методичні матеріали, науково-технічна література

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Розділ 1 Застосування чавунів при виготовленні корпусних деталей машин
2. Розділ 2 Методика проведення досліджень
3. Розділ 3 Результати проведення досліджень
4. Розділ 4 Промислові дослідження виготовлених деталей та техніко-економічні показники

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 14 слайдах

Дата видачі завдання «11» листопада 2025 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Соломка О.В.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Іващенко В.О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота Іващенко В. О. на тему «Розробка технологічного процесу відновлення тріщин корпусних деталей зварюванням з газополуменевим захистом» на здобуття ступеня вищої освіти бакалавр зі спеціальності галузеве машинобудування, освітньо-наукова програма «Галузеве машинобудування». – НУБіП України, Київ, 2026.

Загальний обсяг бакалаврської кваліфікаційної роботи 62 стор. Складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків; містить 26 рисунків, 12 таблиць, 21 посилань на джерела інформації.

Ключові слова: корпусні деталі, відновлення, наплавлення, електрод, корпусні деталі, структурі, мікротвердість, електрозварювання.

У машинобудуванні одним із основних конструкційних матеріалів є сірий чавун, з нього виготовляють дорогі базові деталі дизелів та різних механізмів, від якості ремонту яких залежить довговічність вузла чи агрегату загалом. Основними причинами відмов чавунних деталей є значні статичні та циклічні напруження, корозійно-ерозійний знос, абразивний знос, робота деталей в умовах зношування та циклічних навантажень. Розробка технології відновлення відповідних чавунних деталей зварюванням або наплавленням – одне з актуальних завдань ремонтної практики.

Чавун має погану технологічну зварюваність, обумовлену тим, що метали як наплавлений, так і навколошовної зони мають схильність до утворення гартових непластичних структур і тріщин внаслідок великих швидкостей охолодження, теплових та усадкових напружень. Його низька міцність і практично повна відсутність пластичності сприяють утворенню тріщин при зварюванні та наплавленні як у наплавленому.

Правильний вибір хімічного складу присадного матеріалу, створення необхідних умов для кристалізації зварювальної ванни та подальшого охолодження з'єднання є важливими факторами в управлінні процесом формування структури наплавленого металу та зон сплавлення та термічного впливу чавуну.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ЗМІСТ.....	4
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ЗАСТОСУВАННЯ ЧАВУНІВ ПРИ	
ВИГОТОВЛЕННІ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	9
1.1. Механічні властивості чавунів.....	9
1.2. Вплив хімічних елементів на фізико-механічні властивості чавунів.....	11
1.3. Особливості зварювання сірих чавунів.....	15
1.4. Висновки до розділу 1.....	29
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	31
2.1. Методика отримання нанопорошку.....	31
2.1.2. Конструкція кулькового млина.....	31
2.2. Методика вимірювання розмірів подрібненої глини.....	32
2.3. Методика підготовки зразків для хімічного аналізу.....	34
2.4. Методика виготовлення матеріалу покриття та нанесення покриття на електроди.....	36
2.5. Методика нанесення зварного шву.....	36
2.6. Методика досліджень зварного шву.....	38
2.7. Висновки до розділу 2.....	38
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
3.1. Дослідження розподілу компонентів глини та електроду без обмазки.....	39
3.2. Дослідження мікротвердості.....	48
3.3. Висновки до розділу 3.....	49
РОЗДІЛ 4 ПРОМИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ	
ВИГОТОВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ТА ТЕХНІКО-	
ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ.....	51

4.1.	Промислові дослідження виготовлених деталей.....	51
4.2.	Розрахунки орієнтованої економічної ефективності відновлення корпусу коробки заварюванням тріщин з газополуменевим захистом.....	51
4.3.	Висновки до розділу 4.....	57
ВИСНОВКИ.....		58
СПИСКИ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		60

ВСТУП

У процесі експлуатації у транспорті можуть виникнути різні несправності, спричинені тими чи іншими причинами, що знижують ефективність його використання. Тому технічне обслуговування та ремонт транспорту є найважливішим фактором підвищення ефективності використання автомобілів, тракторів, сільськогосподарської техніки, забезпечення безпеки руху, економії паливно-мастильних матеріалів та охорони навколишнього середовища.

Усунення несправностей та виконання регламентних робіт з підтримки транспорту в технічно справному стані займається комплекс служб, ремонтних, інженерних підрозділів. Їм надано відповідну виробничо-технічну базу. Як правило, це ремонтно-механічні підприємства, оснащені необхідним обладнанням, інструментом, оснащенням.

В даний час з чавуну виготовляється велика кількість базових деталей для тракторів, автомобілів, технологічного обладнання та будівельно-дорожніх машин.

Чавун – це сплав основними компонентами, які є залізо з вуглецем, містить ще додаткові такі як леговані добавки та домішки. Саме наявність вуглецю змінює властивості заліза, замість звичної пластичності і в'язкості з'являється жорсткість і крихкість. У зв'язку з цим кардинально змінюються способи зварювання деталей з чавуну.

Тому роботи, направлені на пошук рішень щодо підвищення якості зварювання чавунних деталей введенням домішок в наплавлювальний шар є актуальними.

Мета кваліфікаційної роботи - розробка технології підвищення якості зварювання чавунних деталей з газополуменевим захистом та введенням домішок.

Завдання:

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- запропонувати технологію подрібнення домішок до нанорозмірного стану;
- розробити технологію введення домішки у наплавлений матеріал;
- дослідити розподіл компонентів в наплавленому матеріалі та вплив на зносостійкість;
- провести апробацій з оцінкою очікуваної економічної ефективності.

Об'єкт дослідження процес підвищення якості зварювання чавунних деталей з газополуменевим захистом.

Предмет дослідження підвищення якості зварювання чавунних деталей електрозварюванням з газополуменевим захистом.

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів.

Розроблена технологія нанесення подрібнення та нанесення порошку на електрод марка ЦЧ-4 ТМ МОНОЛІТ. Подрібнений порошок глини розмішували з клеєм марки ПВА у пропорції 2 грама порошку та 2 грама клею та ретельно перемішували. Після чого ,отриману емульсію зразу наносили тонким шаром на електроди. На 1 електрод приблизно витрачалося 1,6 грамів емульсії. Перед нанесенням на електроди підготовленого порошку з подрібненої глини, електроди попередньо були поміщені в піч з температурою 180°C терміном на 1,5 години, після чого висушували на повітрі протягом 24 годин. Після нанесення шлікерного покриття знову висушували на повітрі 24 години, а потім в печі з температурою 180°C на 4 години. Наносили покриття з допомогою ручного електродугового апарату марки ПАТОН ВДИ-200 Р з наступними параметрами при зварюванні: напруга 20 В; сила струму 90 А.

Підвищення концентрації хімічних елементів пов'язано з додатковим введенням глини. З хімічного складу глини видно, що більший вміст у ній алюмінію, кальцію та кремнію. Так як вводилося до 6% глини від об'єму електрода, то зміна вмісту компонентів збільшується несуттєво. Також по перетину наплавлення з введенням глини виявлено білі зерна розміром до 1мкм з підвищеним вмістом вуглецю 24,06%, титану 0,65% та ванадію 56,26%. Мікротвердість наплавленої поверхні з додатковим введенням глини

збільшується на 50 одиниць до Н-50-693,10, а перехідної зони зменшується на 180 до Н-50-425,55 в порівнянні з наплавленням тільки електродом. Це свідчить про вплив глини навіть в невеликій кількості при введенні у наплавлення. Зменшення мікротвердості перехідної зони може впливати позитивно на покриття, так як виникаючі напруження в зоні сплавлення будуть меншими та це буде сприяти зменшенню появи дефектів. Після заварювання тріщин в КЗП вантажного автомобіля коробки пропрацювали 7 місяців та працюють надалі, що вказує на придатність розробленого способу заварювання дефектів корпусів та може бути рекомендована для впровадження у виробництво. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження технології заварювання тріщин у корпусах коробок складе 76558,8 грн при річному обсязі 120 шт.

РОЗДІЛ 1 ЗАСТОСУВАННЯ ЧАВУНІВ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

1.1. Механічні властивості чавунів

Механічні властивості сірих чавунів можуть варіюватись в залежності від їх складу та методу виробництва, але загалом сірий чавун має наступні характеристики [1-11]:

Міцність на розтяг: Сірий чавун має високу міцність на розтяг, зазвичай в діапазоні від 150 до 300 МПа. Однак, це значення залежить від складу легуючих елементів та умов виробництва (табл 1.1).

Таблиця 1.1.

Механічні властивості сірого чавуну при розтяганні

Чавун	Основні властивості		
	Модуль пружності $E; \text{Н/мм}^2 \cdot 10^{-4}$	Відносне подовження $\delta, \%$	Межа міцності, при вигині $\sigma, \text{Н/мм}^2$
СЧ10	6-8	0,2-1,0	280
СЧ15	6-8	0,2-1,0	350
СЧ20	8,5-12	0,4-0,7	420
СЧ25	8,5-12	0,4-0,7	490
СЧ30	13-14,5	0,6-0,9	560
СЧ35	13-14,5	0,6-0,9	630

Міцність на стиск: Сірий чавун має низьку міцність на стиск, зазвичай в діапазоні від 50 до 150 МПа. Це зумовлено тим, що сірий чавун має високу пористість (табл. 1.2).

Твердість: Сірий чавун має високу твердість, зазвичай в діапазоні від 180 до 220 Брінелля. Твердість сірого чавуну залежить від складу та методів виробництва (табл. 1.3).

Зносостійкість: Сірий чавун має досить високу зносостійкість, що

зумовлено його високою твердістю та деякою еластичністю.

Ударна в'язкість: Сірий чавун має низьку ударну в'язкість, тому він не є матеріалом, який добре підходить для виготовлення деталей, що піддаються великим навантаженням на удар.

Таблиця 1.2.

Механічні властивості сірого чавуну при стисненні

Чавун	Межа міцності, при стисненні $\sigma_{ст}$, Н/мм ²	Відносне осідання при стисненні ψ , %	Границя витривалості σ_{-1} , Н/мм ²
СЧ10	500-800	20-40	70-90
СЧ15	500-800	20-40	70-90
СЧ20	850-950	20-30	120-140
СЧ25	850-950	20-30	120-140
СЧ30	1100-1200	10-20	150-170
СЧ35	1100-1200	10-20	150-170

Таблиця 1.3.

Залежність міцності ($\sigma_{ст}$) і твердості (НВ) сірого чавуну від товщини стінок виливків

Чавун	Товщина стінки, мм							
	8		30		80		150	
	$\sigma_{ст}$ Н/мм ²	НВ	$\sigma_{ст}$ Н/мм ²	НВ	$\sigma_{ст}$ Н/мм ²	НВ	$\sigma_{ст}$ Н/мм ²	НВ
СЧ10	120	200	80	185	70	149	65	120
СЧ15	180	224	110	201	90	156	80	130
СЧ20	220	240	160	216	130	163	120	143
СЧ25	270	255	210	238	165	170	150	156
СЧ30	330	270	260	250	195	187	180	163
СЧ35	380	290	310	270	225	201	205	179

Крихкість: Сірий чавун є крихким матеріалом, тому він не підходить для виготовлення деталей, які піддаються розтягуючому навантаженню.

Ізотермічна та адіабатична оброблюваність: Сірий чавун має високу ізотермічну та адіабатичну оброблюваність, що дозволяє його легко формувати та працювати з ним при високих температурах.

Механічні властивості сірого чавуну регламентуються ГОСТ 1412 і наведені в табл. 1.4. Необхідно враховувати, що порядок підготовки і проведення механічних випробувань сірого та інших чавунів відрізняються від методів випробування сталі. Наприклад, для чавунних виливків контроль властивостей проводять згідно ГОСТ 27208 «Виливки із чавуну. Методи механічних випробувань», а способи одержання заготовок для зразків з кожного чавуну регламентовані відповідним стандартом (для сірого – ГОСТ 24648).

Таблиця 1.4.

Механічні властивості і рекомендовані склади сірого чавуну

Чавун	Тимчасовий опір σв, Н/мм ² , не менше	Масова частка елементів, %				
		C	Si	Mn	не більше	
					P	S
СЧ10	100	3,5-3,7	2,2-2,6	0,5-0,8	0,3	0,15
СЧ15	150	3,5-3,7	2,0-2,4	0,5-0,8	0,2	0,15
СЧ20	200	3,3-3,5	1,4-2,4	0,7-1,0	0,2	0,15
СЧ25	250	3,2-3,4	1,4-2,2	0,7-1,0	0,2	0,15
СЧ30	300	3,0-3,2	1,4-1,9	0,7-1,0	0,2	0,12
СЧ35	350	2,9-3,0	1,2-1,5	0,7-1,0	0,2	0,12

1.2. Вплив хімічних елементів на фізико-механічні властивості чавунів.

Вплив хімічної властивості на структуру і фізико-механічні властивості сірого чавуну [12-16]. Вплив основних елементів на графітизацію чавуну:

Вуглець. Підвищення вмісту вуглецю в сірому чавуні призводить

загалом до зменшення міцності, модуля пружності та твердості й до збільшення пластичності та циклічної в'язкості. Нижня межа вмісту вуглецю в чавуні з підвищеною міцністю обмежується зниженням ливарних властивостей чавуну. Зазвичай вміст вуглецю в сірому чавуні коливається в межах 2,4-4,2%.

Кремній з точки зору його впливу на графітизацію сірого чавуну є аналогом вуглецю. Однак його вплив на механічні властивості принципово відрізняється від впливу вуглецю. Кремній утворює з феритом твердий розчин і підвищує твердість і міцність фериту, знижуючи одночасно його в'язкість. Сумарний (графітизуючий і легуючий) вплив кремнію може істотно змінювати механічні властивості сірого чавуну. Зазвичай підвищення вмісту кремнію пов'язане зі зростанням величини графітових включень і підвищенням частки фериту в матриці; міцність сірого чавуну при цьому знижується. За високого вмісту кремнію знижується пластичність сірого чавуну за рахунок утворення силікофериту. Твердість сірого чавуну зі збільшенням вмісту кремнію спочатку знижується внаслідок графітизації, а потім збільшується за рахунок утворення силікофериту.

Вплив вуглецю і кремнію на механічні властивості сірого чавуну зазвичай розглядають спільно. У найпростішому випадку враховують сумарний вміст вуглецю і кремнію, більш точним є спосіб визначення вуглецевого еквівалента або ступеня евтектичності.

Сірка. Послаблюючи межі зерен, евтектика Fe-FeS знижує міцність і пластичність чавуну. З іншого боку, сірка сприяє перлітизації структури і може підвищувати міцність і твердість феритного або ферито-перлітного сірого чавуну. Крім того, сірка підвищує зносостійкість чавуну.

Марганець гальмує графітизацію, легує ферит, сприяє подрібненню перліту й іноді утворенню вільних карбідів. Вплив марганцю на механічні властивості чавуну показано на рис. 1.1. Марганець, взаємодіючи з сіркою, нейтралізує її шкідливий вплив, тому вибір кількості марганцю має бути пов'язаний із вмістом сірки. При виплавці малосірчистого чавуну вміст марганцю слід знижувати.

Фосфор легує ферит, сприяє подрібненню евтектичного зерна й утворенню включень фосфідної евтектики. З підвищенням вмісту фосфору збільшується твердість і зносостійкість чавуну.

Хром. Зі збільшенням вмісту хрому зростає міцність і твердість чавунних виливків; наростання міцності відбувається швидше у модифікованого чавуну. Хром гальмує графітизацію і є активним карбідоутворювальним елементом. На рис. 40 показано зміну твердості у виливках з різною товщиною стінки при зміні вмісту хрому. Зростання твердості в тонких перерізах зі збільшенням вмісту хрому відбувається більш інтенсивно, ніж у товстих.

Нікель сприятливо впливає на вирівнювання механічних властивостей чавуну у виливках з різною товщиною стінки. У чавуні з вмістом нікелю трохи більше 3% міцність майже не змінюється при товщині стінок від 22 до 88 мм. Кожен відсоток нікелю підвищує твердість сірого чавуну приблизно на 10 НВ. Зі збільшенням вмісту нікелю зростає корозійна стійкість чавуну, особливо в лужних середовищах; поліпшується оброблюваність і, крім того, підвищується герметичність, тому що за високої евтектичності графіт набуває сприятливої форми, а величина зерна зменшується.

Молібден є інтенсивним карбідоутворювальним елементом і гальмує графітизацію. Міцність і твердість чавуну зі збільшенням вмісту молібдену підвищується. Зі збільшенням вмісту молібдену міцність чавуну зростає лінійно: 1% Мо підвищує міцність приблизно на 1 кГ/мм^2 за будь-якого ступеня евтектичності від 0,8 до 1,0. Ударна в'язкість при цьому не падає, а навіть дещо збільшується. Молібден збільшує міцність чавуну за підвищених температур. Максимум міцності досягається при вмісті 1,9% Мо, потім відбувається падіння властивостей через утворення ледебуриту. Підвищення твердості внаслідок підвищення однорідності не супроводжується погіршенням оброблюваності. Молібден підвищує також опір чавуну зносу і його росто-стійкість.

Мідь чинить на сірий чавун подвійну дію: сприяє графітизації під час затвердіння й утворенню перліту під час евтектоїдного перетворення. Зі

збільшенням вмісту міді збільшується рідкотекучість і зменшується усадка. При збільшенні вмісту міді підвищується модуль пружності чавуну, міцність і твердість.

Відзначається підвищення модуля пружності з 13000 до 20000 кГ/мм², межа міцності під час вигину - з 35 до 67 кГ/мм², твердості - з 137 до 20 НВ, причому при 2,6% Сі вона залишалася рівномірною по всьому перерізу виливків.

Мідянистий чавун обробляється краще за нелегований. Добавка міді до чавуну, легованого карбідоутворювальними елементами (хромом, молібденом, ванадієм), знижує його твердість і покращує оброблюваність, а також може підвищувати міцність, знижуючи крихкувальну дію карбідів. Внаслідок позитивного впливу міді на утворення тонкопластинчастого перліту підвищується корозійна стійкість мідянистого чавуну в багатьох середовищах.

Підвищення межі міцності при розтягуванні мідянистого чавуну відбувається незалежно від його евтектичності; збільшення твердості залежить від евтектичності (за низької евтектичності твердість зростає інтенсивніше).

Олово за вмісту до 0,1% підвищує твердість, а також міцність і модуль пружності сірого чавуну. Однак одночасно з підвищенням твердості збільшується схильність чавуну до відбілювання. Тому, щоб уникнути відбілювання, вміст олова не повинен перевищувати 0,05-0,08%.

Олово як легувальний елемент рекомендується використовувати замість хрому для усунення великих коливань у твердості за різними перетинами виливків.

Олово помітно знижує ріст чавуну й утворення окалини.

Сурма в сірому чавуні перешкоджає виділенню вільного фериту подібно до олова, але більш ефективно. Вплив сурми виявляється за її вмісту 0,015%, а добавки 0,03-0,08% Sb забезпечують ефективне легування чавуну. Міцність чавуну збільшується приблизно при вмісті в ньому до 0,1% Sb, поки не буде досягнута чисто перлітна структура, а при подальшому збільшенні вмісту сурми знижується міцність. Сурма впливає тільки на кристалізацію металевої

основи чавуну, не змінюючи ні форми, ні розподілу графітових включень. Ударна в'язкість чавуну при легуванні сурмою знижується.

Зі збільшенням вмісту сурми помітно знижується чутливість чавуну до товщини стінки. Вплив сурми на механічні властивості наведено в табл.

Бор підвищує міцність чавуну, сприяючи виділенню подрібнених карбідів. За надзвичайно малих домішок бор, очевидно, чинить на чавун графітизуючий вплив і дещо підвищує стрілу прогину та ударну в'язкість; за більших вмістів бору підвищується міцність і знижується пластичність і в'язкість чавуну.

За підібраного співвідношення бору і кремнію в широкому діапазоні товщини стінок і евтектичності чавуну виходить своєрідна половинчаста структура з рівномірно розподіленою цементитною сіткою на перлітній основі. Залежно від кількості введенного бору можливе отримання твердості до 260 НВ. Сірий чавун з тонкою цементитною сіткою добре обробляється. Аналогічний вплив на властивості чавуну чинять комплексні добавки бору та алюмінію. Шляхом легування бором можна значно підвищити зносостійкість чавуну без побоювання знизити його оброблюваність.

Найширше застосування знаходить комплексне легування з введенням у чавун декількох елементів одночасно.

1.3. Особливості зварювання сірих чавунів.

Чавун зварюють зазвичай тільки під час ремонтно-відновлювальних робіт і під час виправлення дефектів у чавунних виливках. Основні чинники, що ускладнюють зварювання чавуну, такі [1]:

- утворення тріщин у навколошовних зонах у процесі зварювання і під час охолодження після зварювання. Причина - низькі пластичні властивості і виникнення в процесі зварювання великих внутрішніх напружень;

- під час зварювання спостерігається вигорання кремнію, що супроводжується появою вибілених зон у металі шва і в основному металі, прилеглому до шва. Висока твердість цих зон ускладнює подальшу механічну

обробку і, крім того, призводить до утворення тріщин;

- чавун під час нагрівання дуже швидко переходить із твердого стану в рідкий, і навпаки. Ця властивість чавуну майже унеможливорює його зварювання в стельовому положенні і ускладнює в інших положеннях;

- інтенсивне вигоряння вуглецю робить зварний шов пористим. На утворення пористості також впливає швидкий перехід чавуну з рідкого стану в твердий, за якого гази не встигають видалитися зі зварювальної ванни;

- під час зварювання відбувається окислення кремнію, оксиди кремнію мають температуру плавлення вищу, ніж метал, що зварюється, внаслідок чого процес зварювання ускладнюється;

- чавунні вироби мають різноманітний хімічний склад і структуру. Різноманітність хімічного складу і структури іноді може спостерігатися в різних ділянках одного і того ж виробу. Це відбувається внаслідок того, що більш тонкі частини чавунних виливків остигають швидше і в них спостерігається частковий вибіл, а більш товсті частини остигають повільніше і мають структуру сірого чавуну. Найгірше зварюється чавун з грубозернистою структурою. Чавун з дрібнозернистою структурою зварюється значно краще. На структуру чавуну впливає в основному його хімічний склад.

Чавунні деталі, що працюють тривалий час за високих температур, майже не піддаються зварюванню. Це відбувається внаслідок того, що під дією високих температур (300-400°C і вище) вуглець і кремній окислюються і чавун стає дуже крихким. Чавун з окисленим вуглецем і кремнієм називають горілим. Також погано зварюються чавунні деталі, що працювали тривалий час у зіткненні з маслом і гасом. У таких випадках поверхня чавуну ніби просочується маслом і гасом, які під час зварювання згорають і утворюють гази, що сприяють появі суцільної пористості в зварному шві.

1.4 Висновки та задачі дослідження.

Способи зварювання [1, 17].

Чавун можна зварювати дуговим зварюванням металевим або вугільним електродами, газовим зварюванням, термитним зварюванням і заливкою рідким

чавуном. За станом деталі, що зварюється, розрізняють три способи зварювання чавуну: холодне, напівгаряче і гаряче. Холодне зварювання виконують без підігріву деталей, що зварюються, напівгаряче - за повного або місцевого підігріву до температури 300-400°C, гаряче - за повного нагріву до температури 600-800°C. Ці способи зварювання підрозділяють на окремі методи залежно від виду зварювання, застосовуваних електродів і присадного металу.

Вибір способу і методу зварювання залежить від вимог, що пред'являються до зварного з'єднання, а в деяких випадках і від виробничих можливостей. Під час вибору методу зварювання враховують необхідність механічного оброблення металу шва і навколошовної зони після зварювання, необхідність отримання однорідності металу шва з металом зварювальних деталей, вимоги до щільності зварного шва, а також навантаження, за яких мають працювати зварювані деталі. Холодне зварювання. Цей спосіб зварювання має кілька різновидів: сталевими електродами, сталевими електродами зі спеціальними покриттями, сталевими електродами за допомогою шпильок, чавунними електродами, комбінованими електродами, мідними електродами, електродами з монель-металу, електродами з нікелевого аустенітного чавуну, газове (ацетилено-кисневим полум'ям). Зварювання сталевими електродами застосовують під час ремонту невідповідальних чавунних виробів невеликих розмірів з малим об'ємом наплавлення, які не потребують після зварювання механічної обробки. Зварне з'єднання неоднорідне за структурою, часто не має достатньої щільності і має низьку міцність.

Зварювання електродами із захисно-легувальними покриттями виконують з V або X-подібним обробленням крайок. Для усунення нерівномірного розігріву деталі зварюють окремими ділянками врозбивку. Довжина окремих наплавлених ділянок зварного шва не повинна перевищувати 100-120 мм. Після наплавлення окремих ділянок їм дають можливість охолонути до температури 60-80 °C. Під час зварювання виробів товщиною 8-15 мм зварювання ведуть зі збільшеною шириною посилення шва (рис. 1.1.).

Зварювання електродами з покриттями ОММ-5 і JS-5 можна виконувати на змінному або на постійному струмі. Найкращі результати отримують під час зварювання електродами з покриттям У ОНИ-13/45.

Зварювання електродами з покриттям УОНИ проводять на постійному струмі зворотної полярності.

Зварювання за допомогою шпильок вимагає спеціальної підготовки виробів під зварювання. Цим способом відновлюють відповідальні вироби як малих, так і великих габаритів (гідравлічні та повітряні циліндри, станини пресів, верстатів тощо), які працюють за значних навантажень і не потребують обробки після зварювання.

За цього способу кромки деталей, що зварюються, скошують під кутом 45° (за товщини деталей понад 5-6 мм). Загальний кут оброблення повинен становити 90° . У підготовлених крайках просвердлюють отвори і нарізають різьбу. В отвори вкручують шпильки з низьковуглецевої сталі.

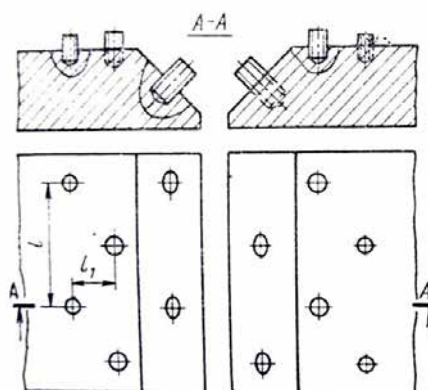


Рис. 1.1. Підготовка чавунних деталей під зварювання за допомогою шпильок

Таблиця 1.5.

Діаметр шпильок залежно від товщини чавунних деталей, що зварюються (див. рис. 1.1), мм

Товщина металу, що зварюється	Діаметр шпильки	Відстань між шпильками, (рис. 1.1.)	
		<i>l</i>	<i>l1</i>
10-20	10	40-60	5-10
20-25	12	48-50	10-12

25-30	14	50-56	12-15
>30	16	50-80	15-20

Шпильки розташовують у шаховому порядку (рис. 1.1). Вони можуть бути різних діаметрів залежно від товщини деталей, що зварюються, у разі товщини деталей, що зварюються, до 10 мм діаметр шпильок не повинен перевищувати 6 мм. У разі більшої товщини деталей, що зварюються, діаметр шпильок орієнтовно вибирають за табл. 1.5. При цьому в оброблення встановлюють шпильки більшого діаметра, а біля оброблення ставлять шпильки меншого діаметра, як показано на рис. 1.2. Висота піднесення шпильок над поверхнею металу, що зварюється, має бути 0,5-1,0 діаметра шпильки. Перед зварюванням шпильки щільно вкручують у тіло металу, що зварюється. Глибина посадки шпильок має становити 1-2 діаметри шпильки. Оброблення крайок може бути V- і X-подібне. Найчастіше застосовують V-подібне оброблення на половину товщини металу, що зварюється. Підготовлений під зварювання з вкрученими шпильками метал має бути очищений від бруду, масла, вологи і ливарної кірки. Зварювання виконують на постійному або змінному струмі з використанням електродів із захисно-легувальними покриттями типів E42, E42A, E50 і E50A. За товщини металу до 5 мм діаметр електрода беруть 3 - 4 мм, за товщини 5-10 мм діаметр електрода 4-5 мм. Орієнтовний режим зварювання такий:

Діаметр електрода, мм	3	4	5
Сила струму, А	90-100	130-160	180-200

У процесі зварювання спочатку обварюють шпильки кільцевими швами, потім заповнюють ділянки між обвареними шпильками. Після цього заплавляють уже всю розділку. Під час виконання всіх перерахованих операцій зварювання потрібно вести короткими ділянками по 100-150 мм, щоб не розігрівати сильно виріб. Щоб уникнути викривлення, кількість наплавленого металу має бути мінімальною, тонкостінні вироби рекомендується перед зварюванням закріплювати.

За товщини металу 10 мм. у відповідальних деталях рекомендується встановлювати між шпильками анкери, виготовлені зі смугової або круглої низьковуглецевої сталі. Анкери встановлюють під кутом 45° або перпендикулярно до зварного шва (рис. 1.2.), після того як будуть заварені ділянки між шпильками. Анкери повинні щільно прилягати середньою частиною до наплавленого металу, а кінцями до деталі, що зварюється. За товщиною анкери можна заварювати неповністю. Довжину анкерів беруть залежно від ширини ділянки, що зварюється, а товщину або діаметр у межах 6-12 мм.

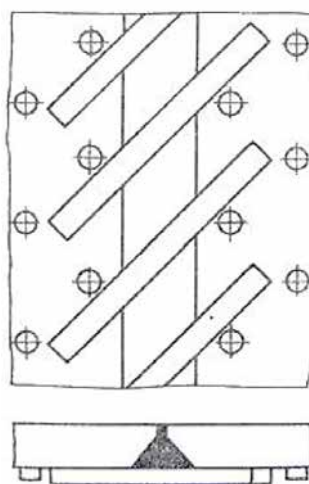


Рис. 1.2. Зварювання чавунних деталей за допомогою шпильок і анкерів

Сталевими електродами зі спеціальним покриттям зварюють вироби нескладної форми, середніх розмірів і маси, з товщиною стінок до 15 мм, що працюють за незначних статичних і ударних навантажень. Зварне з'єднання неоднорідне за структурою, проте метал зварного шва за складом і властивостями досить близький до сірого чавуну. При правильному і досить ретельному виконанні зварювання можна отримати щільне з'єднання, що піддається обробці ріжучим інструментом. Цей метод зварювання придатний для заварювання ливарних дефектів з невеликим обсягом наплавлення. Існують кілька складів спеціальних покриттів електродів. Ці покриття переважно складаються з графіту, феросиліцію і міді. Залежно від процентного вмісту тих чи інших компонентів в електродному покритті можна отримати різний

хімічний склад наплавленого металу. Важливу роль у складі покриття відіграє феросиліцій, який як графітізатор сприяє отриманню сірого чавуну. Сталеві електроди зі спеціальними покриттями мають сталевий стрижень із низьковуглецевого зварювального дроту Св-08 або Св-08А. Склади найпоширеніших спеціальних покриттів наведено в табл. 1.6. Режими зварювання беруть такі самі, як і під час зварювання чавуну звичайними сталевими електродами. Зварювання чавунними електродами в холодному стані здебільшого застосовують для виправлення дефектів чавунного литва - дрібних ливарних пір, рихлостей, раковин і тріщин. Метал зварного шва можна отримати близьким за хімічним складом до основного металу, проте в металі зварного шва і прилеглих до нього зонах спостерігається вибіл, що ускладнює подальшу механічну обробку.

Таблиця 1.6.

Склади спеціальних покриттів сталевих електродів для зварювання чавуну, %

Компоненти	1	2	3	4	5	6	7
Графіт	40	50	7,8	40	20	40	32,2
Феросиліцій	-	40	79	50	-	50	28,5
Карборунд	60	-	-	5	-	-	-
Крейда	-	10	13,2	5	40	10	17,8
Плавикий шпат	-	-	-	-	40	-	14,3
Залізна окалина	-	-	-	-	-	-	7,2

Чавунні електроди виготовляють із круглих литих прутків таких розмірів, мм:

Діаметр	4	6	8, 10, 12
Довжина	250	350	450

Допустиме відхилення довжини прутків ± 15 мм. На поверхні прутків не повинно бути пор, раковин та інших дефектів. Прутки виготовляють із чавуну двох марок: А і Б (табл. 1.7.). Прутки марки А застосовують для газового

зварювання і для стрижнів електродів під час гарячого зварювання, марки Б - для стрижнів електродів, призначених для холодного, напівгарячого і гарячого зварювання. Компоненти електродних покриттів для чавунних електродів замішують на рідкому склі.

Таблиця 1.7.

Хімічний склад чавунних електродних прутків, %

Марка	C	Si	Mn	S, не більш е	P	Cr	Ni	Призначення
						не більше		
А	3,0- 3,6	3,0- 3,5	0,5- 0,8	0,08	0,2- 0,5	0,05	0,3	Для газового зварювання і для стрижнів електродів при гарячому зварюванні
Б		3,6- 4,8			0,3- 0,5			Для стрижнів електродів при гарячому, напівгарячому і холодному зварюванні

Чавунними електродами можна зварювати тільки в нижньому положенні як на постійному, так і на змінному струмі. Режими холодного зварювання чавунними електродами наведені в табл. 1.8.

Таблиця 1.8.

Режими холодного зварювання чавунними електродами

Товщина металу, що зварюється, мм	Діаметр електрода, мм	Сила струму, А
До 15	6	270-300
Зв. 15 до 30	8	300-400
» 30 » 40	10	450-500
» 40 -	12	500-650

Мідними електродами зварюють вироби, що працюють за незначних

статичних навантажень, а також вироби, які потребують щільних швів. Виконаний мідними електродами зварний шов обробляють ріжучим інструментом. Цей спосіб зварювання можна застосовувати для заварювання дрібних дефектів у виливках, а також для ремонту малогабаритних деталей. Мідні електроди виготовляють зі стрижнів діаметром 3-6 мм, які потім обгортають сталеву низьковуглецеву стрічкою або дротом. На підготовлений стрижень наносять крейдове покриття. Замість обгортки зі сталеві стрічки для мідних електродів застосовують також спеціальне покриття, що має наступний склад мас.ч:

Титанова руда	5
Феросиліцій	50
Алюміній у порошку	15
Графіт	20
Мармур	25
Плавииковий шпат	10

Мідними електродами можна зварювати на постійному і на змінному струмі. Найкращі результати виходять при зварюванні на постійному струмі зворотної полярності. Зварювання електродом з монель-металу застосовують у тих випадках, коли від зварного з'єднання не потрібна велика міцність. Здебільшого цей метод зварювання застосовують для заварювання дефектів лиття, розташованих у невідповідальних місцях виливки. Зварний шов добре обробляється ріжучим інструментом.

Електроди з монель-металу складаються з мідно-нікелевих стрижнів діаметром 3-6 мм і спеціального покриття. Склади покриттів для електродів наведено в табл. 1.9. Зварювання проводять на постійному струмі зворотної полярності. Валики накладають короткими ділянками по 60-70 мм, після чого їм дають охолонути. У процесі зварювання валики піддають легкому прокуванню. Зварювання електродами з нікелевого аустенітного чавуну застосовують під час виправлення дефектів у виливках. Механічна обробка наплавленого металу скрутна, особливо в разі одношарового наплавлення. Зварне з'єднання має

досить високу міцність.

Таблиця 1.9.

Склади покриттів для електродів з менель-металу, %.

Компоненти	1	2	3	4
Графіт	60	40	74	-
Крейда	-	60	-	58
Вуглекислий калій (поташ)	1,5	-	-	-
Окис алюмінію	-	-	4	-
Каолін	-	-	6	-
Вуглекислий стронцій	-	-	-	30
Залізна окалина (крокус)	-	-	-	12

* Склад покриттів наведено в мас. ч.

Електроди складаються з чавунних легованих нікелем прутків і спеціальних покриттів.

Приблизний хімічний склад нікелевого чавуну такий, %:

Вуглець	2,5
Кремній	2-2,5
Марганець	0,6-0,8
Нікель	20-22
Мідь	5
Сірка	0,05-0,6
Фосфор	0,1-0,2

Покриття складається з 70 % карборунду і 30 % вуглекислого барію або вуглекислого стронцію, розведених на рідкому склі. Крім того, можна застосовувати покриття УЗТМ-81, що наноситься на електродний стрижень у два шари. Перший шар складається з алюмінієвого порошку, а другий шар має такий склад, %:

Графіт	55
--------	----

Титанова руда	30
Алюміній металевий у порошку	10
Мармур	5

Зварювання виконують як на змінному, так і на постійному струмі. При багатошаровому зварюванні шви піддають легкому прокуванню. Зварні шви, виконані в кілька шарів, піддаються обробці ріжучим інструментом. Газове зварювання є досить поширеним способом ремонту чавунних деталей. У разі використання як присадного металу латунних прутків зварний шов виходить досить щільним і піддається механічній обробці. Газове зварювання чавуну можна розділити на зварювання і на пайку. Під час зварювання як присадний метал застосовують сталевий зварювальний дріт Св-08 і Св-08А або стрижні з чавуну марки А, під час паяння - латунні прутки, хімічний склад яких наведено в табл. 1.10. Склад флюсів, що застосовуються під час зварювання і паяння, наведено в табл. 1.11.

У холодному стані із застосуванням як присадного металу чавунних прутків зварюють невідповідальні деталі з малим обсягом наплавлення. Орієнтовні режими газового зварювання наведені в табл. 1.12. Для забезпечення виходу газів рідкий метал зварювальної ванни перемішують кінцем присадного чавунного прутка.

Таблиця 1.10.

Приблизний хімічний склад латуні та бронзи, що застосовуються як присадний метал під час газового паяння чавуну, %

Присадний метал	Cu	Zn	Pb	Fe	Mn	Ni	P	S
Латунь	58-59	38-40	0,9-1,1	0,5-1	0,4-0,8		0,01	-
Латунь	58-59	38-40	0,9-1,1	0,5-1	0,4-0,8	0,5	0,12	0,25
ЛК 62-0,5	60,5-65	39	0,55	0,6	-		0,02	0,4-0,6

Бронза зварювальна (бронза «Тобіна»)	56,-62	38-41	1-3,5	0,7-1	0,5-0,8	0,3-0,8	-	-
---	--------	-------	-------	-------	---------	---------	---	---

Таблиця 1.11.

Склади флюсів для зварювання і пайки чавуну, %

	1	2	3	4
Бура	100	56	70	56
Кухонна сіль	-	22	20	-
Вуглекислий калій (поташ)	-	22	-	22
Борна кислота	-		10	-
Вуглекислий натрій (сода)	-		-	22

Примітка. Флюси складів 1-3 використовують при газовому зварюванні та пайці, а також при зварюванні вугільним електродом, а флюс складу 4 - при газовій пайці.

Під час ремонту чавунних деталей у холодному стані в більшості випадків застосовують газову пайку. Вона характеризується тим, що присадка або припій розплавляються, а метал деталі залишається в нерозплавленому стані. Для збільшення поверхні зчеплення наплавленого металу з металом деталі кромки останньої готують, як показано на рис. 1.3. Перед зварюванням кромки деталі прогрівають, а потім посипають флюсом. Після цього оброблення заплавляють латунню. Наконечник пальника беруть із розрахунку витрати 50-75 л/год ацетилену на 1 мм товщини деталі, що зварюється. У процесі зварювання в рідкий метал періодично подають флюс, а зварювальну ванну безперервно перемішують кінцем присадного прутка.

Таблиця 1.12.

Орієнтовні режими газового зварювання чавуну із застосуванням
чавунних присадних прутків

Товщина металу, мм	Номер наконечника пальника	Потужність полум'я з розрахунку витрати ацетилену, л/год
До 5	3-4	400-500
Від 5 до 10	4-5	700-1100
Від 10 до 15	5-6	1100-1700
Понад 15	6-7	1700-2800

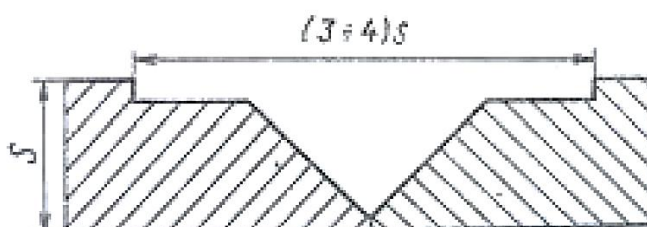


Рис. 1.3. Підготовка крайок для зварювання чавуну латунню

Напівгаряче зварювання. Підігрів деталі, що зварюється, до 300-400°C сприяє більш сповільненому охолодженню металу шва і прилеглих до нього зон після зварювання. Уповільнене охолодження значною мірою запобігає отриманню вибілених зон, що дає змогу проводити механічну обробку зварних з'єднань. Деталі перед зварюванням нагрівають у термічних печах, горнах або за допомогою газових пальників ацетилено-кисневим полум'ям. Під час підігріву газовим пальником необхідно стежити за рівномірністю нагріву поверхні, що підігрівається.

Напівгаряче зварювання чавуну можна здійснювати низьковуглецевими сталевими електродами із захисно-легувальним покриттям типу ОММ-5, МР-3, К-5 і У ОНІ-13, сталевими електродами зі спеціальним покриттям, чавунними електродами і ацетилено-кисневим полум'ям із застосуванням чавунних припадочних прутків. Під час зварювання наскрізних тріщин або під час

зварювання дефектів, що знаходяться на краю деталей, необхідно застосовувати графітові форми, що запобігають витіканню рідкого металу зі зварювальної ванни. Під час зварювання слід безперервно підтримувати значний об'єм розплавленого металу у зварювальній ванні та ретельно його перемішувати кінцем електрода або присадного стрижня. Для уповільненого охолодження зварені деталі засипають дрібним деревним вугіллям або сухим піском.

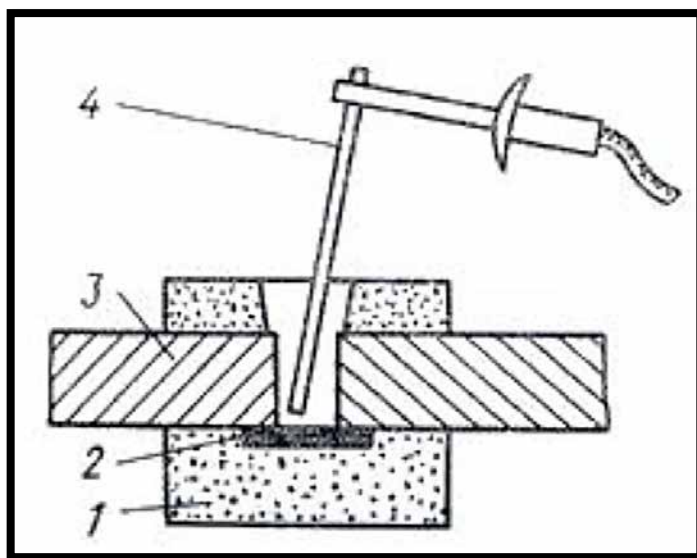


Рис. 1.4. Гаряче зварювання чавуну: 1- формувальна земля; 2 - графітна пластинка; 3 - деталі, що зварюються; 4 - електрод

Гаряче зварювання [1, 17]. Дрібні деталі попередньо підігрівають до 500-700°C, великогабаритні (товщина стінок понад 30 мм) - до 700-800°C.

Гаряче зварювання складається з таких послідовних операцій: механічної обробки під зварювання, формування зварюваних деталей, нагрівання, зварювання та охолодження зварених деталей.

Механічна обробка полягає у вирубці дефектних ділянок і зачистці їх від масла, бруду, шлаку і формувальної землі. Під час зварювання двох зламаних частин скосу крайок не роблять, а залишають між ними зазор, що забезпечує Доступ електрода. Стінки деталей у зазорі мають бути механічно оброблені.

Для запобігання витіканню розплавленого металу з ділянок, що підлягають зварюванню, формують за допомогою формувальної землі та

графітових пластинок (рис. 1.4.).

Деталі нагрівають у спеціальних нагрівальних печах, колодязях, горнах або за допомогою індукційних підігрівачів. У деяких випадках на місці зварювання споруджують тимчасові нагрівальні горни і печі.

Для гарячого зварювання застосовують чавунні електроди зі стрижнями марок А і Б. Найпоширенішими електродними покриттями для гарячого зварювання є ОМЧ-1 і УЗТМ-74. Зважаючи на значний об'єм наплавленого металу при гарячому зварюванні, застосовують електроди великих діаметрів (8-16 мм).

Чавунні деталі зварюють чавунними електродами на таких режимах:

Діаметр електрода, мм	8	10	12	16
Сила струму, А	600-700	750-800	1000- 1200	1500-1800

Зварювання ведуть без перерв, щоб метал зварювальної ванни весь час був у розплавленому стані. Після зварювання деталі повинні повільно охолоджуватися разом із нагрівальною піччю або під шаром дрібного деревного вугілля. Охолодження великогабаритних деталей може тривати кілька діб.

1.4. Висновки до розділу 1

1. Корпусні деталі із сірого чавуну є базовими виробами у машинобудуванні. Узагальнені вимоги до якості і способу виробництва, які визначають їхню надійну роботу та відносно низьку собівартість.

2. Основними видами пошкоджуваності деталей з сірого чавуну при експлуатації є тріщини, відколи, викришування, задири, обломи шпильок, зрізи і зминання з'єднань, а також руйнування посадкових місць отворів.

3. Розробка технології відновлення відповідних чавунних деталей зварюванням або наплавленням – одне з актуальних завдань ремонтної практики. Це завдання в цілому для зварювання і наплавлення не тільки дуже складне, але часто важке за необхідності забезпечення високоякісного зварного

з'єднання на рівні міцності основного металу. Чавун має погану технологічну зварюваність, обумовлену тим, що метали як наплавлений, так і навколошовної зони має схильність до утворення гартових непластичних структур і тріщин внаслідок великих швидкостей охолодження, теплових та усадкових напружень. Його низька міцність і практично повна відсутність пластичності сприяють утворенню тріщин при зварюванні та наплавленні як у наплавленому, так і в основному металі.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методика отримання нанопорошку

Глина в природньому стані – це в'язка субстанція завжди з певною вологістю, кольором, та завжди з різним хімічним складом [19].

Проба з Куп'янського родовища (рис. 2.1.) представляла собою глину, яка була темно-білого кольору, гігроскопічна, нагадувала крейду. При розтиранні була як добре подрібнений порошок або пудра, не відчувались часточки кварцу. Це були три проби приблизно по 30 -40 гр. кожна, взяті з різних шарів гори та поміщені в різні ємкості.



Рис. 2.1. Глина з Куп'янського родовища

2.1.2. Конструкція кулькового млина

Кульковий млин – це прилад, який ми використовували для подрібнення глини рис. 2.2.



Рис. 2.2. Кульковий млин

Кульковий млин складається з: барабану, в який засипані кульки підшипників; електродвигуна; зуборемінної передачі; підставок та з'єднувальної пластини.

Барабан складається з: циліндра, заглушки з підшипником та кришки. Габаритні розміри циліндра барабана:

$$D = 100,4 \text{ mm}, d = 84,6 \text{ mm}, L = 98 \text{ mm}$$



Рис. 2.3. Вимірювання фактичної частоти обертання кулькового млина.

На рис. 2.3. показаний спосіб вимірювання фактичної частоти обертання, яке показало приблизно 140 об\хв.

Розрахунок теоретичної частоти обертання барабану:

- оберти електродвигуна - 1300 об\хв.
- передаточне число зубо ремінної передачі – 10,38
- оберти барабана: $1300 \div 10,38 = 125,24$ об\хв.

2.2. Методика вимірювання розмірів подрібненої глини

Оцінку якості подрібненого порошку ми проводили з допомогою електроприладу з великим збільшенням, та перенесенням зображення на монітор комп'ютера. Далі ми підкладали до зразків лінійку з ціною поділки 0,01 мм, та порівнювали її з величиною порошку.

Зразки перемеленого порошку, в залежності від часу перебування в кульковомумлині, значно відрізнялись один від одного.

Глина з Куп'янського родовища, була у вигляді грудочок (рис. 2.4.), тому її попередньо подрібнили вручну рис. 2.5.



Рис. 2.4. Глина з Куп'янського родовища не підготовлена



Рис. 2.5. Глина перед поміщенням на подрібнення в кульковий млин

Глина з Куп'янського родовища була поміщена на подрібнення, виявилось, що глина має невеликий вміст води. Після години проведеній в шаровій млині вона не подрібнилась, а розплескалась по внутрішній поверхні барабану.

Далі глину помістили в піч для висушування на 90 хвилин з температурою 240°C. Перед послідовним завантаженням порошку в барабан грудки глини, які утворилися після просушування необхідно подрібнити вручну рис. 2.6.

Після подрібнення глина просівалась через сито 100мкм, а потім через сито 40мкм. Отриманий порошок після цього використовували для нанесення покриття на електрод.



Рис. 2.6. Глина з Куп'янського родовища після просушки.

2.3. Методика підготовки зразків для хімічного аналізу

Для того, щоб продовжувати досліді нам необхідно було зробити хімічний аналіз зразків. Так як суха глина після подрібнення – це дуже сипуча речовина, а для того, щоб провести мікро-рентгеноспектральний аналіз необхідно сипучій речовині, у нашому випадку глині, надати тверду форму, яка б дозволила вирішити дану проблему.

Вирішили проблему створенням штампа, який під тиском утворював би сипучому порошку глини зручну для дослідів форму. Найзручнішою формою являється форма невеликої таблетки.

Конструкція штампа для пресування. Штмп виготовлений зі сталі 20, і представляє з себе циліндр, в який з обох боків вставляються пуансони рис. 2.7. (а, б).



а



б

Рис. 2.7. Зовнішній вигляд штампа і пуансонів

а) штамп для виготовлення формованих таблеток з глини. б) штамп для виготовлення формованих таблеток з глини

На поверхнях пуансонів виконані фаски глибиною 0,5 мм під кутом 45°. Це зроблено для того, щоб рівномірно розподілити навантаження по поверхнях таблетки під час стиснення її пуансонами. Дане рішення дозволило покращити верхню та нижню площини після пресування, та зменшило ризик розламування зразка під час його видавлювання із матриці пуансона.

Для пресування ми використовували гідравлічний прес марки ОКС – 1671 М (рис. 2.8.), який для роботи використовує мастило марки І - 20А. Максимальний тиск становить 40 тон.



Рис. 2.8. Гідравлічний прес ОКС – 1671 М

Попередньо подрібнений порошок ми засипали в штамп, та закривали його двома пуансонами. Далі підставляємо штамп під прес, і створюємо максимальне навантаження, після чого прес-форму потрібно перевернути, підставити втулку та видавити вже готовий зразок зі штампа рис. 2.9.



Рис. 2.9. Таблетка отримана пресуванням в штампі

2.4. Методика виготовлення матеріалу покриття та нанесення покриття на електроди

Подрібнений порошок глини розмішували з клеєм марки ПВА у пропорції 2 грама порошку та 2 грама клею та ретельно перемішували. Після чого, отриману емульсію зразу наносили тонким шаром на електроди. На 1 електрод приблизно витрачалося 1,6 грамів емульсії.

Перед нанесенням на електроди підготовленого порошку з подрібненої глини, електроди попередньо були поміщені в піч з температурою 180°C терміном на 1,5 години, після чого висушували на повітрі протягом 24 годин. Після нанесення шлікерного покриття знову висушували на повітрі 24 години, а потім в печі з температурою 180°C на 4 години.

2.5. Методика нанесення зварного шву

Наносили покриття з допомогою ручного електродугового апарату марки ПАТОН ВДИ-200 Р рис. 2.10 з такими параметрами при зварюванні:

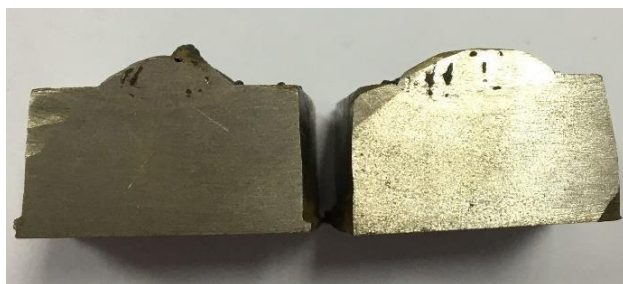
- напруга 20 В;
- сила струму 90 А.

Електрод марка ЦЧ-4 ТМ МОНОЛІТ, має такий хімічний склад: - Мп 0,50-2,5%, - Si 0,1-0,8%, - С не більше 0,25 %, - Р не більше 0,07%, - S не більше 0,04%, - V 8,5-10,5%



Рис. 2.10. Зварювальний апарат марки ПАТОН ВДИ-200Р

Наплавлені валики виконані у вигляді смуг шириною 12-15 мм, та довжиною приблизно 30-35 мм., матеріал, на який виконували наплавлення – чавун СЧ18-36 рис. 2.11.



а



б

Рис. 2.11. Зразки чавуну з наплавленими валиками

А – перетин зварного валика; Б – від с верху. Ліворуч – наплавлення електродом. Праворуч – наплавлення електродом з обмазкою глиною

2.6. Методика досліджень зварного шву

Прилади на яких проводитимуться дослідження: твердомір моделі UIT-HVmicro1; ваги моделі WA-200; мікро-рентгеноспектральний аналіз на скануючому електронному мікроскопі JSM-6390 LV фірми JEOL (Японія) з системою рентгенівського аналізу INCA Energy 350 (Oxford Instruments Analytical Ltd); мікроскоп металографічний Axio vert a1.

2.7. Висновки до розділу 2

1. Запропонована методика виготовлення порошку для нанесення на електрод. Попередньо матеріал подрібнювали за допомогою кульового млина.
2. Запропонована методика нанесення покриття на електрод та виготовлені експериментальні електроди.
3. Проаналізовано й обрано технологію нанесення зварного покриття, обрано параметри технологічного процесу.
4. Попередньо сформовано план проведення дослідження наплавлених зразків з використанням сучасного обладнання.

РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Дослідження розподілу компонентів глини та електроду без обмазки

За результатами аналізу хімічного складу видно, що в глині з Куп'янського родовища (табл. 3.1.) присутня висока концентрація кальцію – 56,455%. Тому глина з даного родовища має високу гігроскопічність, а також схильність до формування грудочок. Глина Прилукського родовища (табл. 3.2.) відрізняється підвищеним вмістом кремнію - 73,243%. Така глина мала добру сипкість, і вона якісно подрібнювалася в кульовому млині. Заварку дефектів проводили електродом ЦЧ-4 $\square$ 3,0мм з накладенням коротких валиків довжиною 20-30 мм, зварювальним струмом 60-110 А. Рекомендовано проводити охолодження кожного валика до 60°C та проковуванням зони наприкінці відновлення легким деформуванням молотком при $t=400^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 3.1.

Хімічний склад глини з Куп'янського родовища, %

Загальний склад глини	Na	Mg	Al	K	Ca	Fe	Si	P	S	Cl
	5,225	1,129	6,551	0,623	56,455	0,341	19,2	8,5	1,0-1,5	7,0
Частка модифікатора, що вводиться, 6%	0,31	0,07	0,39	0,04	3,39	0,21	1,15	0,51	0,09	0,42

Таблиця 3.2.

Хімічний склад глини із Прилукського родовища, %

Загальний склад глини	Na	Mg	Al	K	Ca	Fe	Si	S
	0,815	0,586	8,822	1,179	1,405	1,917	73,243	2,5

Частка модифікатора, що вводиться, 6%	0,049	0,035	0,53	0,07	0,084	0,12	4,39	0,15
--	-------	-------	------	------	-------	------	------	------

Проведено мікрорентгеноспектральний аналіз наплавлених зразків електродом та з додатковим введенням подрібненого порошку глини Куп'янського родовища у вигляді обмазки. На рис. 3.1.-3.6. представлена мікроструктура наплавлення, перехідної зони та основного матеріалу з термоелектронною емісією з розподілом основних компонентів в покритті.

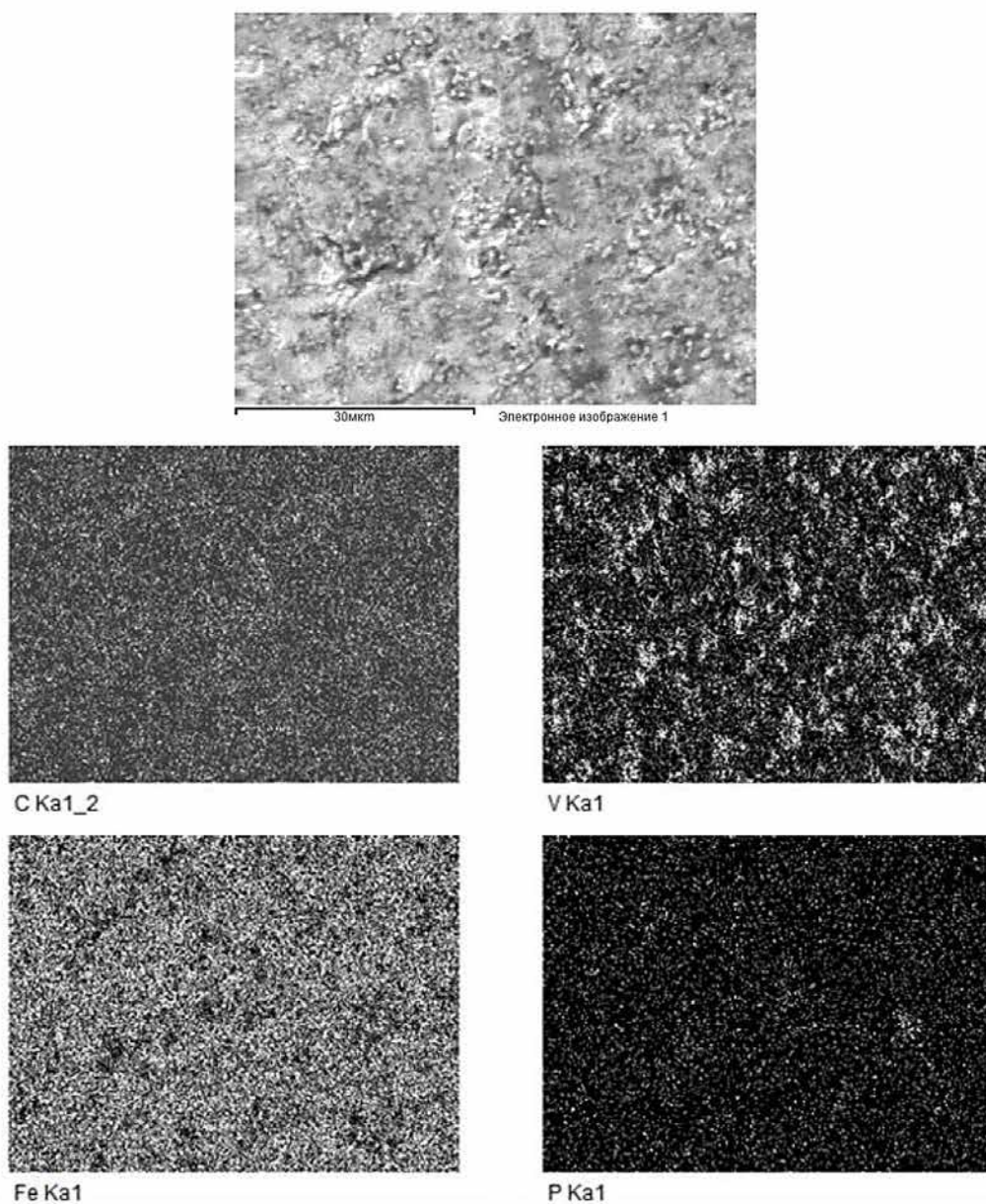


Рис. 3.1. Середина поверхні наплавлення електродом

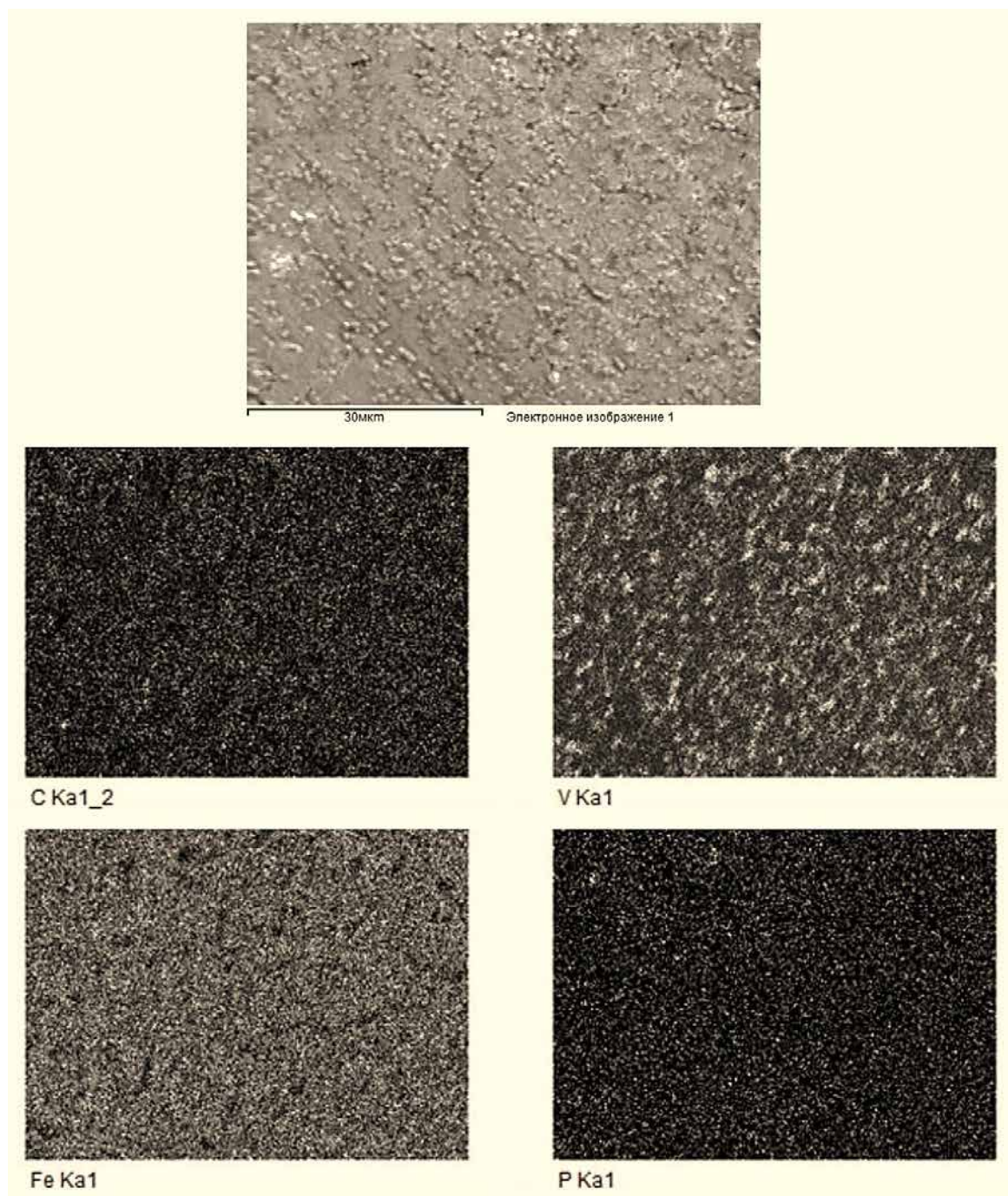


Рис. 3.2. Перехідна зона наплавлення електродом

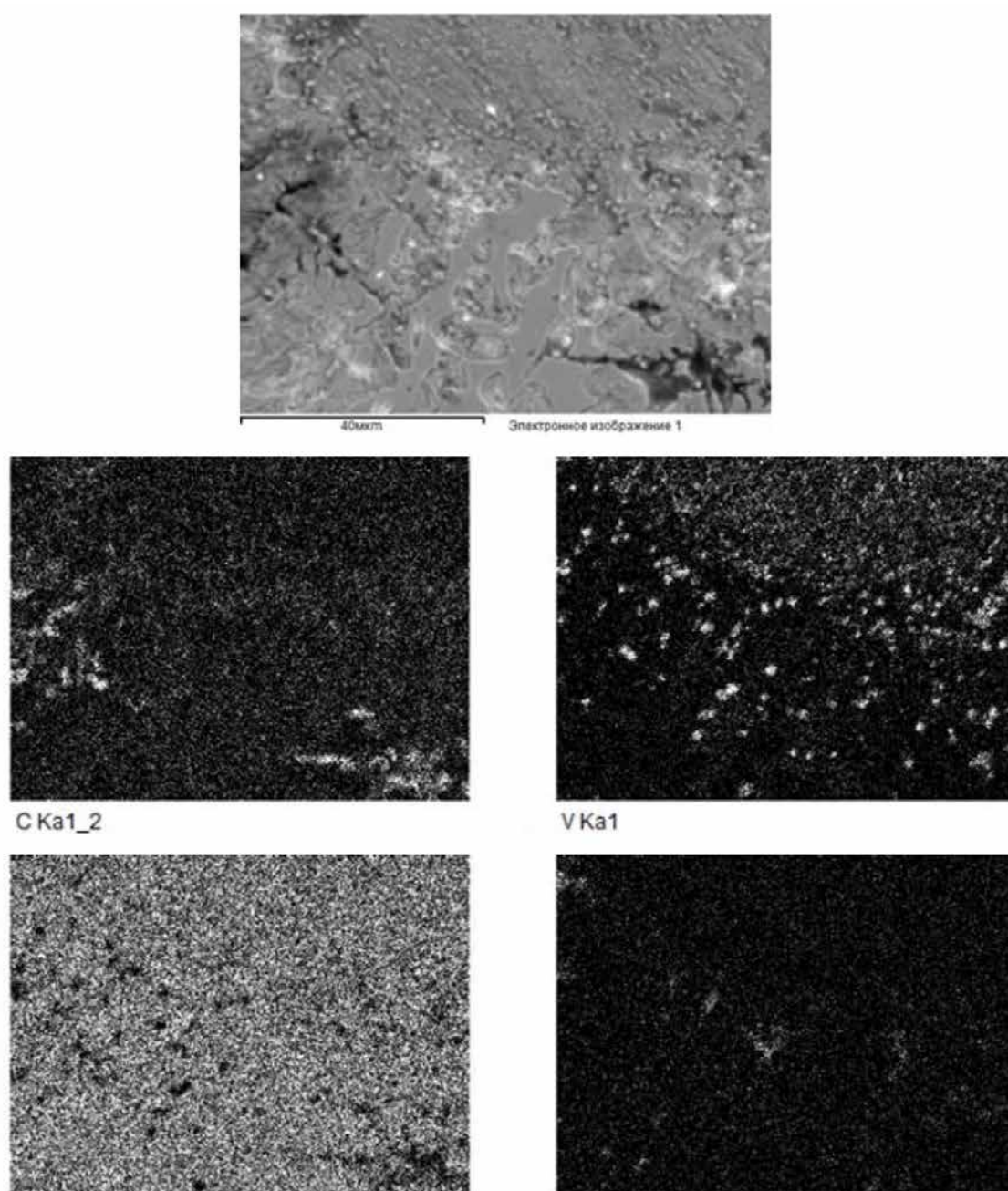


Рис. 3.3. Перехідна зона наплавлення електродом

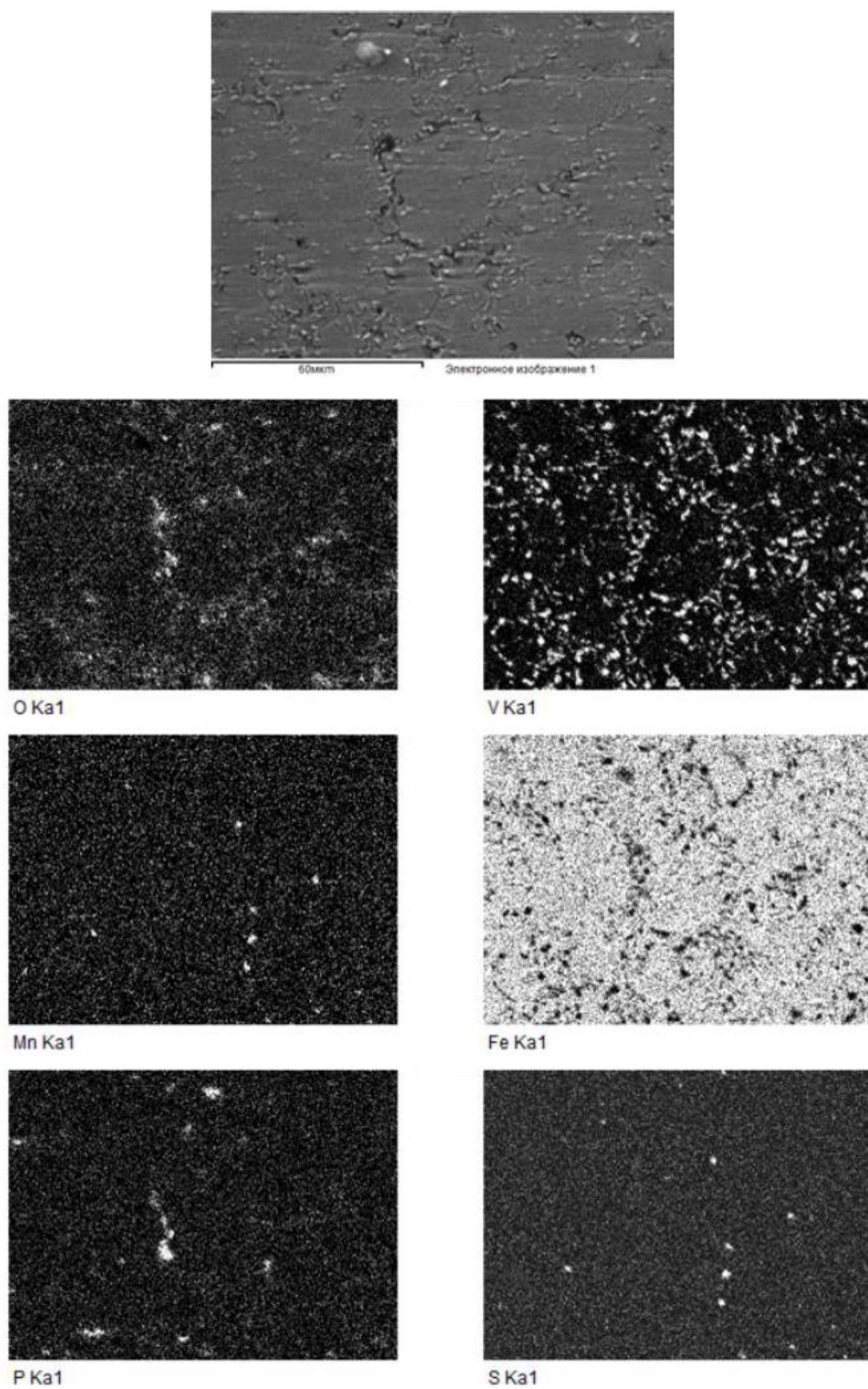


Рис. 3.4. Середина поверхні наплавлення електродом з додатковим

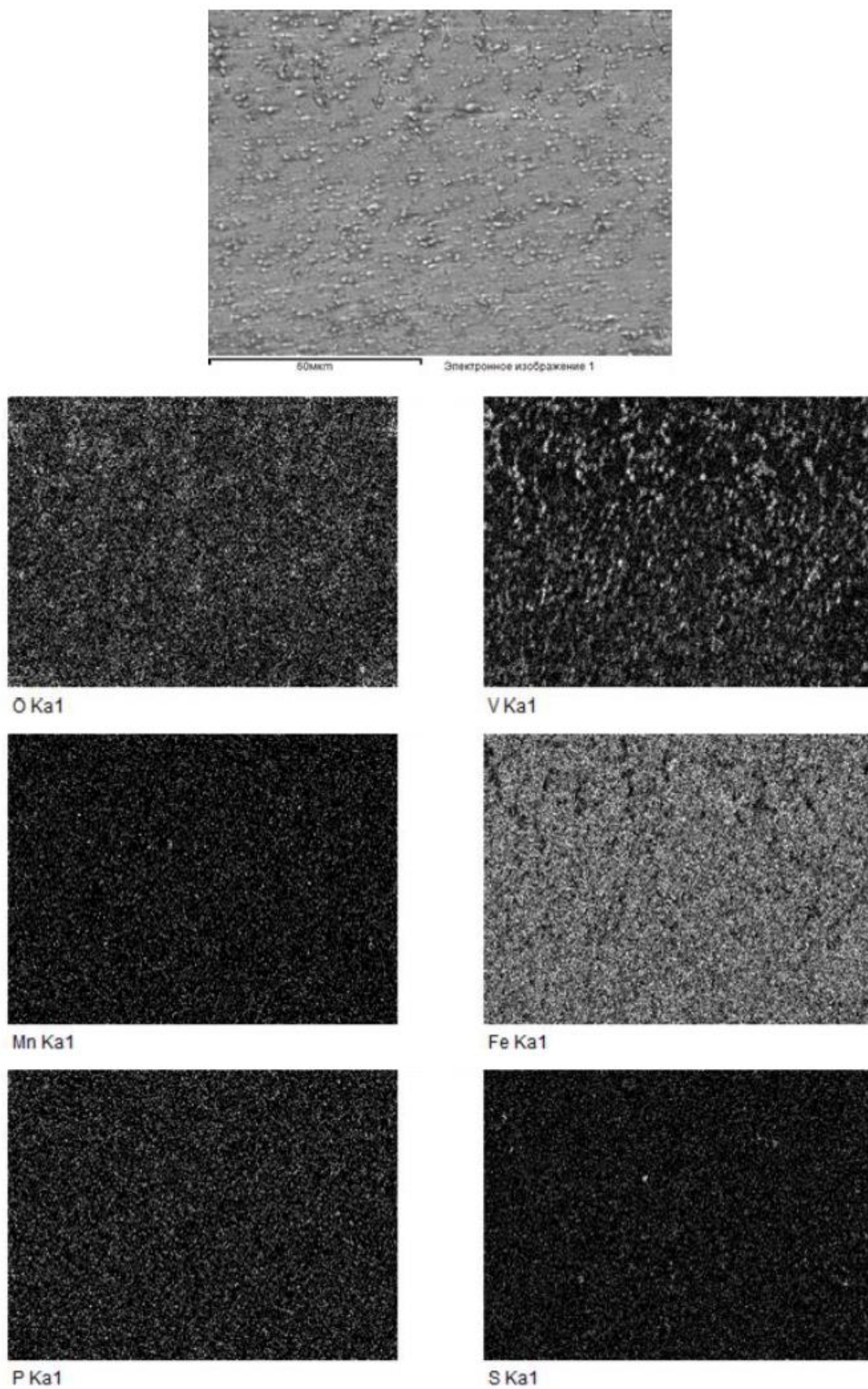


Рис. 3.5. Перехідна зона наплавлення електродом з додатковим

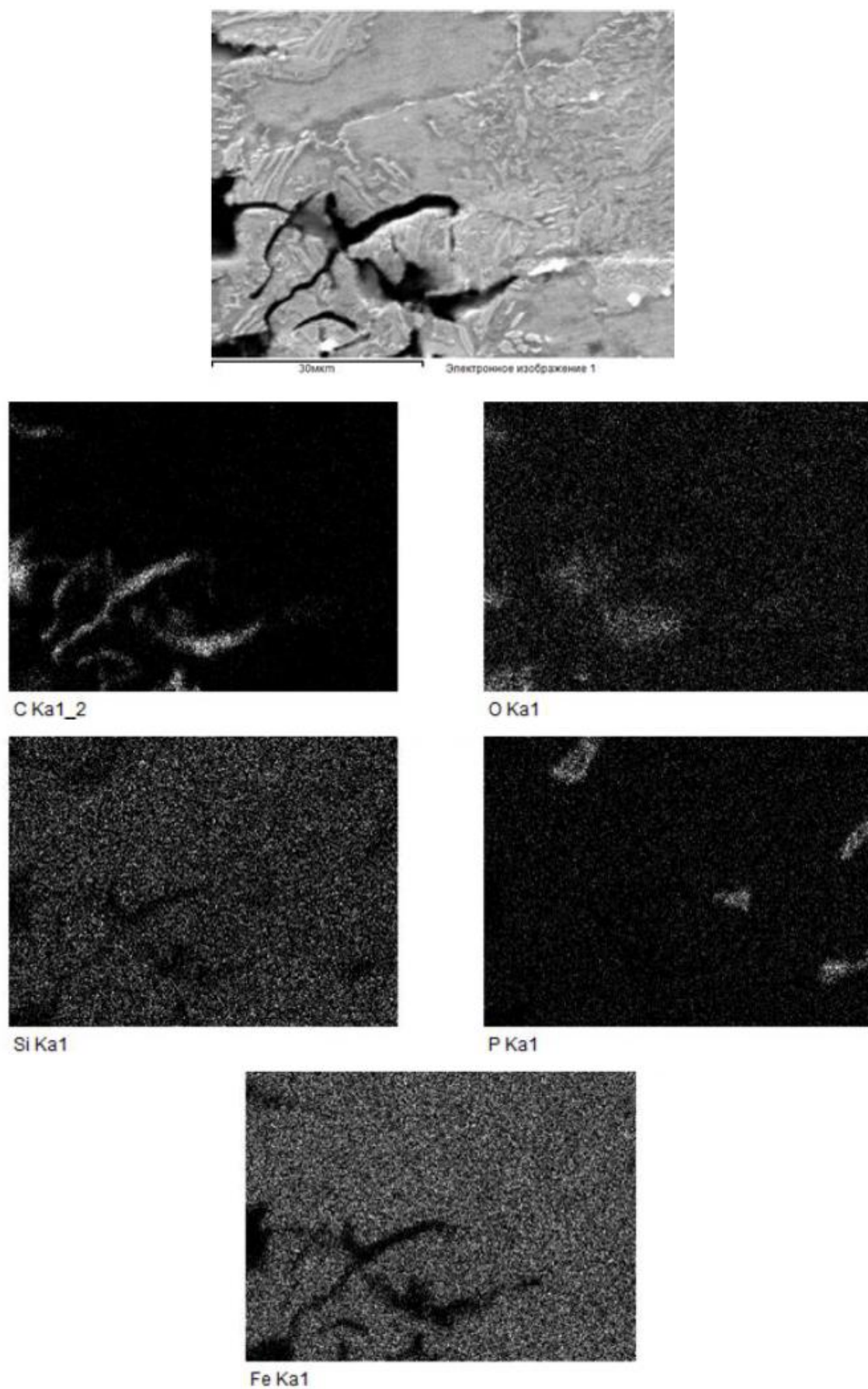


Рис. 3.6. Основний матеріал – чавун

Таблиця 3.3.

Мікрорентгеноспектральний аналіз наплавлення електродом

	C	O	Al	Si	P	S	Ti	V	Mn	Fe
Середина наплавлення	17,57	3,14	0,10	1,37	0,18	0,06	0,10	9,18	0,75	67,54
Перехідна зона	16,68	2,72	0,08	1,70	0,21	0,04	0,08	7,57	0,81	70,06
Перехідна зона	18,99	3,82	0,08	2,18	0,22	0,08	0,06	3,99	0,66	69,90

Наплавлення електродом з додатковим введенням глини

	C	O	Al	Si	P	S	Ca	V	Mn	Fe
Середина наплавлення	-	5,83	0,06	1,85	0,26	0,12	0,04	9,52	0,99	81,31
Перехідна зона	-	3,54	0,13	2,09	0,18	0,08	0,05	9,30	0,97	83,65
Біле зерно 1мкм	24,06	5,39	-	0,31	-	-	Ti 0,65	56,26	0,29	13,05
Чавун	19,76	3,01	-	2,85	0,45	0,07	-	-	0,56	73,30

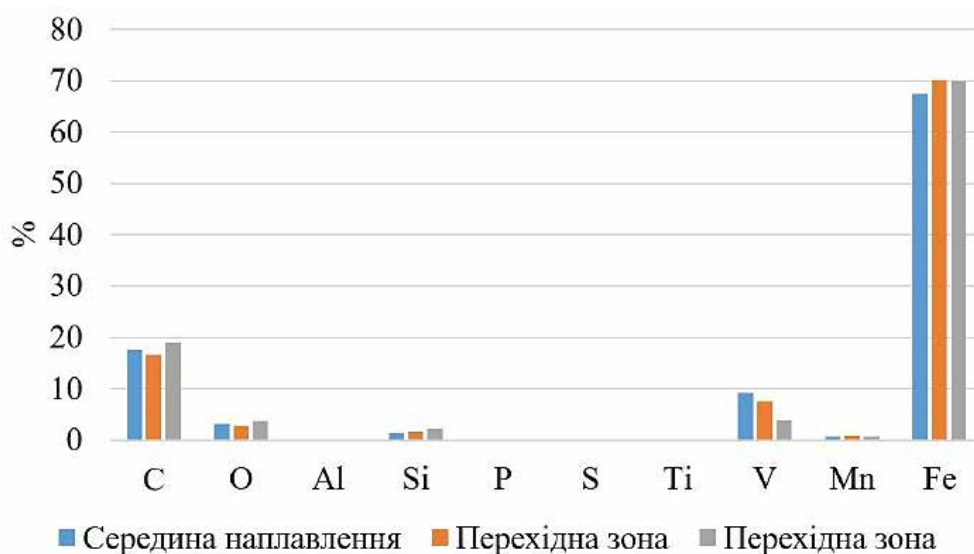


Рис. 3.7. Хімічний склад покриття наплавленого електродом

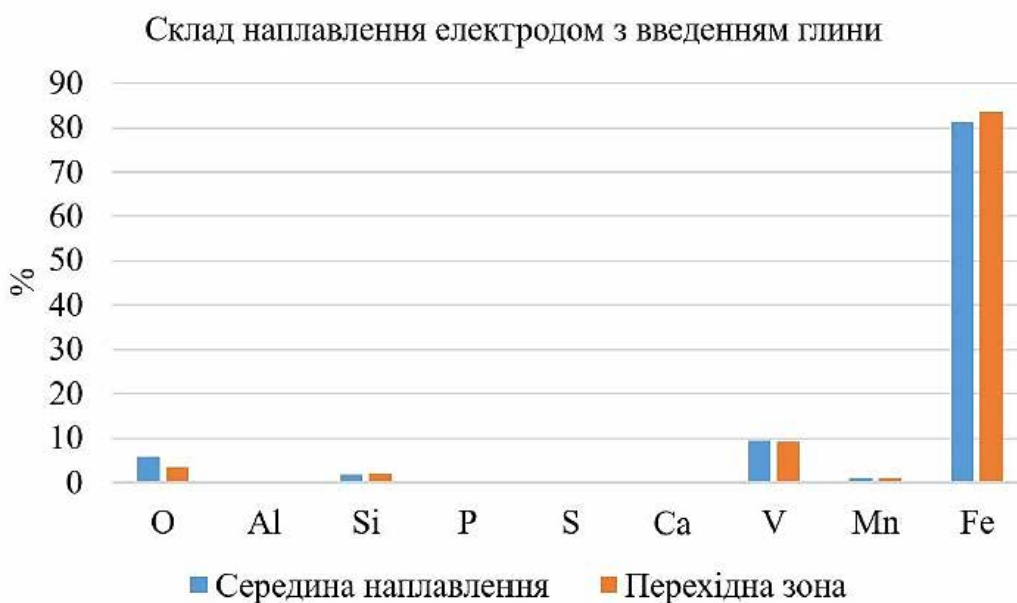


Рис. 3.8. Хімічний склад покриття наплавленого електродом з додатковим введенням глини у вигляді обмазки

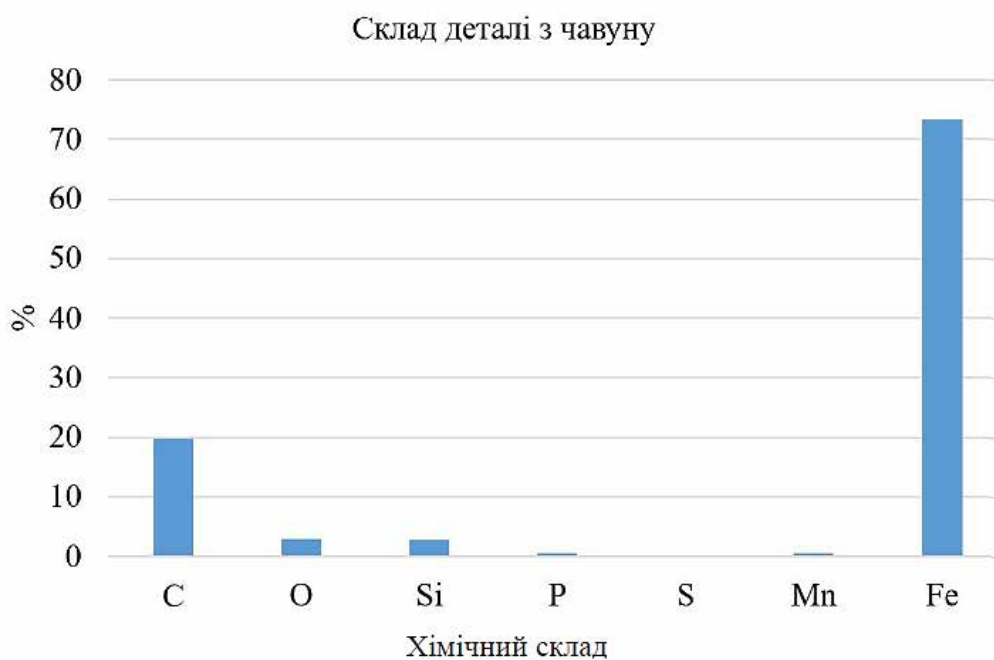


Рис. 3.9. Хімічний склад деталі з чавуну, на яку проводилось наплавлення

Проаналізувавши результати розподілу компонентів по перерізу наплавлення (табл. 3.1., рис. 3.7.-3.9.), можна відмітити наступне. Збільшується концентрація кисню в наплавленому шарі до 5,83% при модифікуванні з 3,14% в порівнянні без додаткового введення глини [12].

З'являються сліди кальцію, концентрація по перетину становить 0,04-

0,05%.

В перехідній зоні збільшується вміст алюмінію в 2 рази в порівнянні з простим нанесенням покриття електродом.

Виявлено підвищення вмісту кремнію в наплавленні, концентрація становить 1,85% в порівнянні без введення глини – 1,37%.

Також підвищується вміст марганцю, з 0,66-0,81% до 0,97-0,99% при модифікуванні.

Підвищення концентрації хімічних елементів пов'язано з додатковим введенням глини. З хімічного складу глини видно, що більший вміст у ній алюмінію, кальцію та кремнію. Так як вводилося до 6% глини від об'єму електрода, то зміна вмісту компонентів збільшується несуттєво.

Також по перетину наплавлення з введенням глини виявлено білі зерна розміром до 1мкм з підвищеним вмістом вуглецю 24,06%, титану 0,65% та ванадію 56,26%.

3.2. Дослідження мікротвердості

Для визначення впливу введення глини через обмазку було проведено вимірювання мікротвердості зразків (табл. 3.4., рис. 3.10.).

З отриманих результатів видно, що мікротвердість наплавленої поверхні з додатковим введенням глини збільшується на 50 одиниць до Н-50-693,10, а перехідної зони зменшується на 180 до Н-50-425,55 в порівнянні з наплавленням тільки електродом. Це свідчить про вплив глини навіть в невеликій кількості при введенні у наплавлення. Зменшення мікротвердості перехідної зони може впливати позитивно на покриття, так як виникаючі напруження в зоні сплавлення будуть меншими та це буде сприяти зменшенню появи дефектів.

Таблиця 3.4.

Мікротвердість зразків

Покриття	Мікротвердість, Н-50, МПа		
	Max	Min	Середнє значення

Наплавлення електродом з обмазкою глиною			
Основа	149,7	91,6	123,05
Перехідна зона	647,0	208,1	425,55
Наплавка	808,2	583,9	693,10
Наплавлення електродом			
Основа	175,3	129,3	154,3
Перехідна зона	720,9	482,6	607,5
Наплавка	720,9	555,8	640,25

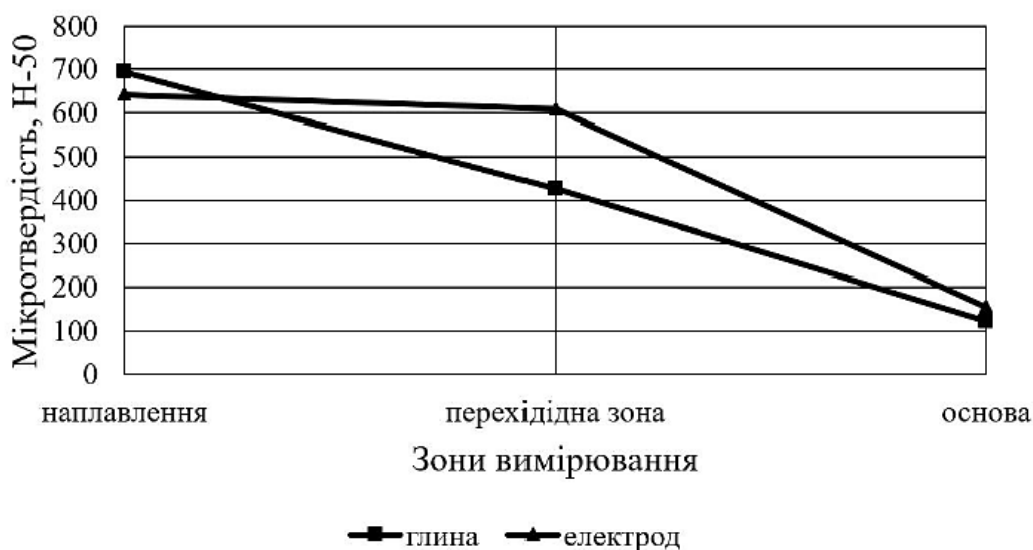


Рис. 3.10. Середні значення мікротвердості при напавленні електродом та з додатковим введенням глини у вигляді обмазки

3.3. Висновки до розділу 3

1. В глині з Куп'янського родовища присутня висока концентрація кальцію – 56,455%. Заварку дефектів проводили електродом ЦЧ-4 Ø3,0мм з накладенням коротких валиків довжиною 20-30 мм, зварювальним струмом 60-110 А.

2. Збільшується концентрація кисню в напавленому шарі до 5,83% при модифікуванні з 3,14% в порівнянні без додаткового введення глини.

З'являються сліди кальцію, концентрація по перетину становить 0,04-0,05%. В перехідній зоні збільшується вміст алюмінію в 2 рази в порівнянні з простим нанесенням покриття електродом. Виявлено підвищення вмісту кремнію в наплавленні, концентрація становить 1,85% в порівнянні без введення глини – 1,37%. Також підвищується вміст марганцю, з 0,66-0,81% до 0,97-0,99% при модифікуванні.

3. Підвищення концентрації хімічних елементів пов'язано з додатковим введенням глини. З хімічного складу глини видно, що більший вміст у ній алюмінію, кальцію та кремнію. Так як вводилося до 6% глини від об'єму електрода, то зміна вмісту компонентів збільшується несуттєво. Також по перетину наплавлення з введенням глини виявлено білі зерна розміром до 1мкм з підвищеним вмістом вуглецю 24,06%, титану 0,65% та ванадію 56,26%.

4. Мікротвердість наплавленої поверхні з додатковим введенням глини збільшується на 50 одиниць до Н-50-693,10, а перехідної зони зменшується на 180 до Н-50-425,55 в порівнянні з наплавленням тільки електродом. Це свідчить про вплив глини навіть в невеликій кількості при введенні у наплавлення. Зменшення мікротвердості перехідної зони може впливати позитивно на покриття, так як виникаючі напруження в зоні сплавлення будуть меншими та це буде сприяти зменшенню появи дефектів.

РОЗДІЛ 4 ПРОМИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИГОТОВЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

4.1. Промислові дослідження виготовлених деталей

Експлуатаційні дослідження проводились в майстерні ТОВ Укравтозапчастина. Було відновлено 5 корпусів КЗП автомобіля ЗІЛ [23], які були встановлені на автомобілі у трьох підприємствах. На цей час коробки пропрацювали 7 місяців та працюють надалі, що вказує на придатність розробленого способу заварювання дефектів корпусів та може бути рекомендована для впровадження у виробництво.



Рис. 4.1. Корпус КЗП з тріщиною, яку відновлювали наплавленням електродом з обмазкою

4.2. Розрахунки орієнтованої економічної ефективності відновлення корпусу коробки заварюванням тріщин з газополуменевим захистом

Розрахунки економічної ефективності від впровадження технологічного процесу заварювання тріщин у корпусі роздавальної коробки наведений з

урахуванням умов виробництва відповідно до існуючих методик [24]. У якості базового варіанту при зварюванні тріщин в корпусних деталях прийнято спосіб гарячого зварювання, що обумовлене наступним:

- метод відноситься до зварювальних;
- зварювання з попереднім підігрівом забезпечує відсутність шовних і навколошовних тріщин і необхідні експлуатаційні властивості з'єднання.

Для розрахунків скористаємося наступними характеристиками устаткування:

- пневмоінструмент з компресором для підготовки поверхні: споживана потужність компресора ($W = 15$ кВт);
- піч нагрівальна камерна СНЗ-11.22 ($W = 135,6$ кВт);
- напівавтомат зварювальний А-547У с джерелом живлення ВР-300 ($W = 114$ кВт);
- випрямляч зварювальний типу ВДУ-506 УЗ ($W = 190$ кВт);
- вентиляційна установка зі зварювальним столом ($W = 2,2$ кВт).

Розраховуємо витрати на відновлення корпусу коробки за базовою технологією. Технологічний процес відновлення в разі гарячого зварювання складається з наступних операцій:

- підготовка поверхні $T_{шт.1} = 0,25$ люд. год (зачищення поверхні і оброблення канавок). Операція відповідає третьому розряду зі шкідливими умовами праці. Середня годинна тарифна ставка такого робітника $C_{ср.г.1} = 42,49$ грн;

- нагрівання корпусу коробки здійснюється з швидкістю 150°C в годину, через його складну конфігурацію. Температура нагрівання становить 600°C , тоді $T_{шт.2} = 4$ люд. год. Операція відповідає першому розряду зі шкідливими умовами праці. Середня годинна тарифна ставка такого робітника $C_{ср.г.2} = 36,95$ грн;

- безпосередньо зварювання: швидкість зварювання для даного процесу (зварювання дротом ПП-АНЧ-2) становить 4 м/г, тоді для тріщини із середньою довжиною $0,15$ м $T_{шт.3} = 0,04$ люд. год. Операція відповідає п'ятому розряду з

особливо шкідливими умовами праці. Середня годинна тарифна ставка такого робітника $C_{\text{ср.г.3}} = 48,86$ грн;

- транспортування виробу в піч та з печі: $T_{\text{шт.4}} = 0,15$ люд. год. Операція відповідає третьому розряду зі шкідливими умовами праці. Середня годинна тарифна ставка такого робітника $C_{\text{ср.г.4}} = 42,49$ грн.

Основну заробітну плату визначали за формулою:

$$ЗП_o = \sum_1^n T_{\text{шт.і}} \times C_{\text{ср.г.і}} \times K_o ,$$

де $T_{\text{шт.4}}$ – трудомісткість і-ї операції, люд. год; $C_{\text{ср.г.4}}$ – середня годинна тарифна ставка робітника і-ого розряду; K_o – коефіцієнт, що враховує доплату за понаднормову та іншу роботу ($K_o = 1,025 \dots 1,030$).

$$\begin{aligned} ЗП_o &= (0,25 \times 42,49 + 4,0 \times 36,95 + 0,04 \times 48,86 + 0,15 \times 42,49) \times 1,03 = \\ &= (10,6225 + 147,8 + 1,954 + 6,373) \times 1,03 = 171,75 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Додаткову заробітну плату визначали за формулою (4.4).

$$ЗП_d = ЗП_o \times K_d = 171,75 \times 0,07 = 12,02 \text{ грн.}$$

Єдиний соціальний внесок визначається за формулою:

$$ЄСВ = 0,38(ЗП_o + ЗП_d) = 0,38(171,75 + 12,02) = 69,83 \text{ грн.}$$

Повна заробітна плата буде складатися:

$$ЗП = ЗП_o + ЗП_d + ЄСВ = 171,75 + 12,02 + 69,83 = 253,6 \text{ грн.}$$

Витрати на організацію та керування виробництвом (загальнозаводські) визначали за формулою:

$$\begin{aligned} В_{\text{заг.з}} &= 0,18(ЗП_o + ЗП_d + ЄСВ), \\ В_{\text{заг.з}} &= 0,18(171,75 + 12,02 + 69,83) = 45,65 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Витрати на електроенергію визначаються за формулою:

$$В_{\text{ел}} = \sum_1^n W_{y.i} \times T_{\text{шт.і}} \times K_v \times Ц_{\text{ел}} ,$$

де $W_{y.i}$ – встановлена потужність споживання електроенергії і-м споживачем, кВт (W_1, W_2, W_3, W_4 – відповідно на підготовку поверхні, нагрів, зварювання та вентиляцію);

$T_{\text{шт.і}}$ – час на проведення і-й операції, г. ($T_{\text{шт.1}}, T_{\text{шт.2}}, T_{\text{шт.3}}, T_{\text{шт.4}}$ –

відповідно на підготовку поверхні, нагрів, зварювання, вентиляцію);

K_v – коефіцієнт втрат у мережі, $K_v = 1,05$;

Цел– ціна електроенергії, грн/кВт·год (для промислових підприємством. Києва та області ціна електроенергії з 01.09.2026 р. складає Цел= 150,884коп./кВт·год ~ 4,82 грн./ кВт·год).

$$\begin{aligned} \text{Вел} &= (15 \times 0,25 + 135,6 \times 4 + 114 \times 0,04 + 2,2 \times 0,44) \times 1,05 \times 1,51 = \\ &= (3,75 + 542,4 + 4,56 + 0,97) \times 1,05 \times 4,82 = 874,7 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Витрати на матеріали за базовим варіантом визначали як:

$$V_m = V_{\text{дріт}} + V_{\text{ш.к}}, \quad (4.3.)$$

Витрати на використання зварювального дроту:

$$V_{\text{дріт}} = m \times C_{\text{дріт}}, \quad (4.4.)$$

де m – маса дроту, затрачувана для зварювання одного корпусу роздавальної коробки, кг ($m = 0,1$ кг);

$C_{\text{дріт}}$ – ціна кілограма дроту ПП-АНЧ-2, грн.

$$(C_{\text{дріт}} = 54,74 \text{ грн}) \quad V_{\text{дріт}} = 0,1 \times 54,74 = 5,474 \sim 5,5 \text{ грн.}$$

Витрати на підготовку поверхні (шліфувальне коло):

$$V_{\text{ш.к}} = C_{\text{ш.к}} / A, \quad (4.5.)$$

де $C_{\text{ш.к}}$ – ціна шліфувального кола, грн ($C_{\text{ш.к}} = 21,00$ грн);

A – кількість корпусів роздавальних коробок, зачищених одним колом, шт. ($A = 7$ шт.).

$$V_{\text{ш.к}} = 21,00 / 7 = 3,00 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали:

$$V_m = 5,5 + 3,0 = 8,5 \text{ грн.}$$

Витрати на відновлення корпусу роздавальної коробки:

$$V_{\text{відн}} = 3П + V_{\text{заг.з}} + \text{Вел} + V_m = 253,6 + 45,65 + 874,7 + 8,5 = 1182,45 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат на відновлення корпусу роздавальної коробки з робленою технологією з використанням електродів буде складатися з наступних операцій:

- підготовка поверхні $T'_{\text{шт.1}} = 0,25$ люд. год (зачищення поверхні та оброблення канавок) $C'_{\text{ср.г.1}} = 42,49$ грн;

- безпосередньо зварювання: заварку тріщин без попереднього підігріву виробу електродом ЦЧ-4 з параметрами обробки: (електрод $\square 3$ мм, зварювальний струм 60-110 А, з накладенням коротких валиків, довжиною 25-30 мм і охолодженням кожного до температури 60°C на повітрі із проковуванням зони відновлення легким деформуванням молотком). У якості модифікуючої домішки використовуємо немагнітну детонаційну шихту.

Трудовітність по заварюванню тріщин в одному корпусі роздавальної коробки, в середньому, становить $T'_{шт.2} = 1,27$ люд. год Операція відповідає п'ятому розряду з особливо шкідливими умовами праці. Середня годинна тарифна ставка такого робітника $C_{ср.г.2} = 48,86$ грн.

Основна заробітна плата визначається за формулою (4.8.):

$$ЗП'_{о} = (0,25 \times 42,49 + 1,27 \times 48,86) \times 1,03 = 74,85 \text{ грн.}$$

Додаткову заробітну плату визначаємо за формулою (4.4.):

$$ЗП'_{д} = ЗП'_{о} \times K_{д} = 74,85 \times 0,07 = 5,24 \text{ грн.}$$

Єдиний соціальний внесок визначається за формулою:

$$ЄСВ' = 0,38(ЗП'_{о} + ЗП'_{д}) = 0,38(74,85 + 5,24) = 30,43 \text{ грн.}$$

Повна заробітна плата складе:

$$ЗП' = ЗП'_{о} + ЗП'_{д} + ЄСВ' = 74,85 + 5,24 + 30,43 = 110,52 \text{ грн.}$$

Витрати на організацію та керування виробництвом
(загальнозаводські) визначаємо по формулі (4.1):

$$B'_{заг.з} = 0,18(74,85 + 5,24 + 30,43) = 19,89 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію визначаються по формулі (4.2):

$$B'_{ен} = \sum_1^n W'_{y,i} \times T'_{шт,i} \times K_{в} \times \Pi_{ен}$$

де $W'_{y,i}$ – встановлена потужність споживання електроенергії i -м споживачем, кВт (W'_{1} , W'_{2} , W'_{3} – відповідно на підготовку поверхні, зварювання та вентиляцію);

$T'_{шт,i}$ – час на проведення i -ї операції, г. ($T'_{шт.1}$, $T'_{шт.2}$, $T'_{шт.3}$ – відповідно на підготовку поверхні, зварювання, вентиляцію);

$K_{в}$ – коефіцієнт втрат у мережі, $K_{в} = 1,05$;

Цел– ціна електроенергії, грн/кВт·год (для промислових підприємств Київ та області ціна електроенергії з 01.09.2017р. складе Цел= 150,884 коп./кВт·год ~ 4,82 грн/ кВт·год).

$$В'_{ел} = (15 \times 0,25 + 190 \times 1,27 + 2,2 \times 1,52) \times 1,05 \times 4,82 = 393,8 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали визначали як:

$$В'_м = В'_{дріт} + В'_{ш.к}, \quad (4.7.)$$

Витрати на використання електродів:

$$В'_{дріт} = m'_{ел} \times \text{Цел} + m_{д.ш} \times \text{Цд.ш}, \quad (4.8)$$

де $m'_{ел}$ – маса електродів, затрачувана для відновлення одного корпусу роздавальної коробки, кг (прийнято середнє значення);

Цел– ціна одного кілограма електродів ЦЧ-4, грн. (132,5 грн);

$m_{д.ш}$ – маса модифікуючої домішки немагнітної детонаційної шихти, затрачуваної на один корпус роздавальної коробки, кг;

Цд.ш– ціна одного кілограма немагнітної детонаційної шихти, грн.

$$В'_{ел} = 0,1 \times 132,5 + 0,004 \times 1000 = 17,25 \text{ грн.}$$

Витрати на підготовку поверхні (шліфуванням) використовували таким які при базовій технології, тобто $В'_{ш.к} = 3,00$ грн.

Витрати на матеріали за пропонованою технологією складуть:

$$В'_м = 17,25 + 3,00 = 20,25 \text{ грн.}$$

Витрати на відновлення корпусу роздавальної коробки за пропонованою технологією складуть:

$$В'_{відн} = 110,52 + 19,89 + 393,8 + 20,25 = 544,46 \text{ грн.}$$

Очікуваний річний економічний ефект від впровадження технології заварювання тріщин у корпусах коробок додатково складе:

$$Е_p = (З'_{відн} - З'_{відн}) \times A, \quad (4.9.)$$

де $З'_{відн}$, $З'_{відн}$ – відповідно витрати на відновлення корпусу роздавальної коробки за базовою і пропонованою технологіями, грн;

A – річний обсяг відновлення корпусів роздавальних коробок, шт. ($A = 120$ шт.).

$$Е_p = (1182,45 - 544,46) \times 120 = 76558,8 \text{ грн}$$

4.3. Висновки до розділу 4

1. Після заварювання тріщин в КЗП автомобіля ЗІЛ коробки пропрацювали 7 місяців та працюють надалі, що вказує на придатність розробленого способу заварювання дефектів корпусів та може бути рекомендована для впровадження у виробництво.

2. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження технології заварювання тріщин у корпусах коробок складе 76558,8 грн при річному обсязі 120 шт.

ВИСНОВКИ

1. Чавун відноситься до групи металів, що погано зварюються. Пояснюється це високим вмістом у ньому вуглецю понад 2%, кремнію 1,6-2,0%, марганцю 0,5-1,2%, сірки до 0,12%, фосфору до 0,8% та швидкою швидкістю охолодження. Тому ремонт дефектних корпусних деталей є складним технологічним завданням. Технологія, що застосовується в даний час на підприємствах автосервісу, характеризується великою витратою енергоносіїв, що обумовлено високою температурою нагріву, і високою трудомісткістю.

2. Розроблена технологія нанесення подрібнення та нанесення порошку на електрод марка ЦЧ-4 ТМ МОНОЛІТ. Подрібнений порошок глини розмішували з клеєм марки ПВА у пропорції 2 грама порошку та 2 грама клею та ретельно перемішували. Після чого ,отриману емульсію зразу наносили тонким шаром на електроди. На 1 електрод приблизно витрачалося 1,6 грамів емульсії. Перед нанесенням на електроди підготовленого порошку з подрібненої глини, електроди попередньо були поміщені в піч з температурою 180°C терміном на 1,5 години, після чого висушували на повітрі протягом 24 годин. Після нанесення шлікерного покриття знову висушували на повітрі 24 години, а потім в печі з температурою 180°C на 4 години. Наносили покриття з допомогою ручного електродугового апарату марки ПАТОН ВДИ-200 Р з наступними параметрами при зварюванні: напруга 20 В; сила струму 90 А.

3. Підвищення концентрації хімічних елементів пов'язано з додатковим введенням глини. З хімічного складу глини видно, що більший вміст у ній алюмінію, кальцію та кремнію. Так як вводилося до 6% глини від об'єму електрода, то зміна вмісту компонентів збільшується несуттєво. Також по перетину наплавлення з введенням глини виявлено білі зерна розміром до 1мкм з підвищеним вмістом вуглецю 24,06%, титану 0,65% та ванадію 56,26%.

4. Мікротвердість наплавленої поверхні з додатковим введенням глини збільшується на 50 одиниць до Н-50-693,10, а перехідної зони зменшується на 180 до Н-50-425,55 в порівнянні з наплавленням тільки електродом. Це

свідчить про вплив глини навіть в невеликій кількості при введенні у наплавлення. Зменшення мікротвердості перехідної зони може впливати позитивно на покриття, так як виникаючі напруження в зоні сплавлення будуть меншими та це буде сприяти зменшенню появи дефектів. Після заварювання тріщин в КЗП автомобіля IVECO коробки пропрацювали 7 місяців та працюють надалі, що вказує на придатність розробленого способу заварювання дефектів корпусів та може бути рекомендована для впровадження у виробництво. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження технології заварювання тріщин у корпусах коробок складе 76558,8 грн при річному обсязі 120 шт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Корпусні деталі з чавунів та їх якісні показники: Монографія / Т.С. Скобло, О.І. Сідашенко, О.В. Сайчук. Під ред. д.т.н. проф. Скобло Т.С. – Х: Діса плюс, 2019. – 282 с.
2. Основні дефекти чавунних деталей / Н.В. Каплієнко, О.В. Тіхонов // XIX-й Міжнародний форум молоді «МОЛОДЬ І ІНДУСТРІЯ 4.0 В XXI СТОЛІТТІ». Збірка матеріалів форуму. – Харків: ДБТУ, 2023. – С. 116.
3. Афтанділянц Є.Г. Матеріалознавство: Підручник. / Є.Г. Афтанділянц, О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько – К.: Вища освіта, 2012. – 548 с.
4. Основи матеріалознавства. Частина 2. Метали та сплави. Неметалеві матеріали. Конспект лекцій для студентів хімічного факультету / Укладачі: Юрченко О.М., Кормош Ж.О., Парасюк О.В. – Луцьк: Вежа-друк, 2018– 56 с.
5. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів / В.В. Хільчевський, С.Є. Кондратюк, В.О. Степаненко, К.Г. Лопатько. – К: Либідь, 2002. – 327 с.
6. Основи матеріалознавства. Навчальний посібник. / С.М. Високос, Ю.Ю. Глушко, М.В. Пеховка, В.О. Сашко, Т.М. Терещенко, Автор-упорядник: Т.Б. Боброва – 2019. – 104 с.
7. Конспект лекцій з дисципліни «Кристалізація і властивості металу у виливках» для здобувачів вищої освіти другого магістерського рівня зі спеціальності 136 «Металургія» за освітньо-професійною програмою «Ливарне виробництво чорних і кольорових металів і сплавів» / А.П. Єременко – Кам'янське, ДДТУ, 2017. – 44 с
8. Маткова А.В. Особливості зварювання сірих чавунів методом напіваавтоматичного зварювання / А.В. Маткова, М.В. Дмитріюк, Н.М. Поліщук // Наукові нотатки. – 2011. - Вип. 32. – С. 224-227.
9. Иванов Б.Г. Сварка и резка чугуна / Б.Г. Иванов, Ю.И. Журавицкий, В.И. Левченков – М.: Машиностроение, 1977. – 208 с.
10. Изотова К.О. Спосіб зварювання чавуну з окисленням надлишкового

- вуглецю / К.О. Ізотова // *Машинобудування*. – 2016. – №18. – С. 89-92.
11. Жигуц Ю.Ю. Термітне зварювання чавунних деталей / Ю.Ю. Жигуц // *Вісник Чернігівського державного технологічного університету*. – 2015. – № 2 (78). – С. 134-138.
 12. Жигуц Ю.Ю. Сірі і білі спеціальні термітні чавуни / Ю. Ю. Жигуц // *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*. Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2003. – № 480. – С. 148–153.
 13. Zhiguts, Yu. The features of properties and structure of thermite high-strong cast iron / Yu. Zhiguts, V. Shurokov // *Міжвузівський збірник Луцького національного технічного університету «Наукові нотатки»*. – 2013. – № 41, ч. 1. – С. 23–32.
 14. Калін М.А. Спосіб зварювання чавуну / М.А. Калін, А.О. Емдін // *Вісник НТУ «ХП»*. – 2013. – №26(999). – С. 3-7.
 15. Калін М.А. Спосіб холодного зварювання чавуну / М.А. Калін, К.О. Ізотова // *Матеріали Всеукраїнської науково – практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу»*, випуск 2. – Херсон: ХНТУ (факультет машинобудування), 2015. –С. 141-143.
 16. Скобло Т.С. Використання дисперсних домішок вторинної сировини при відновленні деталей машин / Т.С. Скобло, О.В. Тіхонов, І.М. Рибалко // *Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе»*. – Харьков, 2019. - №12 (84). – С. 55-57.
 17. Каплієнко Н.В. Використання глини в якості модифікатора при наплавленні сірого чавуну / О.В. Тіхонов, І.М. Рибалко, Н.В. Каплієнко // *IX Міжнародної науково-технічної онлайн конференції «Крамаровські читання» з нагоди 115-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віцепрезидента УАСГН КРАМАРОВА Володимира Савовича (1906 - 1987) та 90-річчя кафедри надійності техніки НУБіП України – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2022. – С. 329-331.*

18. Каплієнко Н.В. Характеристика матеріалу корпусу коробки зміни передач ЗИЛ-130 та існуючі способи ремонту тріщин / О.В. Тіхонов, Н.В. Каплієнко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасна інженерія агропромислових і харчових виробництв» 24-25 листопада 2022 року м. Харків. – С. 359-362.
19. Мазнев Г.Е. Економічне обґрунтування інженерних рішень в сфері АПК Навч. посібн. / Г.Е. Мазнев, М.Н. Турченко, М.Д. Щетинин – Х.: ХДТУСГ; 2001. – 401с
20. Практикум з економіки підприємств технічного сервісу: навчальний посіб. для студентів закл. вищ. освіти / Н.М. Колпаченко, Ю.А. Сайчук, І.І. Луценко, В.М. Романченко, В.К. Аветісян, В.А. Бантковський, В.Л. Маніло. – Харків: Діса плюс, 2021. – 252 с.
21. Економіка підприємства: навчальний посіб. для студентів закл. вищ. освіти / Н.М. Колпаченко, Ю.А. Сайчук, В.К. Аветісян, В.А. Бантковський, В.Л. Маніло. – Харків: