

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
КАФЕДРА ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА ЧОРНИХ І КОЛЬОРОВИХ МЕТАЛІВ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Михайло ЯМШИНСЬКИЙ

«__» _____ 2021 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 136 «Металургія»

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютеризовані процеси лиття»

на тему: «Виготовлення біметалевої заготовки сталь-алюміній методом лиття»

Виконав студент 4 курсу, групи ФЛ-71-1

Буйволів Вячеслав Іванович

(підпис)

Керівник

ст. викл. к.т.н. Лук'яненко І. В.

(підпис)

Консультант
з охорони праці

доц. к.т.н. Демчук Г. В.

(підпис)

Консультант
з економічної частини

ст. викл. к.е.н. Нараєвський С. В.

(підпис)

Консультант
з нормоконтролю

доц. к.т.н. Лютий Р. В.

(підпис)

Рецензент

ст. викл. к.т.н. Котляр С. М.

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2021 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона
Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

Освітньо-кваліфікаційний рівень «бакалавр»
Спеціальність 136 Металургія
Освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані процеси лиття»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Михайло ЯМШИНСЬКИЙ
“ ___ ” _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту
Буйволову Вячеславу Івановичу

1. Тема роботи «Виготовлення біметалевої заготовки сталь-алюміній методом лиття», керівник роботи Лу'яненко Іван Віталійович к.т.н., ст. викл.
затверджені наказом по університету № 1355с від 27 травня 2021р.
 2. Термін подання студентом роботи 9 червня 2021р.
 3. Вихідні дані до роботи: аналіз літературних джерел та результати преддипломної практики.
 4. Зміст роботи провести літературний огляд стану питань та сформулювати задачі дослідження; визначити методику дослідження для вирішення поставлених задач; провести експерименти та обробити отримані дані; оцінити параметри економічної ефективності наукового дослідження; розробити заходи з охорони праці; сформулювати загальні висновки та рекомендації.
 5. Перелік ілюстративного матеріалу: стан питання, мета та задачі дослідження, методика проведення досліджень, результати експериментів, висновки.
 6. Консультанти розділів роботи*
-

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічна частина	к.е.н, ст. викладач Нараєвський Сергій Вікторович		
Охорона праці	к.т.н., доцент Демчук Гліб Вікторович		

7. Дата видачі завдання: 12 квітня 2021 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Переддипломна практика	12.04.2021 – 17.05.2021	
2	Опрацювання та аналіз літератури за темою дослідження	14.04.2021 – 10.05.2021	
3	Розроблення методики дослідження	15.05.2021 – 17.05.2021	
4	Планування та проведення експериментів	20.05.2021 – 23.05.2021	
5	Аналіз результатів експериментів	25.05.2021 – 27.05.2021	
6	Розрахунок економічно-організаційних показників	07.06.2021 – 08.06.2021	
7	Аналіз стану охорони праці	06.06.2021 – 07.06.2021	
8	Підготовка та оформлення ілюстративної/графічної частини роботи	9.06.2021 – 10.06.2021	
9	Оформлення дипломної роботи	11.06.2021 – 12.06.2021	
10	Подання дипломної роботи до захисту	14.06.2021	
11	Рецензування дипломної роботи	14.06.2021	
12	Захист дипломної роботи	16.06.2021	

Студент

Вячеслав БУЙВОЛОВ

Керівник роботи

Іван Лук'яненко

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 92 с., 31 рис., 22 табл., 24 джерела.

Мета роботи – дослідити вплив різного роду покриттів циліндричної сталеві вставки та її геометричних параметрів на якість перехідної зони біметалевої заготовки сталь - алюміній.

Об’єкт дослідження – процес виробництва біметалевих заготовок сталь-алюміній.

Предмет дослідження: Види покриттів сталевих вставок, геометричні параметри сталевих вставок, мікроструктура перехідної зони отриманих зразків.

Методи дослідження – металографічний.

Проведено дослідження варіантів технологічного процесу виготовлення біметалевих заготовок сталь-алюміній методом лиття. Досліджено мікроструктуру виливків у перехідних шарах, виявлено утворення інтерметалідних фаз сталь-алюміній у цих шарах. Встановлено вплив різного роду покриттів на якість утворених перехідних шарів у біметалевих виливків.

БІМЕТАЛЕВА ЗАГОТОВКА СТАЛЬ-АЛЮМІНІЙ, ХЛОРИД АМОНІЮ, АЛІТУВАННЯ, РОЗЧИН ПАРАФІНУ У ГАСІ, РОЗЧИН МІНЕРАЛЬНОЇ ОЛИВИ У НАСИЧЕНИХ ВУГЛЕВОДНЯХ.

ABSTRACT

Thesis: 92 pages, 31 figures, 22 tables, 24 sources.

The purpose of the work is to investigate the influence of different kinds of coatings of cylindrical steel insert and its geometrical parameters on the quality of the transition zone of bimetallic steel - aluminum billet.

The object of research is the process of production of bimetallic steel-aluminum billets.

Subject of research: Types of coatings of steel inserts, geometrical parameters of steel inserts, microstructure of the transition zone of the obtained samples.

Research methods - metallographic.

A study of variants of the technological process of manufacturing bimetallic steel-aluminum billets by casting. The microstructure of castings in the transition layers was studied, the formation of intermetallic phases of steel-aluminum in these layers was revealed. The influence of different kinds of coatings on the quality of the formed transition layers in bimetallic castings is established.

BIMETAL PREPARATION STEEL-ALUMINUM, AMMONIUM CHLORIDE, ALLITATION, PARAFFIN SOLUTION IN GAS, SOLUTION OF MINERAL OIL IN SATURATED HYDROCARBONS.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	11
1.1 Загальна характеристика біметалів, та сфери їхнього застосування	11
1.1.1 Корозійностійкі біметали	12
1.1.2 Антифрикційні біметали.....	12
1.1.3 Інструментальні біметали.....	14
1.1.4 Електропровідні матеріали.....	14
1.1.5 Термічні біметали.....	15
1.1.6 Біметали для глибокої витяжки.....	16
1.2 Сфери застосування біметалів	16
1.2.1 Зварювання біметалів, і їх використання.....	19
1.2.2 Застосування біметалів в електроніці	19
1.2.3 Застосування різних біметалевих сплавів.....	20
1.2.3.1 Біметал титан – залізо.	20
1.2.3.2 Біметал мідь - алюміній.	20
1.2.3.3 Біметал Алюміній-залізо.....	21
1.3. Способи виготовлення біметалів	22
1.3.1. Прокатка	22
1.3.2 Пресування	23
1.3.3 Осадка	24
1.3.4 Зварювання вибухом.....	24
1.3.5 Зварювання тиском.....	25
1.3.6 Наплавлення біметалів.....	26
1.3.7 Лиття	27
1.4.7.1. Рідина + Тверда.....	28
1.4.7.2 Конфігурація рідина + рідина	29
1.4 Сучасні технології виготовлення біметалів алюміній - залізо способами ЛИТТЯ.....	30

1.4.1	Виготовлення біметалевих виливків алюміній-залізо з дифузійним зв'язком	31
1.4.2	Лиття під тиском.....	33
1.4.3	Лиття в кокіль	34
1.4.4	Відцентрове лиття:	36
1.5	Фактори що впливають на якість з'єднання між окремими шарами біметалу	38
1.5.1	Перехідний дифузійний шар	38
1.5.2	Діаграма стану залізо – алюміній, вплив металу арматури на будову і якість шару	40
1.5.3	Алітування.....	43
1.6	Застосування флюсів для виробництва біметалевих виливків алюміній – сталь	45
1.6.1	Роль флюсів.....	45
1.6.2	Вплив флюсів на процес алітування.....	46
1.7	Висновки та постановка завдань дослідження.....	47
2	МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	49
2.1	Виготовлення дослідних зразків	49
2.2	Приготування розплаву, виготовлення і заливання форм	51
2.3	Проведення металографічних досліджень та визначення хімічного складу зразків	52
2.3.1	Підготовка зразків до мікроскопічних досліджень.....	52
2.3.2	Електронно-мікроскопічні дослідження	54
3.	ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ.....	56
3.2	Встановлення впливу покриття циліндричної сталевий вставки діаметром 4, 6 та 8 мм розчином мінеральної оливи у насичених вуглеводнях на якість перехідної зони біметалевої заготовки.	60
3.3	Встановлення впливу покриття циліндричної сталевий вставки діаметром 4, 6 та 8 мм пересиченим розчином хлориду амонію та алюмінієм на якість перехідної зони біметалевої заготовки.	62

4. РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	67
4.1 Загальна характеристика умов праці в ливарній лабораторії.....	67
4.2 Оцінка ключових небезпечних та шкідливих виробничих факторів і розроблення заходів поліпшення (нормалізації) умов праці в ливарній лабораторії.....	70
4.2.1 Фізичні джерела небезпечних і шкідливих виробничих факторів в ливарній лабораторії при виконанні ливарних робіт.....	71
4.2.1.1 Теплова безпека	71
4.2.1.2 Ураження електричним струмом	72
4.2.1.3 Хімічні фактори	74
5. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	77
5.1 Науково-технічна актуальність НДР	77
5.1.1 Мета і завдання науково-дослідницької роботи	77
5.2 Розрахунок витрат на проведення НДР	78
5.2.1. Витрати на оплату праці	79
5.2.2. Єдиний соціальний внесок	80
5.2.3. Матеріали, необхідні для проведення досліджень.....	81
5.2.4 Витрати на спеціальне обладнання.....	82
5.2.5 Витрати на службові відрядження.....	83
5.2.6 Інші прямі невраховані витрати.....	83
5.2.7 Накладні витрати по темі.....	83
5.2.1 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми	84
5.3. Науково-технічна ефективність НДР	85
ВИСНОВКИ.....	88

ВСТУП

Останнім часом сучасний світ все більшу увагу приділяє новим матеріалам, які будуть мати високу міцність, зносостійкість, високу теплопровідність, оброблюваність тощо. Основною метою таких матеріалів буде: зниження ваги машин і зменшення витрат матеріалів на одиницю потужності двигуна. Всім цим вимогам повною мірою не може задовольнити ні один з наявних металів і сплавів.

Тому неабиякою зацікавленістю користується виготовлення біметалічних деталей з алюмінієвих та залізних сплавів методом лиття. Постає можливість до поєднання легкої ваги алюмінію при міцності сталі, що є досить важливою характеристикою для вузлів машин і механізмів.

Велику кількість робіт присвячено вивченню біметалів, однак більшою мірою спостерігається відсутність даних із технології отримання біметалевих виливків, немає систематизованого викладу теорії і технології одержання біметалевих виливків алюміній – сталь, їх міцності і експлуатаційних властивостей, будови і фазового складу. Крім того, багато робіт містять суперечливі практичні рекомендації.

Сплави з цих матеріалів все ширше знаходять застосування у виробництві та відновленні зношених деталей у хімічній, нафтохімічній, харчовій промисловостях та машинобудуванні завдяки поєднанню унікальних комплексів властивостей: висока міцність, жаростійкість, корозійна стійкість, електропровідність, теплопровідність, технологічність тощо, які не володіють складові композиційні матеріали окремо.

Отже, дослідження виробництва біметалевих виливків з алюмінієвих та залізних сплавів методом лиття із різними методами обробки є актуальною задачею у наш час.

Для дослідження було обрано біметал сталь – алюміній, а саме його виробництво методом лиття у піщано-глинясті форми. Згідно з літературними даними, даний метод виробництва біметалевих виливків й досі залишається

малодослідженим. Для поліпшення з'єднання біметалевих виливків були проведені різні методи обробки, і виходячи із результатів, були зроблені висновки, і надана перевага одному з методів обробки, що в свою чергу, дає можливість спростити технологію отримання біметалів сталь-алюміній методом лиття, та зменшити собівартість виливка.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Загальна характеристика біметалів, та сфери їхнього застосування

Потреби сучасного світу постійно стимулюють розроблення та створення нових матеріалів, які будуть вмщати в собі комплекс властивостей, забезпечуватимуть високу міцність, корозійну стійкість, теплопровідність, жароміцність, зносостійкість тощо.

Нажаль, більшість металів і сплавів окремо не можуть в повній мірі забезпечити поєднання у собі необхідної гами властивостей, що є актуальною проблемою сучасності. Одним із варіантів її вирішення є розроблення технологій з'єднання окремих металів або сплавів в одному виробі, який би поєднував переваги кожного з них.

Матеріал який зазвичай складається з двох шарів різнорідних металів або сплавів отримав назву – біметал. Застосування виробів з біметалевих виробів дозволяє підвищити надійність і довговічність великого класу деталей і устаткування. Також використання біметалів у промисловості обумовлено економією дорогих металів та складових компонентів сплавів (Ni, Cr, Cu, Mo, Ti тощо). Дешевий шар матеріалу в біметалах називають основним, а шар дорогого – робочим [1, 2].

В цілому всі одержувані біметали за застосуванням поділяють на наступні види:

- корозійностійкі;
- антифрикційні;
- інструментальні (зносостійкі);
- електротехнічні;
- термічні біметали;
- для глибокої витяжки;
- для теплообмінної апаратури [1].

1.1.1 Корозійностійкі біметали

Як основний шар корозійностійких біметалів застосовують низьколеговану або низьковуглецеву сталь, а як плакувальний – корозійностійку сталь, мідь, нікель, титан та сплави на їх основі. Такі метали використовуються при виготовленні біметалевих деталей великогабаритних конструкцій, що працюють в агресивних середовищах. Основна мета – зниження витрат на дорогі легувальні компоненти. Такого роду вироби знайшли своє призначення у наступних галузях: нафтопереробна; хімічна; харчова; суднобудівна тощо (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Труба комбінована біметалева призначена для роботи в умовах агресивних середовищ [3]

1.1.2 Антифрикційні біметали

Призначені для виготовлення деталей різних пар тертя. У більшості з цих матеріалів можна виготовити підшипники ковзання різного призначення, зокрема у автомобілебудуванні. Такий підшипник складається із товстого

основного шару, виготовленого зазвичай із конструкційної сталі і тонкого плакувального шару із антифрикційного сплаву. Має гарну економічну складову, адже витрачаючи дорогі антифрикційні матеріали, підвищує припустимі навантаження в вузлах тертя, і за рахунок застосування різних порошкових сумішей.

Перевагою виробництва біметалевих підшипників є значна економія кольорових металів (антифрикційний шар має товщину не більше міліметра).

Біметалеві підшипники з композицій сталі + бронза (рис 1.2), сталі + алюмінієві сплави (АО9-2, АО20-1), часто використовуються в автомобільному машинобудуванні. Дані композиції застосовуються у вузлах тертя (підшипників колінчастого вала тощо.) Дозволяє збільшити потужність важко-навантажених дизельних двигунів [1].



Рисунок 1.2 – Підшипник біметалічного двигуна TSB-800, використовується в шатунах автомобільних двигунів, техніки і сільськогосподарських машин, важкої будівельної техніки [4]

1.1.3 Інструментальні біметали

Цей тип матеріалу складається із основного шару, виготовленого із дешевої конструкційної або інструментальної сталі і невеликого об'єму спеціального дорогого інструментального матеріалу (наприклад, швидко ріжучої сталі, або твердих сплавів). Застосування даного біметалу, дозволяє економно витратити дорогі інструментальні матеріали, підвищувати стійкість інструменту. Даний клас матеріалів використовується для практично будь-яких видів і типорозмірів ріжучих інструментів (переважно плоских), штампів різних типів, для виробництва фрез, свердл (рис. 1.3) тощо [1].



Рисунок 1.3 – Біметалеві кільцеві свердла призначені для свердління наскрізних отворів за короткий проміжок часу [5]

1.1.4 Електропровідні матеріали

Цей тип біметалу зазвичай використовується на високовольтних лініях електропередач. Основний шар у них виготовляється зі сталі, плакувальний при цьому роблять з металів високої електропровідності (рис 1.4), найпоширенішим з яких є мідь та алюміній [6].



Рисунок 1.4 – Біметалевий дріт лінії електропередач [2]

1.1.5 Термічні біметали

Зазвичай являють собою смуги, які можна зігнути при перепадах температур один шар складається з металу з великим температурним коефіцієнтом лінійного розширення (кольорові метали, сплави 24НХ, Л90, 75ГДН), другий шар з пасивних металів, які практично не розширюються (наприклад, інвар – сплав заліза і нікелю). Смуга, виготовлена з такого матеріалу згинається під дією температури завдяки різному коефіцієнту лінійного розширення двох сплавів. Такі біметали використовуються для термометрів, терморегуляторів (рис. 1.5), захисних реле [2].



Рисунок 1.5 – Біметалеві термометри [2]

1.1.6 Біметали для глибокої витяжки

Біметали, призначені для виготовлення різних деталей методом глибокої витяжки повинні поєднувати в собі поряд з високою міцністю і достатньою пластичністю хорошу корозійну стійкість, теплопровідність та інші властивості. Таким вимогам відповідають зокрема композиції типу сталь + мідні сплави, що дозволяють отримувати вироби з необхідними фізико-механічними, технологічними і експлуатаційними властивостями. Ці біметали можна піддавати різним технологічним операціям - штампуванню, зварюванню, термічній обробці. Це і зумовило широке їх застосування в різних вузлах машин, конструкцій і апаратів [1].

1.2 Сфери застосування біметалів

Біметали застосовують в різних сферах промисловості для збільшення продуктивності, зменшення маси виробу, економії дорогих металів та сплавів, захисту устаткування від зношування, збільшення терміну служби обладнання тощо.

У нафтохімічній промисловості такі композити часто використовують для корозійностійкого обладнання. Також у цій галузі цей композитний матеріал використовується у виробництві компонентів з кріпленням [7].

В електрохімічній промисловості біметали зазвичай використовують у хлорі, що отримується електролізом, для очищення води [7].

Біметалічні труби, пластини та інші компоненти дуже важливі і в галузі хімічного машинобудування. В агресивних середовищах неможливо використовувати інші метали, крім титану. Біметал сталь-титан – це корозійностійкий матеріал. Він стійкий до азотної кислоти, хлору та морської води. Використання даного матеріалу може продовжити термін служби виробів на десятиліття або навіть сотні років [8].

У суднобудуванні, незважаючи на більш високу вартість у порівнянні зі сталями, біметали дають можливість знизити трудомісткість робіт, підвищити корозійну стійкість, працездатність і довговічність вузлів, а також забезпечити виконання зварних швів при будь-якому просторовому положенні і можливість ремонту зварних вузлів. Висока якість біметалів гарантується в широкому температурному інтервалі зварювального впливу.

Також біметали застосовуються у морському транспорті, надбудовах морських платформ, інженерних комунікаціях; палубних надбудовах; під час виготовлення частин суден, що контактують з льодом і снігом [9].

Не обійшло стороною застосування біметалів в художньому та ювелірному литві. Завдяки технології біметалічного лиття, в виробі з'єднуються одночасно кілька деталей. За одну заливку форми розплавленим металом, можемо отримати виріб котрий буде складатись з декількох сплавів.

За допомогою даної технології стало можливим виготовляти вироби виключивши операції пайки, і з'явилась можливість отримати вироби, котрі традиційними методами виробництва просто не вдасться.

Впровадження біметалічного лиття в процесі виготовлення ювелірних виробів має безліч переваг, порівнюючи з традиційним. Починаючи від економічних показників і закінчуючи вирішенням безліч конструктивних і

технологічних проблем, таких як:

- збільшення міцності окремих частин виливка
- отримання виробу складної конфігурації, виготовлення яких простою заливкою в форму неможливо
- отримання виливка зі складними внутрішніми порожнинами без застосування стрижнів;
- з'єднання кілька деталей в єдиний вузол без складання;
- полегшує наступну механічну обробку виробу шляхом заливання попередньо оброблених вставок;
- зменшує витрати дорогих ювелірних припоїв;
- підвищує якість виливків за рахунок регулювання спрямованості кристалізації за допомогою вставок;
- зменшує трудомісткість виготовлення виробів за рахунок виключення операцій приготування припоїв і операцій складання виробу за допомогою пайки або зварювання [10].

В повсякденному житті крім різних ріжучих інструментів, цей тип матеріалу використовують в теплових мережах. Біметалічні радіатори, виготовлені з двох металів, застосовують в житлових приміщеннях. Основним шаром цієї конструкції є сталь. Плакувальний виготовляють з алюмінію. До переваг цього типу радіаторів належать: тривалий термін служби, висока міцність і надійність. Головна ж, з переваг цих акумуляторів полягає в тому, що їх можна використовувати в мережах з високим тиском в мережі. Алюмінієвий шар в біметалічному радіаторі розташований зовні. Цей матеріал має високу теплопровідність і може нагріватися за короткий проміжок часу. До того ж алюміній виглядає дуже сучасно і привабливо. Біметалічні радіатори зазвичай ідеально вписуються всередину будинків і квартир. Основний шар композиційного матеріалу, що використовується для виготовлення таких радіаторів, зазвичай складається з антикорозійної сталі. Цей матеріал міцний і не піддається корозії через наявність повітря та різних домішок в теплоносії [7].

1.2.1 Зварювання біметалів, і їх використання

Основний обсяг виробів з біметалів виготовляють за допомогою зварювання.

У ряді випадків біметали використовують як перехідники для зварювання конструкцій з різних металів. При цьому складові біметалевих перехідників (вставки) зварюють з відповідними металами конструкцій. Наприклад, при створенні сталевих конструкцій застосовують біметалеві вставки, сталевий шар яких приварюють до сталевій деталі за допомогою електродугової зварки, а алюмінієвий шар – до алюмінієвої деталі методом аргонно-дугового зварювання [11].

1.2.2 Застосування біметалів в електроніці

В електротехніці біметалічні сплави часто використовують в якості провідників та інших частин електричних ланцюгів, а також деталей контактних пристроїв. Біметалічна композиція, що складається з двох або більше шарів, має високу електропровідність і міцність, не потребує великої кількості рідких і дорогих матеріалів, таких як: срібло, мідь, алюміній і ін.

Поширення біметалів в електро- і радіотехніці обумовлено тим, що щільність змінного струму падає від периферії провідника до його середини, тому іноді доцільніше використовувати поверхню з дроту з більш дешевого матеріалу покривати хорошим провідником.

Доречним прикладом слугує дріт зі сталеву сердцевину і зовнішнім шаром міді, яка по своїм характеристикам не поступається мідному дроту в електропровідності, але в той же час є більш міцним, легким, економічним, а також має більш високу корозійну стійкість.

Такий дріт широко застосовується в електроніці. В якості тросу контактного проводу, використовується для трамвайної та троллейбусної тяги, застосовують також і сталеві дроти.

1.2.3 Застосування різних біметалевих сплавів

1.2.3.1 Біметал титан – залізо

Титан – метал що знайшов своє призначення в багатьох галузях промисловості, широко застосовується при виробництві обладнання, що працює в контакті з агресивними середовищами, зокрема, містять хлор-іони. При виготовленні конденсаторного устаткування не спостерігається відкладення солей. Недоліки титану, як конструкційного матеріалу, полягає в його високій вартості і низькою технологічності, пов'язаної з високою хімічною активністю. Застосування біметалу з відносно тонким плакувальним шаром з титану дозволяє різко знизити вартість і підвищити технологічність.

Стримуючим фактором виробництва біметалу сталь-титан є труднощі, що виникає ще при його виготовленні, пов'язані зі складністю отримання якісного нероз'ємне з'єднання між титаном і сталлю.

Проблемі раціонального способу отримання сталі, плакованої титаном, і дослідженню її властивостей присвячено багато робіт як вітчизняних, так і зарубіжних авторів. Це пояснюється, з одного боку, гострою потребою різних галузей сучасного машинобудування в такому Біметалі, а з іншого боку, труднощами його отримання, пов'язаної зі специфічними властивостями титану [12].

1.3.2.2 Біметал мідь - алюміній

Біметал мідь - алюміній застосовують при виробництві контактних струмопровідних вузлів, електроконтактних наконечників. В даний час, велику перспективу має застосування біметалевого дроту мідь - алюміній.

Біметалевий дріт, наприклад з алюмінію, плакованою міддю, використовується в промисловості для того, щоб за рахунок поєднання

властивостей двох металів отримати технічну або економічну перевагу. Дріт має високу електропровідність міді і малу питому вагу алюмінію при невисокій вартості.

Найбільш вигідно застосування дроту мідь-алюміній при виробництві високочастотних кабелів. За рахунок поверхневого ефекту струм протікає тільки в дуже тонкій частині дроту поблизу зовнішньої поверхні. Товщина цього шару залежить від частоти, при якій експлуатується кабель.

У зв'язку з тим, що ціни на мідь ростуть швидше, ніж на алюміній, біметалевий дріт мідь-алюміній стає все більш привабливою для світової кабельної промисловості. З огляду на різницю в ціні на одиницю маси і об'ємну різницю внаслідок різної питомої ваги, отримуємо коефіцієнт ефективності від 3 до 8 на користь дроту мідь-алюміній. А безпека застосування біметалічного дроту мідь-алюміній (мова йде про саморуйнування алюмінію) свідчить про ще одну перевагу [1].

1.3.2.3 Біметал алюміній-залізо

Попитом користується виготовлення біметалевих деталей з алюмінієвих і залізних сплавів. Вони дають можливість об'єднати міцність сталі з високою тепло- і електропровідністю алюмінію і його сплавів, що є важливим для теплонавантаженості вузлів машин і провідників струму.

Великий інтерес представляє виготовлення деталей подібного роду армуванням біметалевих, що складаються з двох і більше різними за своїми властивостями металів або сплавів. Таким чином, з'являється можливість одночасно використовувати сприятливі властивості різних сплавів, наприклад: поєднувати високу твердість, хорошу зносостійкість і жароміцних сталей з малою питомою вагою і відмінною теплопровідністю алюмінієвих сплавів.

Найбільш поширені армовані виливки з важких кольорових сплавів. До числа таких виливків відносяться залиті бабітом, або свинцювата бронзою підшипники і стрічки, біметалеві шестерні і втулки.

Алюмінієві деталі армовані сталлю застосовуються вже досить давно. Вперше таку процедуру здійснила одна з американських фірм при виготовленні циліндрів авіаційних двигунів повітряного охолодження. Даний спосіб отримав назву – «аль-фін» процес, так як отримання алюмінієвих ребер на сталевій гільзі. Дану процедуру отримання використовують для виробництва різних підшипників, шестерень, втулок [13].

1.3 Способи виготовлення біметалів

Аналіз літературних джерел показав, що існує багато способів отримання біметалевих виробів. Способи отримання шаруватих металевих композицій не виключають, а взаємо доповнюють один одного.

Розрізняють такі способи, як:

- прокатка;
- пресування;
- осадка;
- зварювання вибухом;
- зварювання тиском;
- наплавлення;
- лиття.

1.3.1. Прокатка

Прокатку, як найбільш поширений спосіб отримання біметалів, використовують для виробництва біметалевих листів, труб, профілів, прутків.

Прокатка полягає у спільній деформації листів, смуг, стрічок з'єднувальних металів, зібраних в пакет.

Одним з основних промислових способів отримання широкого класу біметалів є спільна гаряча прокатка, зокрема, так звана пакетна прокатка, яка використовується для отримання корозійностійких біметалевих листів. При

цьому способі складений пакет з двох або більше шарів різних металів у вигляді пластин або профілів піддається гарячій деформації.

При виробництві круглих і фасонних біметалевих профілів широко використовується метод гарячого пресування, який заснований на спільному витіканні з'єднувальних металів через матрицю [16].

1.3.2 Пресування

Пресування – процес видавлювання металу із закритої порожнини контейнера через корпус основи. Площа отвору корпусу основи менша, ніж площа поперечного перерізу вихідної заготовки.

Пресування – це процес, при якому попередньо розігріта заготовка, поміщена у форму, видавлюється через отвір з перетином, меншим, ніж у вихідної заготовки. Пресування робить вироби різного перерізу складними контурами (рис. 1.7). В якості вихідного матеріалу для реалізації цього способу зазвичай використовують заготовки або злитки кольорових металів та їх сплави [14].

Наразі у виробництві використовували два способи пресування металу: прямий і зворотний.

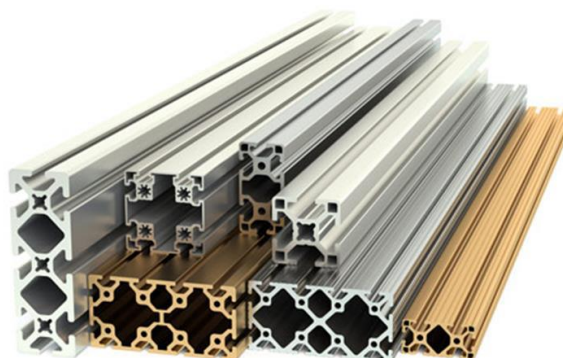


Рисунок 1.7 – Приклад біметалевого виробу отриманого методом пресування

На практиці метод прямого пресування є більш поширеним, тоді як метод зворотного пресування застосовується рідко. Справа в тому, що він демонструє більш високі показники та забезпечує дуже хорошу якість поверхні готового продукту. У багатьох випадках методи прямого пресування металу можуть скласти конкуренцію прокатці.

Шляхом пресування сучасні промислові компанії виготовляють трубки і стрижні з різними контурами. У цьому випадку для виготовлення труби використовується лише метод прямого пресування, а в більшості випадків використовується протилежний метод [14].

Перевагами пресування є:

- під час пресування матеріал набуває вигляду напруженого стану, в результаті чого пластичність металу істотно підвищується, і тому його можна обробляти з високими ступенями деформації;
- цей метод дозволяє дуже швидко перенастроювати устаткування на виробництво деталей інших форм і розмірів;
- пресування дає можливість випускати профілі найскладніших обрисів і профілі суцільні;
- пресування дозволяє отримувати менші допуски лінійних розмірів напівфабрикатів [16].

1.3.3 Осадка

За допомогою методу осадки, можемо отримати багатошарову композицію невеликого розміру. Пакет, зібраний зі з'єднувальних компонентів, нагрівають в печі, а потім поміщають між бойками преса і осаджують. Після цього отриману багатошарову заготовку піддають прокатуванню до готового розміру [16].

1.3.4 Зварювання вибухом

Найбільш перспективним процесом, який дозволяє виготовляти

біметалічні заготовки та вироби майже необмеженого розміру з різноманітних металів та сплавів, є зварювання вибухом.

Визначення «технології зварювання вибухом» відносяться до процесу з'єднання поверхонь двох металевих пластин, що відбувається під час швидкісного зіткненні. Зіткнення металів відбувається при метанні плакувального металу на лист основного металу вибухом заряду вибухової речовини [2].

Зварювання вибухом використовують для безпосереднього виготовлення багатошарових листів, смуг, циліндричних виробів, призначених для подальшої прокатки. Крім того, зварювання вибухом застосовують для облицювання деталей машин і конструкцій, нанесення порошкових покриттів на металеві поверхні.

Переваги виробництва біметалів за технологією зварювання вибухом:

- виготовлення біметалів, традиційними методами неможливо;
- повністю зберігаються властивості металів;
- найбільш міцний зв'язок між матеріалами;
- відсутні слабкі ділянки, отримані в результаті впливу високих температур;

Обмеження:

- розміри вихідних листів металу обмежені габаритами вантажної платформи автомашини, яка використовується для доставки металу на полігон [16].

1.3.5 Зварювання тиском

Широке застосування у виробництві біметалів отримало зварювання тиском.

Сам метод, заснований на використанні пластичної деформації для з'єднання складових шарів у суцільний виріб, в основному використовується для виготовлення смуг, стрічок, двошарових листів, для отримання фасонних

профілів, дроту, прутків.

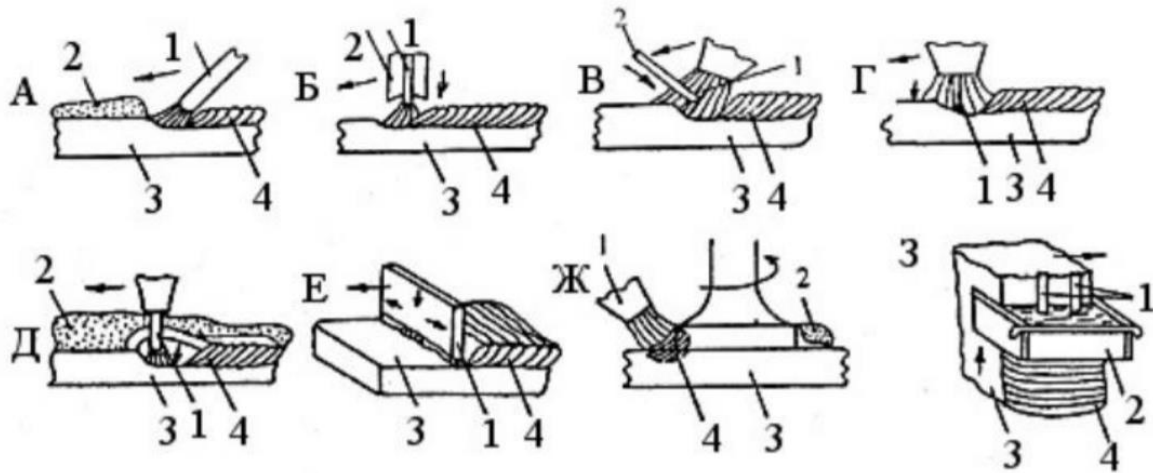
1.3.6 Наплавлення біметалів

Наплавлення, як метод отримання біметалевих багатошарових виробів, дозволяє отримувати міцний металургійний зв'язок покриття з основою, причому локальний характер впливу на поверхню підкладки не призводить до надмірного збільшення глибини перехідного шару, а також наплавлення дозволяє отримувати багатошарові наплавочні покриття на локальних робочих ділянках деталей.

Найбільш широко різні способи наплавлення застосовуються при зміцненні деталей машин й механізмів на підприємствах гірничо-металургійної галузі. При цьому в багатьох випадках як таких деталей необхідно наплавляти зношені поверхні на більших площах. Прикладом можуть служити різні шнеки, сита, труби, тічки, бункера, лотки без конусних завантажувальних пристроїв доменних печей. Саме для таких деталей доцільно застосування зносостійких багатошарових листів [17].

Існує також і багато методів наплавлення біметалів (рис. 1.8), в наш час широко користуються:

- електродугове наплавлення;
- плавка стрічкою;
- плазмове наплавлення;
- електрошлакове наплавлення.



1 – присадочні матеріали; 2 – захисні покриття; 3 – основний метал; 4 – метал, що наплавляють.

А, Б, В, Г, Д – різні види електродугового наплавлення; Е – наплавлення стрічкою; Ж – плазмове наплавлення; З – електрошлакове наплавлення

Рисунок 1.8 – Методи наплавлення біметалів [16]

У технології наплавлення під шаром гарячого шлаку біметалевої заготовки отримують електронагріванням шлаку основної заготовки не плавучими електродами з подальшим затвердінням шару покриття під час електрошлакового нагрівання. Основна плита введена на візку з вогнищем. Потім невитратні графітовані електродні пластини поміщають в електродні тримачі під пластиною.

Іншою подібною технологією є електрошлакове наплавлення рідким металом, зокрема, наплавлення роликів. Шлак, розплавлений в окремій камері, потрапляє в зазор між поверхнею валика і стінкою форми. Тут прес-форма формує розплавлений шар, а також служить електродом, що не витрачається, підтримуючи процес електрошлакоутворення [17].

1.3.7 Лиття

Найпоширенішими і найдавнішим способом отримання біметалів є

ливарний метод. Застосовується для отримання різних видів біметалічних виробів. Технологія виробництва лиття біметалів багато в чому визначається поєднанням металів.

Існуючі методи, як правило, класифікуються на два види: «рідина + рідина» та «рідина + тверда».

1.3.7.1 «Рідина + Тверда»

При рідко-твердому способі виготовленні, гранульована або монолітна вставка (елемент, що збагачує поверхню) поміщається у форму безпосередньо перед заливанням розплавленого металу (рис. 1.9). Багато вчених [24] досліджували технологію лиття біметалевих шарів у конфігурації: робоча частина (шар) із феритної або аустенітної нержавіючої сталі та несучої частини із сірого чавуну. Поверхневий шар із сталі товщиною 2 або 5 мм наноситься безпосередньо перед заливанням сірого чавуну в порожнину форми. Значно кращі результати досягаються використанням товщини плити 5 мм. Використання тонших пластин товщиною близько 2 мм спричиняє їх деформацію під час заливки, що дискваліфікує лиття цього шару для промислового застосування.

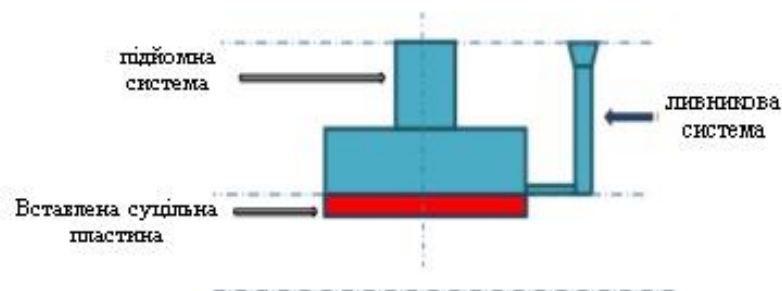


Рисунок 1.9 – Схематична ілюстрація «рідина + тверда» способу виготовлення [24]

Рідко-тверде виробництво біметалевих термостійких виливків може в основному використовуватись для облицювання гартувальної машини

коксхімічного виробництва. Технологія рідко-твердого виготовлення біметалевих виливків використовується для виготовлення виливків із високохромистого чавуну та середньовуглецевої сталі для переробки мінеральних речовин.

Міжфазна мікроструктура суттєво впливає і на об'ємні співвідношення рідини до твердої речовини. Взагалі, економічним обмеженням способу лиття з рідко-твердого біметалу є обов'язкова необхідність попереднього нагрівання сталевих пластини (монолітної вставки), розміщеної у формі. Цей процес попереднього нагрівання пластинчастих вставок зменшить вихід загальної виробничої обробки.

1.3.7.2 Конфігурація «рідина + рідина»

Біметалеве лиття з конфігурацією «рідина + рідина» – це технологія, при якій для заповнення порожнини форми використовуються дві незалежні ливникові системи (рис. 1.10). Технологія забезпечує безризикову роботу із зносостійким хромистим чавуном молотків у поєднанні з високоударною сталлю. Ця технологія дозволяє використовувати молотки одночасно поєднуючи стійкість до стирання хромистого чавуну твердістю до 64 HRC та легованої загартованої сталі з твердістю 28-32 HRC.

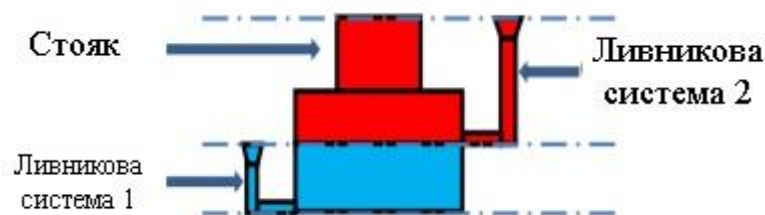


Рисунок 1.10 – Схематична ілюстрація «рідина + рідина» способу виготовлення [24]

Біметалічні молотки розроблені для продовження терміну служби молотка, що призводить до зниження загальних витрат, збільшення середнього часу між

поломками та загального скорочення загального простою.

Перспективним методом є безперервне лиття плоских або круглих біметалевих заготовок для подальшої пластичної деформації.

Послідовне лиття двох різних рідких металів забезпечує більш міцне зчеплення шарів, ніж у попередньому випадку «рідина-тверда» речовина, а також значно підвищує продуктивність, знижує вартість кінцевих продуктів.

Процеси відцентрового лиття використовуються для виготовлення біметалічних заготовок з подальшою гарячою та холодною пластичною деформацією у виробництві труб та стрижнів.

Спочатку здійснюють заливання розплавленого металу разом із шлаком у форму, яка обертається. Після затвердіння першого шару металу з його шлаковим покриттям заливають другий метал, і шлак піднімається на поверхню, в результаті чого метали промиваються і змішуються, утворюється досить міцний зв'язок.

1.4 Сучасні технології виготовлення біметалів алюміній - сталь способами лиття

Нові технології виготовлення та використання біметалевого лиття алюміній – сталь розробляють протягом багатьох років. Як приклад, можна взяти автомобільну промисловість. Більш суворі норми безпеки автомобілів, такі як: невеликі перекриття та нові випробування автомобіля на міцність у випадку можливих аварій, спричинили постійне збільшення ваги автомобіля.

З огляду на економію палива, постає необхідність до зменшення маси. За цих обставин, постає можливість до поєднання легкої ваги алюмінію при міцності сталі. Також Al сплави мають чудову здатність до лиття, мають високу тепло- і електропровідність. По-друге, сталь може забезпечити високу зносостійкість, чудове гасіння вібрацій, тощо. Це питання має загально-світову увагу як технічне рішення для вирішення конфлікту між вищим попитом на безпеку та економією палива. Крім того, слід зазначити, що біметалічні виливки

Al / Fe потрібно піддавати термічній обробці, обробляти на практиці перед використанням, щоб надалі покращити механічні властивості та усунути напруження у біметалічних виливках. Існує багато методів з'єднання алюмінію та сталі, таких як зварювання, валкове скріплення, дифузійне з'єднання. Однак виготовлення саме біметалу алюміній - сталь методом лиття все ще залишається відносно невивченою областю.

Нові тенденції в процесах лиття біметалів, які починають впроваджуватись, повинні бути більш революційними, ніж розглянуті вище, щоб бути конкурентоспроможними із звичайними технологіями лиття. Проблеми, що виникають перед розвитком біметалевого лиття, повинні зосереджуватися на зниженні собівартості та простоті виробництва, а також на поліпшенні взаємозв'язку пари металів.

У наш час перспективними методами виготовлення біметалу є:

- лиття під тиском;
- лиття в кокіль;
- відцентрове лиття.

1.4.1 Виготовлення біметалевих виливків алюміній-сталь з дифузійним зв'язком

У техніці, до теперішнього часу застосовують біметалеві виливки алюміній - сталь з механічним зв'язком, і порівняно мало біметалічні виливки з дифузійним зв'язком.

Вперше отримання виливків алюміній - залізо з дифузійним зв'язком було здійснено однією з американських фірм при виготовленні циліндрів авіаційних двигунів повітряного охолодження.

При отриманні біметалевих виливків з дифузійним зв'язком між алюмінієм або його сплавами, з одного боку, і сталлю з іншого, утворюється перехідний шар, що забезпечує міцне з'єднання двох металів і має гарну теплопровідність.

Завдяки наявності металевого перехідного шару в місці контакту двох

металів не спостерігається дроселірованого потоку (рис 1.11). Армвані вилівки з дифузійним перехідним шаром по теплоопору поступаються тільки алюмінієвим циліндрам з хромованою поверхнею і значно перевершують біметалеві деталі з механічним зв'язком, отримані заливкою або запресовкою.

Коефіцієнт теплопередачі дифузійного шару дорівнює 1.5 - 2.9. Дифузійний шар утворюється при більш тривалому контакті рідкого алюмінію зі сталлю, ніж при простій заливці. Для цього перш за все потрібно прогріти залізну вставку до певної температури, при якій починається інтенсивна взаємна дифузія алюмінію і заліза.

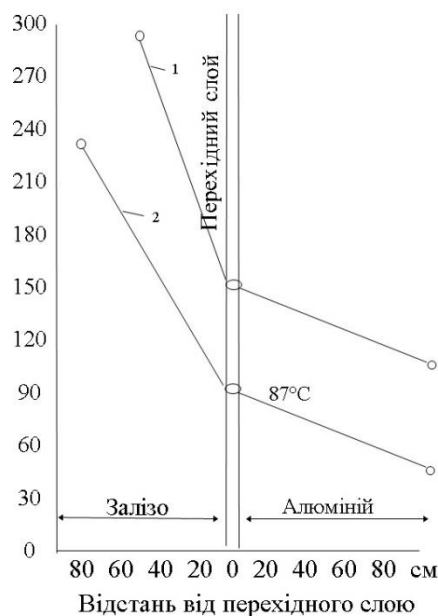


Рисунок 1.11 – Графік теплопередачі через перехідний шар між залізом і алюмінієм

1 – тепловий потік 10 467 Вт/(м²год),

2 – тепловий потік 70 710 Вт/(м²год)

Відомості про початкову температуру дифузії алюмінію в залізі досить суперечливі. Початок інтенсивної дифузії алюмінію і заліза спостерігається за одними даними при температурі 480°C, а по іншим лише при температурах, значно перевищує точку плавлення алюмінію, тобто при температурах вище 600°C. Є також дані про те, що реакція між залізом і алюмінієм настає при

температурах 590-600°C, і дифузія алюмінію в залізі стає помітною при температурах не нижче 800°C [13].

У зв'язку з тим, що інтенсивна реакція між залізом і алюмінієм починається при підвищених температурах, отримання біметалевих виливків з дифузійної зв'язком зі сталі та алюмінію або його сплавів полягає в попередньому алітуванні залізобуглецевої арматури і подальшої заливки її робочим алюмінієвим сплавом [13].

1.4.2 Лиття під тиском

Отримання біметалевих циліндрів двигунів мотоциклів (рис. 1.12) на машинах для лиття під тиском є подальшим вдосконаленням технології виготовлення біметалевих виливків алюміній - залізо з дифузійним зв'язком.



Рисунок 1.12 – Приклад біметалевого циліндра двигуна мотоцикла виготовленого литтям під тиском [7]

Форма для відливання циліндрів на машині для лиття під тиском має вертикальний роз'єм по осі циліндра і складається з двох половин: лівої - рухомий і правої – нерухомою (рис. 1.13). Кожна половина прес-форми має корпус 1 і 2, виготовлений із Сталі 35.

Метал в пресформу заливають через конусний литник 3, з якого сплав потрапляє в кільцевий колектор, з'єднаний з порожниною ребр декількома живильниками, перетинами 38×3 мм.

Сплав надходить уздовж гільзи, що забезпечує рівномірність заповнення, а головне - полегшує видалення окисної плівки з поверхні гільзи. Після заливки дається витримка 30-60 с. для затвердіння сплаву в формі. Перед розкриттям прес-форми також необхідно послабити фіксуючий гвинт. Для видалення виливка з нерухомої частини форми, в рухому частину форми вставляють штир. Виштовхування циліндра з рухомою напівформи здійснюється двома штовхачів.

При виготовленні біметалевих циліндрів і інших виливків на машинах для лиття під тиском дуже важливу роль відіграють оптимальні зусилля пресування і температура заливки.

Також слід сказати що процес отримання біметалевих виливків складається з ряду технологічних операцій. Недотримання вимог або неякісне виконання тієї чи іншої операції призводить до отримання недоброякісних дефектних виливків [13].

1.4.3 Лиття в кокіль

Литтям в кокіль використовується також для виробництва біметалевих циліндрів двигунів мотоциклів.

Циліндр представляє собою симетричну, відносно рівнобічний вилівок (рис. 1.13).

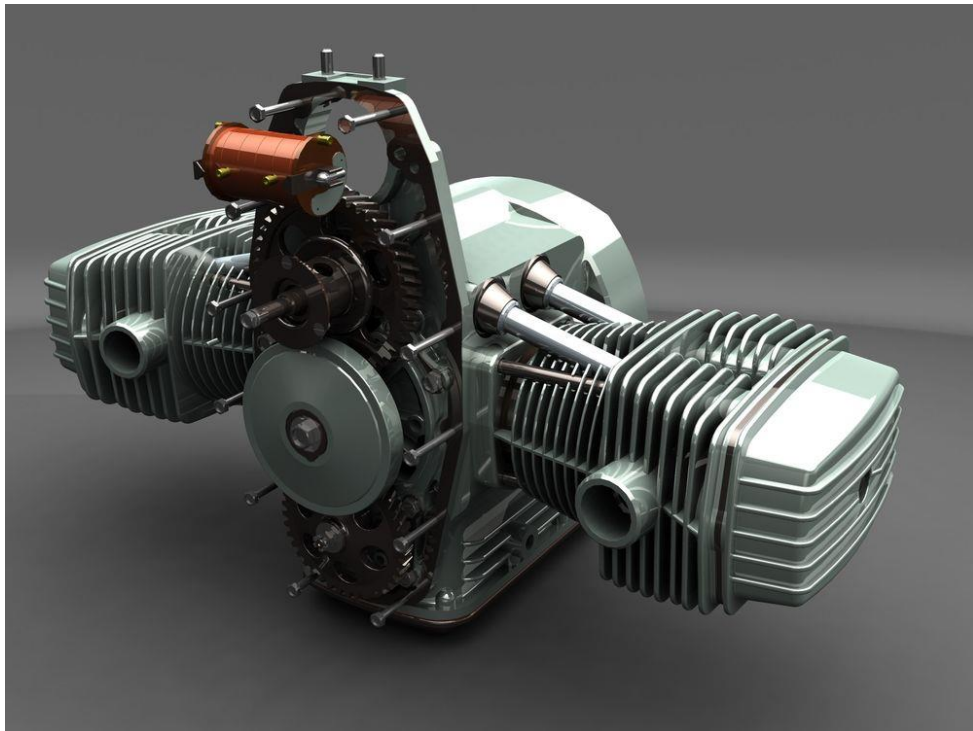


Рисунок 1.13 – Біметалевий циліндр двигуна «К-650» [19]

Заливку алюмінієвих ребер циліндрів роблять в механізованій формі (рис. 1.14), що забезпечує найбільш швидку сборку і отримання високих механічних властивостей алюмінієвого сплаву. Форма має один вертикальний роз'єм по осі симетрії циліндра. Для отримання в чавунний корпус 3 вставляються сталеві пластини 4. Для зручності збирання і розбирання форми пластини зібрані в один загальний пакет. Пластини виготовлені зі сталі 40Х, що володіють високою жаростійкістю.

Форма має два центрових стержня; нижній 6 і верхній 1. Крім того, верхній центровий стержень 1 запобігає потраплянню металу всередину порожнини гільзи.

Метал в форму заливається зверху через літник 2, що переходить в живильник; випор 7 розташований з протилежного боку.

Металева форма змонтована на пневматичному верстаті, що має три пневмоциліндра. За допомогою двох циліндрів обидві половини металевих форм розкриваються і закриваються. Третій вертикальний пневмоциліндр слугує

для установки в форму і вичавлювання верхнього центрального стрижня [20].

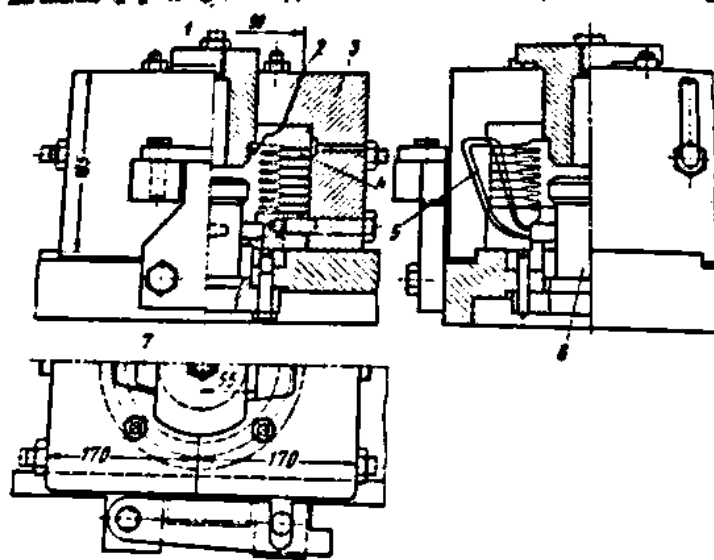


Рисунок 1.14 – Кокіль для лиття біметалевих циліндрів [13]

В одній формі заливається по дві гільзи. Ливникова система має відцентровий шлакоуловлювач, що запобігає потраплянню у вилівок шлаку і неметалевих включень.

Після установки гільзи в кокіль останній швидко збирають і заливають робочим алюмінієвим сплавом АЛ10В. Температура сплаву при заливці дорівнює 750-760°C. Більш низька температура заливання не забезпечувала б заповнення ребер, а більш висока викликала б утворення пористості і тріщин. Час між закінченням алітуванням і отриманням біметалевих циліндрів складає 45 - 50 секунд, що забезпечує гарний зв'язок між алітувальним сплавом і сплавом заливки.

Через 1-2 хвилини після заливки виймається верхній центровий стрижень, кокіль обережно розкривався і вилівки видаються з форми [13].

1.4.4 Відцентрове лиття

Цей спосіб виробництва використовується для виготовлення біметалевих

труб або заготовок. Полягає в послідовній заливці розплавлених металів основного і плакувальних шарів у обертову форму або заливці розплавленого металу плакувального шару в заздалегідь виготовлену гільзу з металу основного шару, механічно оброблену і підігріту.

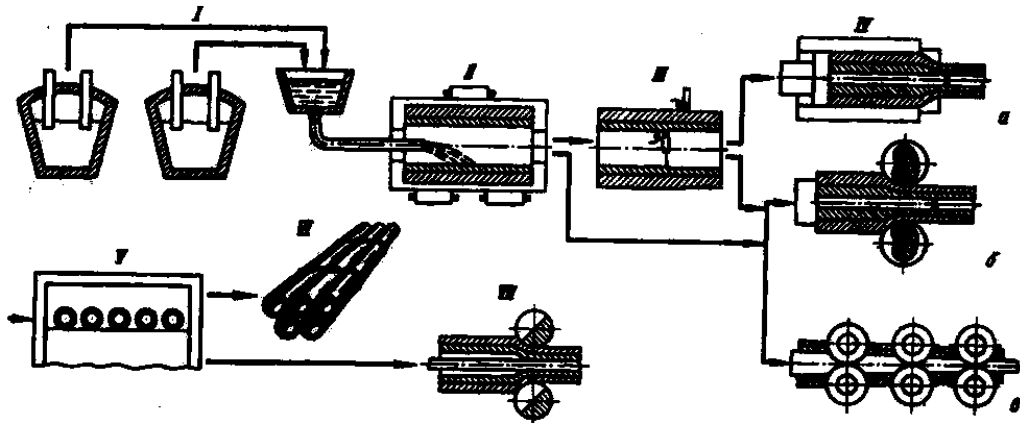
Відцентрове лиття забезпечує достатню міцність єднання шарів металу. Недоліками цього способу є неможливість отримання труб із зовнішнім шаром з легкоплавких металів, перемішування металів в перехідній зоні, обмежені розміри труб (по довжині і внутрішньому діаметру), підвищена рівнобічність обох шарів, обмеженість вибору з'єднувальних металів. До відцентровому лиття в даний час вдаються для виготовлення біметалевих труб і заготовок.

Виплавку металу основного і плакувальних шарів здійснюють в індукційних або дугових печах (рис 1.15), шлаку - в індукційних печах з графітовим тиглем. Заливку металів і шлаку в обертовий кокінь ведуть в такій послідовності: спочатку метал зовнішнього шару, потім шлак і, нарешті, метал зовнішнього шару, потім шлак, і нарешті, метал внутрішнього шару. Шлаки заливають для протидії появи усадочної рихлості на вільній поверхні затверділого першого металу, а також окислення і насичення її газами з атмосфери, для очищення її від тугоплавких неметалевих включень. Після затвердіння металу, покритого шаром розплавленого шлаку, заливають другий метал. Шлак спливає на поверхню залитого металу. В результаті розмиву і перемішування металів складових шарів утворюється міцне з'єднання. Для отримання якісних біметалевих труб і заготовок використовують шлак з недорогих і недефіцитних матеріалів. При цьому він повинен володіти такими властивостями як: легкоплавкість, здатність добре розчиняти неметалеві забруднення, не вступати у взаємодію із металами, які з'єднують, повинен захищати метал від охолодження, окислення і насичення газами з атмосфери, легко віддалятися з меж з'єднання металів.

Також необхідно визначення діапазонів температур контактної поверхні першого і другого металів.

Лиття використовують у виробництві біметалевих виробів циліндричної

форми широкого класу: втулок, гайок, шестерень, тощо [18].



I - плавка металів основного і плакувальних шарів; II - відцентрове лиття біметалевих заготовок;
 III - механічна обробка заготовок; IV - виготовлення труб пресуванням (а), гарячої прокаткою на пілігримових (б) і безперервних (в) станках; V - термічна обробка труб; VI - обробка та здача гарячекатаних або пресованих труб; VII - холодний переділ

Рисунок 1.15 – Схема технологічного процесу виробництва біметалевих труб відцентровим литтям і пластичною деформацією [18]

1.5 Фактори що впливають на якість з'єднання між окремими шарами біметалу

Перехідний шар, що складається з інтерметалічних сполук переходу заліза і алюмінію, є сполучною ланкою між окремими шарами біметалу. Щоб зрозуміти краще механізм утворення і зростання, будову і склад шару, необхідно розглянути основні фактори що впливають на якість з'єднань між окремими шарами біметалів [20].

1.5.1 Перехідний дифузійний шар

Отримання біметалевого з'єднання пов'язано з послідовним проходженням двох взаємопов'язаних етапів: технологічного та фізико-хімічного. Головний параметр дифузії – швидкість перенесення маси переміщуваного елементу

метала через одиницю площі перетину за одиницю часу. Основною причиною переміщення розчиненої речовини слугує різниця його концентрацій в сусідніх обсягах і прагнення до рівномірного розподілу. Тривалість протікання фізико-хімічного, визначається як технологічними параметрами методу, так і властивостями матеріалів, що з'єднуються. Формування з'єднання металів закінчується на стадії взаємної дифузії хімічних елементів. У багатьох випадках біметали піддаються додатковій термічній обробці, що викликає дифузійний перерозподіл атомів хімічних елементів з'єднувальних металевих матеріалів. Щоб зрозуміти краще механізм утворення і зростання, будову і склад шару, слід розглянути основну залежність реактивної дифузії.

Тут на межах контакту двох реагуючих металів йде утворення інтерметалідних з'єднань. Утворені інтерметаліди значною мірою сповільнюють дифузію одного металу в інший, а в деяких випадках практично її зупиняють. При цьому через шар інтерметалідів, атоми одного металу зв'язуються з атомами іншого. Приріст товщини перехідного шару при реактивній дифузії може бути виражена кількістю продифундованої речовини.

$$dn = aqd\sigma, \quad (1)$$

де dn – кількість продифундованої речовини за час dt через перетин q ;

a – коефіцієнт пропорційності;

$d\sigma$ – приріст товщини перехідного шару за час dt .

При дифузійному характері поява перехідного шару, зростання його товщини може бути виражений наступним рівнянням:

$$Dn = - Dq * \Delta c / \sigma dt, \quad (2)$$

де $\Delta c / \sigma$ – зменшення концентрації речовини по товщині шару σ ;

D – коефіцієнт дифузії.

Прирівнявши рівняння (1) та (2), і зробивши невеликі перетворення, приймаємо, що $D = \text{const}$ (так як температура постійна) і концентрацію (c) на кордоні шару постійні.

Отримаємо наступне рівняння:

$$\sigma^2 = 2\rho t, \quad (3)$$

де ρ - постійна величина, що залежить від D і c .

Отже, зростання шару інтерметалідів в часі підпорядковується параболічному закону. Така залежність росту шару в часі отримана не тільки для системи Al-Fe, а й для інших систем.

Дослідження показують, що зростання дифузійного шару залежить від температури і тривалості алітуванні при обробці сталей в чистому алюмінії, так і в його сплавах, і підпорядковується цим основним законам реактивної дифузії [13, 20, 21].

1.5.2 Діаграма стану залізо – алюміній, вплив металу арматури на будову і якість шару

Важливим фактором, що визначає механізм утворення, будову і фазовий склад перехідного шару, є діаграма стану реагуючих металів.

Дослідження діаграми стану системи алюміній залізо присвячена велика кількість робіт. Найбільш достовірною діаграмою стану Al - Fe вказана нижче (рис. 1.16).

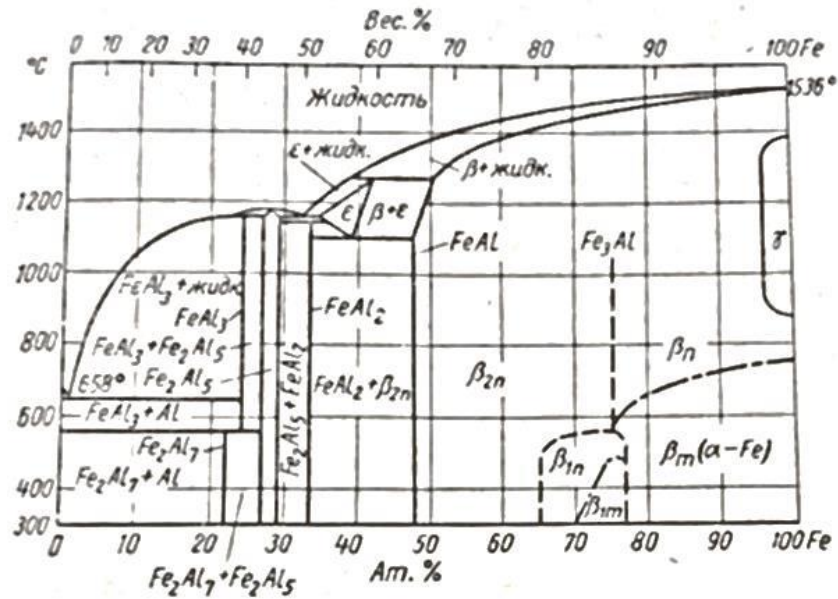


Рисунок 1.16 – Діаграма стану залізо – алюміній [1]

Залізо має дуже малу розчинність в алюмінії (рис 1.17), яка при температурі 655°C складає 0,0052%, при 600°C – 0,025%. При 500°C – 0,006 і практично відсутній при 400-500°C. Зважаючи на таку низьку розчинність заліза в твердому алюмінії і його сплавів вже при невеликих домішках заліза виділяється самостійна фаза $FeAl_3$.

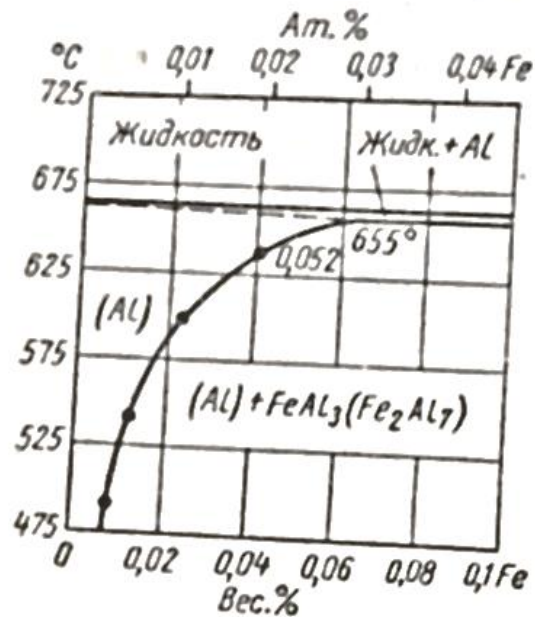


Рисунок 1.17 – Розчинність заліза в алюмінії [13]

Встановлено існування шести хімічних сполук алюмінію з залізом: $FeAl_3$; Fe_2Al_7 ; Fe_2Al_5 ; $FeAl_2$; $FeAl$; Fe_3Al . З усіх тільки Fe_2Al_5 плавиться когурентно.

З'єднання FeAl_3 , утворюється при 1150°C в результаті перитектичної реакції між Fe_2Al_5 та багатою алюмінієм рідиною. Це з'єднання дає з твердим розчином заліза в алюмінії евтектику при 1,8% Fe, плавиться ж при температурі 655°C . При 560°C в результаті перитектоїдної реакції між твердим розчином на основі алюмінію і з'єднання FeAl_3 в області сплавів, що містять до - 43% заліза, з'являється з'єднання Fe_2Al_7 . Розчинність алюмінію в твердому залізі висока і становить 32% при 1232°C і 35% при кімнатній температурі.

Основною умовою утворення перехідного шару є хороша змочуваність рідким алюмінієм поверхні залізної арматури, тобто гарний металевий контакт між алюмінієм і залізом.

У перший момент контакту алюмінію і заліза йде головним чином розчинення поверхні заліза і атомів алюмінію, що створює можливість протікання хімічної реакції алюмінієм і заліза з утворенням перехідних інтерметалевих сполук. Визначальним фактором буде здатність алюмінієвих сплавів розчинятись по відношенню до заліза. Чим більше ця здатність, тим більш за короткий проміжок часу утворюється шар інтерметалідів. Висока розчинювальна здатність по відношенню до чавунів мають алюмінієво - цинкові сплави і чистий алюміній.

При розчиненні поверхневого шару тугоплавкого металу прилеглий розплав насичується їм, що призводить до можливості протікання хімічних реакцій, в результаті яких утворюється інтерметаліди. Шар інтерметалідів виникає тільки в окремих місцях алітованої поверхні, а саме на різного роду виступах – активних центрах поверхні [2].

Зростання товщини перехідного шару йде за рахунок дифузії атомів алюмінію шляхом передачі їх через ряд інтерметалевих сполук перехідного заліза, при цьому зростання дифузійного шару відбувається на межах з залізом, а не з алюмінієм. Поява алюмінідів супроводжується значним зростанням об'єму, тому утворені шари інтерметалідів тиснуть на раніше утворенні, в результаті чого виникають значні напруження, під дією яких у шарі можуть з'явитись поздовжні тріщини.

Якість зв'язку, міцність шару при розриві, міцність, тощо, в значній мірі визначаються будовою перехідного шару, наявністю в ньому різного роду дефектів, а ці фактори, в свою чергу, залежать від температури і тривалості алітування, складу алітувальних ван і матеріалу арматури [13, 21].

1.5.3 Алітування

Алітування є одним з основних етапів загального технологічного отримання біметалевих виливків оскільки саме воно призводить до утворення перехідного шару, зв'язує сталеву арматуру з алюмінієвим сплавом.

Алітування є один з видів хіміко-термічної обробки сталей в результаті якої поверхових шар залізвуглецевого сплаву насичується алюмінієм. Перше застосування алюмінієвих покриттів мало на меті підвищення корозійної стійкості сталі і отримання феррана. Потім алюмінієві покриття знайшли застосування для підвищення жаростійкості сталевих і чавунних виробів, оскільки працюють при високих температурах як в повітряному середовищі, так і в середовищі деяких газів, наприклад, сірчистого водню. Алітування дозволяє підвищити жаростійкість в результаті утворення на поверхні сталі плівки окису алюмінію, яка має температуру плавлення 2020°C високу щільність, а тому перешкоджає проникненню кисню.

Для покриття сталі алюмінієм в техніці в основному застосовуються такі способи:

- алітування в порошкоподібних сумішах;
- алітування методом напилення;
- газове алітування;
- алітування в вакуумі;
- в зовнішній оболонці;
- гальванічне покриття;
- алітування методом занурення.

З усіх способів, найчастіше користуються методом занурення. Основною

перевагою даного методу є швидкість (час занурення від 1 до 15 хв), порівняно низькі температури алітування (700-800°C) і простота процесу. Крім того, алітування зануренням є найбільш дешевим методом.

Суть методу полягає в зануренні виробу зі сталі, що має чисту поверхню, в рідкий алюміній або його сплави, далі витримують в ньому протягом певного часу. При цьому поверхневий шар металу розчиняється в алюмінії, вступає з ним у взаємодію, в результаті чого на поверхні алітувального виробу утворюється шар інтерметалідів. Подальше зростання перехідного шару інтерметалідів йде за рахунок дифузії алюмінію в залізі.

Алітування зануренням має і недоліки:

- наявність слабкої складової;
- роз'єднання занурюємого виробу, так як алюміній в рідкому стані дуже легко вступає в реакцію з іншими металами;
- налипання плівки окису алюмінію;
- окислення заліза під час занурення.

Найбільш важливим недоліком, з перерахованих вище є налипання плівки окису алюмінію, так як плівки глинозему легко прилипають до поверхонь розділу фаз, важко відділяється і таким чином перешкоджає дифузії алюмінію в сталь, перешкоджає утворенню перехідного шару.

Для усунення недоліків, існує безліч методів, які можна звести до трьох основних:

- застосування металевих захисних покриттів;
- створення захисної газової атмосфери;
- використання покривних флюсів.

Флюси рекомендується наносити на вироби у вигляді водних розчинів, або розплавів. Флюсування в розплавлених солях може проводитися в окремій ванні, а також флюси можна наносити на поверхню ванни з рідким алюмінієм, або давати під алітувальний сплав [13, 20, 21].

1.6 Застосування флюсів для виробництва біметалевих виливків алюміній – сталь

Багато технологічних процесів отримання біметалевих виливків і покриття сталі алюмінієм методом занурення передбачають обов'язкову обробку сталі в тих чи інших флюсах перед алітуванням.

Флюси, що застосовуються при алітуванні методом занурення, повинні відповідати таким вимогам:

- добре змочувати поверхню сталі;
- покращувати змочування залізовуглецевих сплавів рідким алюмінієм або його сплавами;
- добре розчиняти, адсорбувати або руйнувати плівку глинозему, наявну на поверхні ванни алітування і прилипаючої до занурюваної арматури;
- захищати поверхню сталі від окислення при зануренні в алітувальний розплав;
- температура плавлення флюсів повинна бути нижче температури плавлення алюмінієвого сплаву, котрий застосовують для алітування;
- продукти взаємодії флюсу з алюмінієм, оксидами заліза і глиноземом повинні бути газоподібними або легкоплавкими для легкого видалення їх з алітувального сплаву.

Склад флюсів, який рекомендується для обробки арматури перед алітуванням різноманітні. До складу флюсів найчастіше входять хлористі і фтористі солі лужних і лужно-земельних металів. Застосування в якості флюсів сольових розплавів зручно тим, що вони, володіючи малим поверхневим натягом, добре змочують поверхню твердих металів. Іноді до складу флюсів вводять більш складні солі.

1.6.1 Роль флюсів

Єдиної думки про склад і роль флюсів при алітуванні немає. Більшість

вчених вважають, призначення флюсу полягає в запобіганні поверхні заліза від окислення і налипання плівки окису алюмінію під час занурення арматури в алюмінієвий розплав, і рекомендують наносити флюс невеликим шаром (40-50 мм) на поверхню рідкого алюмінію, або проводити флюсування в окремій ванні [20].

На думку інших дослідників роль флюсу полягає в зменшенні охолодження ванни для алітування, однак це має місце тільки при застосуванні флюсів - розплавів.

В наш час, однією з основних теорій, що пояснює роль флюсів є вплив їх на співвідношення величин поверхневих натягів. Змочування рідким розплавом поверхні твердого металу визначається крайовим кутом змочування, косинус якого визначається співвідношенням величин поверхневих натягів.

У разі присутності флюсів газове середовище замінюється флюсовим, і тоді гарне змочування має місце при малих значень кута θ . Таким чином, якщо підібрати флюс, що зменшить поверхневі натяги на границях, рідкий розплав - флюс ($\sigma_{р.ф.}$), і збільшувачий поверхневий натяг на межі тверде тіло - флюс ($\sigma_{т.ф.}$), то можна значно поліпшити алітувальним розплавом поверхню твердого металу [13]:

$$\text{Cos}\theta = \sigma_{т.ф.} - \sigma_{т.ж.} / \sigma_{р.ф.} \quad (4)$$

Зміна поверхневого натягу твердого металу флюсами пояснюється видаленням з поверхні металу окисної плівки.

1.6.2 Вплив флюсів на процес алітування

Порівняння алітування офлюсованих та неофлюсованих залізних зразків показало, що алітування після офлюсовування протікають краще і швидше, якість дифузійної зв'язку вище. Це пояснюється поліпшенням змочування і усуненням прилипання плівки окису алюмінію під час занурення армуючих

вставок в алітувальний сплав. Зважаючи на це виходить більш сталеві результати по міцності зв'язку, якості і будові перехідного шару. У разі використання флюсів у вигляді розплавів, перехідний шар при алітуванні в різних умовах виходить товщі, ніж в неофлюсованій арматурі.

Вплив флюсів на товщину і якість дифузійного зв'язку особливо помітно при невеликій тривалості алітуванні. Також, проведення флюсування вставок для армування перед алітуванням значною мірою ускладнює технологічний процес отримання біметалевих виливків, так як вводяться додаткова технологічна операція. Флюсування пов'язане із застосуванням різних солей, часом мають високу вартість.

Висновки та постановка завдань дослідження

Проблемою отримання біметалевих заготовок сталь-алюміній методом лиття є в якості змочування поверхні та висока різниця температури плавлення між складовими металів. Вирішення даної задачі дає можливість скоротити технологію отримання біметалів, та зменшити собівартість деталі.

У цій роботі використовували лиття у піщано-глинясті форми для отримання біметалічних виливків з алюмінієвого сплаву. Для дослідження якості з'єднання шарів біметалевих виливків були порівняні різні методи оброблення поверхні сталевих вставок різного діаметру.

Метою даної роботи є дослідження впливу різного роду покриттів на циліндричні сталеві вставки та на їх геометричні параметри, на якість перехідної зони біметалевої заготовки.

Відповідно до мети було сформовані наступні задачі:

- дослідити мікроструктуру перехідних шарів виливків;
- встановити вплив покриття циліндричної сталеві вставки діаметром 4, 6 та 8 мм пересиченим розчином парафіну і гасі на якість перехідної зони біметалевої заготовки;

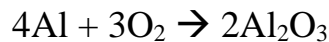
– встановити вплив покриття циліндричної сталеві вставки діаметром 4, 6 та 8 мм розчином мінеральної оливи у насичених вуглеводнях на якість перехідної зони біметалевої заготовки;

– встановити вплив покриття циліндричної сталеві вставки діаметром 4, 6 та 8 мм пересиченим розчином хлориду амонію та алюмінієм на якість перехідної зони біметалевої заготовки.

2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Виготовлення дослідних зразків

Погана змочуваність поверхні заліза розплавленим алюмінієм зумовлена утворенням на поверхні алюмінія оксидної плівки, котра утворюється при стиканні алюмінію з повітрям.



Щоб усунути плівки оксиду алюмінію було використано різні покриття:

- пересичений розчин парафіну у гасі;
- розчин мінеральної оливи в насичених вуглеводнях (промислова марка матеріалу WD-40);
- пересичений розчин хлориду амонію із наступним алітуванням.

Перші дві багаті на вуглеводні, котрі при взаємодії із Al_2O_3 вступають з ним в реакцію, перешкоджаючи утворенню оксидної плівки. Загальна схема може бути описана наступним чином:



Як видно зі схеми, кисень звільнюється і видаляється у вигляді газоподібної речовини, що забезпечує прямий контакт двох металів, в нашому випадку алюмінію та заліза.

WD-40 і розчин парафіну у гасі багаті на вуглеводні, які не містять кисню або не мають їх в своєму складі. Також ці вуглеводні мають високі температури плавлення, що в свою чергу дозволяє залишатись на поверхні заліза до моменту змочування поверхні виробу розплавленим алюмінієм, а не

випаровуватись при легкому нагріванні. Також перевагою цих речовин є висока стійкість при нагріванні.

Для нанесення різнорідних покриттів та заливання розплавом алюмінію підготовлено сталеві циліндричні зразки довжиною 100 мм і діаметром 4, 6 та 8 мм із сталі 20 ДСТУ 7809:2015, хімічний склад якої наведено у таблиці 2.1. Зразки до відповідних діаметрів оброблювали на токарно-гвинторізному верстаті 16К20.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 20 ДСТУ 7809:2015

Марка сталі	Масова частка хімічних елементів, %				
	C	Si	Mn	Cr	Fe
20	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	< 0,25	решта

Після оброблення поверхню зразків покривали різними складами у різний спосіб:

1. Пересиченим розчином парафіну у гасі. Нанесення покриття здійснювали у наступній послідовності:

- обробка сталевих вставок на токарно-гвинторізному верстаті 16К20;
- нанесення розчину парафіну у гасі на поверхню сталевих вставок;
- потім циліндричні сталеві вставки поміщали всередину ливарної форми для заливання.

2. Розчином мінеральної оливи в насичених вуглеводнях (промислова марка матеріалу MD-40). Нанесення покриття здійснювали у наступній послідовності:

- обробка сталевих вставок на токарно-гвинторізному верстаті 16К20;
- нанесення розчину мінерально оливи в насичених вуглеводнях (промислова марка матеріалу MD-40) на поверхню сталевих вставок;
- потім циліндричні сталеві вставки поміщали всередину ливарної форми для заливання.

3. Пересиченим розчином хлориду амонію із наступним алітуванням. Нанесення покриття здійснювали у наступній послідовності:

- обробка сталевих вставок на токарно-гвинторізному верстаті 16К20;
- циліндричні сталеві вставки занурювали в розчин хлориду амонію при 80°C на 600 секунд;
- після даної операції, зразки занурювали в розплавлений метал із алюмінієвого сплаву при 780°C на 200 секунд (алітування);
- потім покриті циліндричні сталеві вставки сушили при 120°C;
- потім циліндричні сталеві вставки поміщали всередину ливарної форми для заливання.

2.2 Приготування розплаву, виготовлення і заливання форм

Алюмінієвий розплав готували у тигельній печі опору. Як шихтовий матеріал використовували чушку із алюмінієвого сплаву марки АК12 ДСТУ 2839-84, хімічний склад якого наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад алюмінієвого сплаву АК12 ДСТУ 2839-94

Марка сплаву	Масова частка хімічних елементів, %								
	Si	Fe	Mn	Cu	Zn	Mg	Ti	Zr	Al
АК12	10-13	< 0,7	< 0,5	< 0,60	< 0,30	< 0,10	< 0,10	< 0,10	решта

Схему розташування дослідних зразків у ливарній формі наведено на рисунку 2.1.

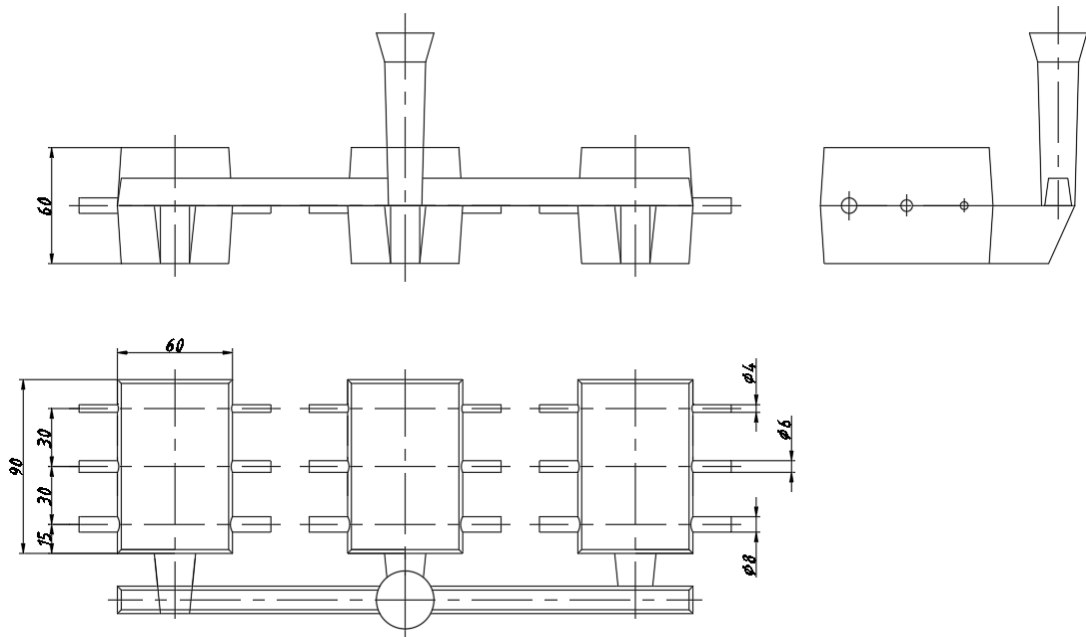


Рисунок 2.1 – Схема розташування дослідних зразків у ливарній формі

Ливарні форми виготовляли із піщано-глинястої формувальної суміші та просушували у сушильній шафі за температури 100-105°C протягом 4 годин. Температура заливання розплаву становила 700°C.

Після заливання розплаву та його охолодження форми вибивали та вирізали дослідні зразки.

2.3 Проведення металографічних досліджень та визначення хімічного складу зразків

2.3.1 Підготовка зразків до металографічних досліджень

Підготовка високоякісних шліфів є обов'язковою складовою для вдалого подальшого їх дослідження, отримані зразки шліфувалися із застосуванням різного обладнання. При шліфовці послідовно використовувались шліфувальні папери зернистістю P80, P200, P800, P1200. Для виготовлення шліфів в об'єму

пресувального пристрою моделі Simpli Met 1000 (рис. 2.2), вставляються раніше відрізані зразки, вони розташовуються рівномірно по площині кола, щоб бакелітова зв'язка максимально повністю заповнила порожнини між зразками. Після того як зразки встановлено, в обойму засипається порошок бакелітової зв'язки та включається режим спікання та пресування обойми зі зразками.



Рисунок 2.2 – Пресувальний пристрій моделі SimpliMet 1000

Робочу поверхню запресованих в обойму зразків необхідно довести до якості, яка гарантує гарне зображення на електронному мікроскопі, та перевірити відсутність на поверхні подряпин та нерівностей. Доведення зразка здійснюється на шліфувально-полірувальному верстаті моделі Buehler GP beta (рис 2.3).

Спочатку шліфування крупними абразивами, потім меншими. Полірування зразків також здійснювалась на шліфувально-полірувальному верстаті з використанням фетру і суспензії корунду з розміром частинок ≈ 50 нм.

Швидкість обертання полірувальної поверхні не перевищувала 500 об/хв.



Рисунок 2.3 – Автоматичний шліфувально-полірувальний станок GP beta фірми Buehler (Німеччина)

2.3.2 Електронно-мікроскопічні дослідження

Мікроструктуру зразків досліджувались за допомогою електронного мікроскопу РЕМ-106 (рис 2.4). На базі інституті матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона НТУУ «КП».

РЕМ-106 растровий вимірювальний електронний мікроскоп з камерою низького вакууму для досліджень в металургії, матеріалознавстві, нанотехнології, фізики, хімії, геології, мікроелектроніці, біології, медицині та ін. областях з гарантованими метрологічними параметрами вимірювань лінійних розмірів субмікронного діапазону і масової частки елементів в складі досліджуваних об'єктів.

Основною перевагою цього приладу є:

– визначення елементного складу об'єктів методом рентгенівського мікроаналізу з гарантованою точністю;

- швидке, з гарантованою точністю, вимірювання лінійних розмірів об'єктів;
- висока якість електронно-оптичних зображень поверхні провідних і діелектричних об'єктів без спеціального приготування в режимах вторинних (ВЕ) та відбитих електронів (ОЕ);



Рисунок 2.4 – Електронний мікроскоп РЕМ-106

3 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Встановлення впливу покриття циліндричної сталевий вставки діаметром 4, 6 та 8 мм пересиченим розчином парафіну у гасі на якість перехідної зони біметалевої заготовки.

В результаті металографічного дослідження отримано зображення мікроструктури перехідних шарів біметалевої заготовки сталь – алюміній (рис. 3.1) із покриттям сталевих вставок діаметром 4, 6, 8 мм пересиченим розчином парафіну у гасі.

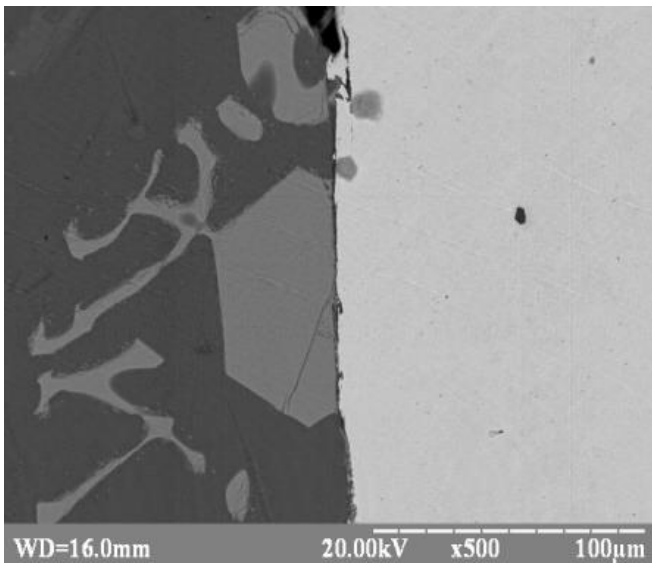
Із отриманих зображень мікроструктури видно, що алюмінієвий розплав, фактичний хімічний склад якого наведено у таблиці 3.1, змочив поверхні сталевих вставок, однак наявні зони де оксидна плівка алюмінію завадила даному процесу.

Також слід зазначити, що слідів покриттів у зоні контакту виявлено не було, що свідчить про його повну термодеструкцію під дією температури розплаву алюмінію, яка становила 700°C.

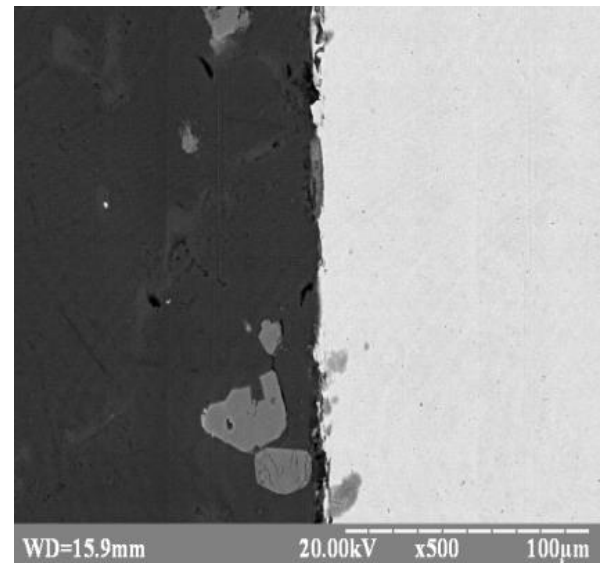
Таблиця 3.1 Фактичний хімічний склад алюмінієвого розплаву

Елемент	%
1	2
Mg	0,775
Al	87,654
Si	8,428
Ti	0,050
Cr	0,033
Mn	0,194
Fe	0,754

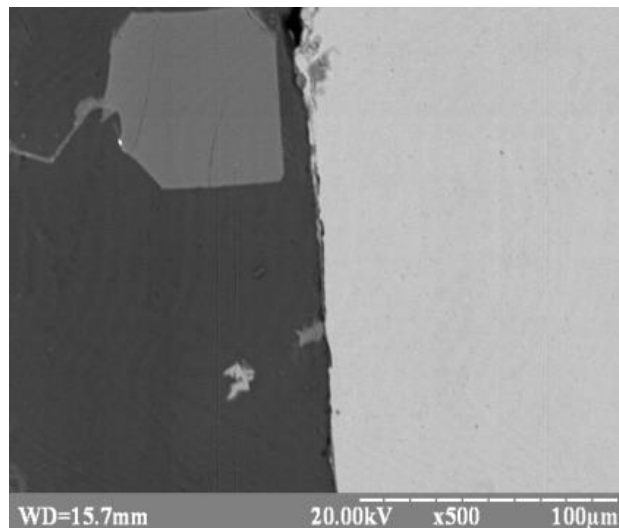
1	2
Ni	0,152
Cu	1,117
Zn	0,843
Zr	0,036
Sn	0,080



а)



б)



в)

Рисунок 3.1 – Мікроструктура перехідних шарів біметалевої заготовки сталь – алюміній із покриттям сталевих вставок діаметром 4 (а), 6 (б) та 8 мм (в) пересиченим розчином парафіну у гасі

На поверхні контакту алюмінієвого розплаву із сталевими вставками та у розплаві поблизу них спостерігається утворення інтерметалідів заліза та алюмінію хімічний склад яких наведено у таблиці 3.2, також їх утворення підтверджується значеннями їхньої мікротвердості яка становить 571-800 HV_{0,1} (рис 3.2).

Таблиця 3.2 – Хімічний склад інтерметаліду

Елемент	Масові %		
	Діаметр сталеві вставки		
	Ø 4	Ø 6	Ø 8
Al	57,98	58,97	61,26
Fe	25,90	19,32	19,81
Si	8,31	9,50	7,79
Mn	4,86	8,61	8,47
Cr	-	2,38	2,67
Cu	2,95	0,90	-
Zn	-	0,33	-
Всього	100,00	100,00	100,00

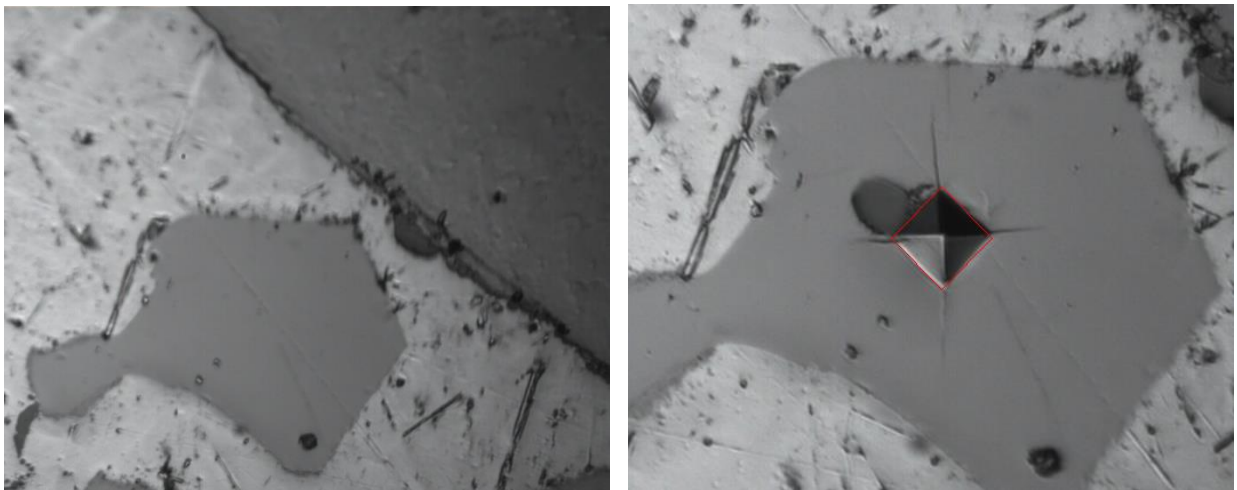


Рисунок 3.2 – Включення інтерметаліду заліза з алюмінієм поблизу перехідного шару виливка

За отриманими результатами можна зробити висновок, що за даних умов проведення експерименту відсутня взаємна дифузія заліза та алюмінію (рис. 3.3).

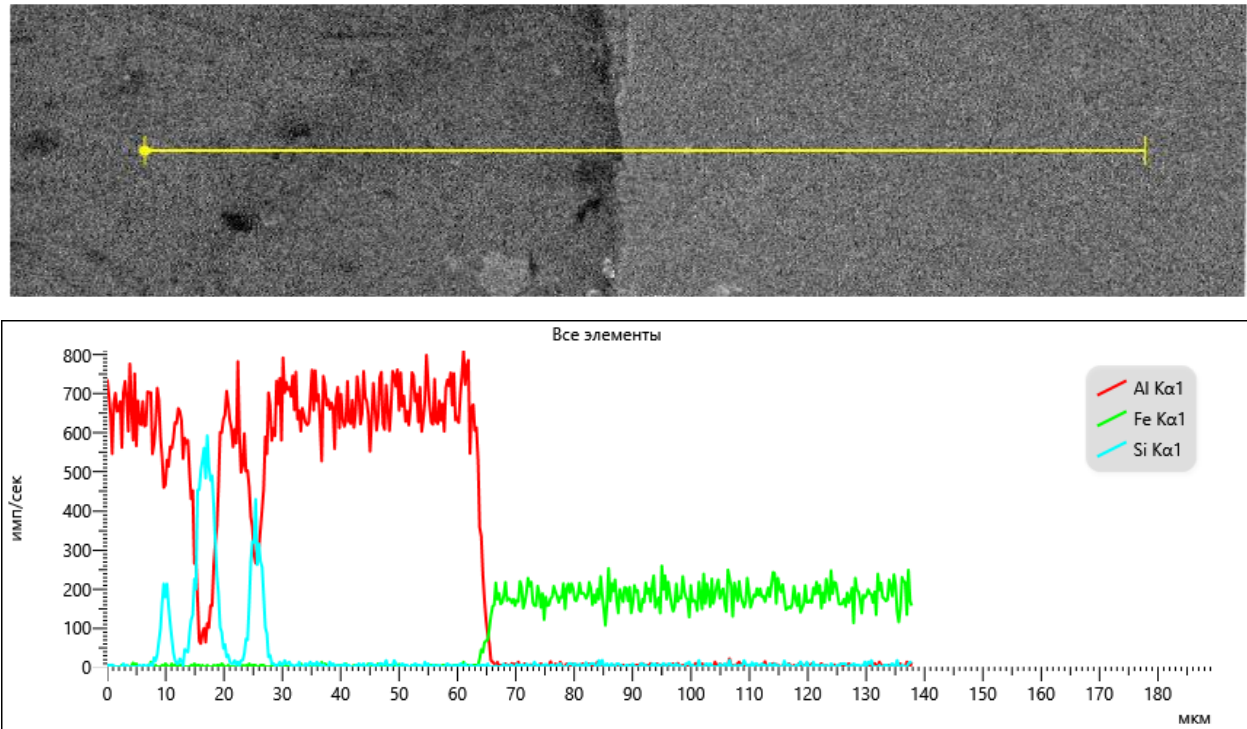


Рисунок 3.3 – Розподіл основних елементів в перехідному шарі

За результатами дослідження, також можемо зробити висновок, що зі збільшенням діаметру сталеві вставки в залежності від діаметрів досліджуваних сталевих зразків, зменшується критерій якості отриманого з'єднання (рис. 3.4), який визначали як відсоток від довжини кола перерізу змоченої алюмінієвим розплавом сталеві вставки. Його зменшення може бути спричинено меншою температурою до якої розігрівалась сталеві вставка більшого діаметру.

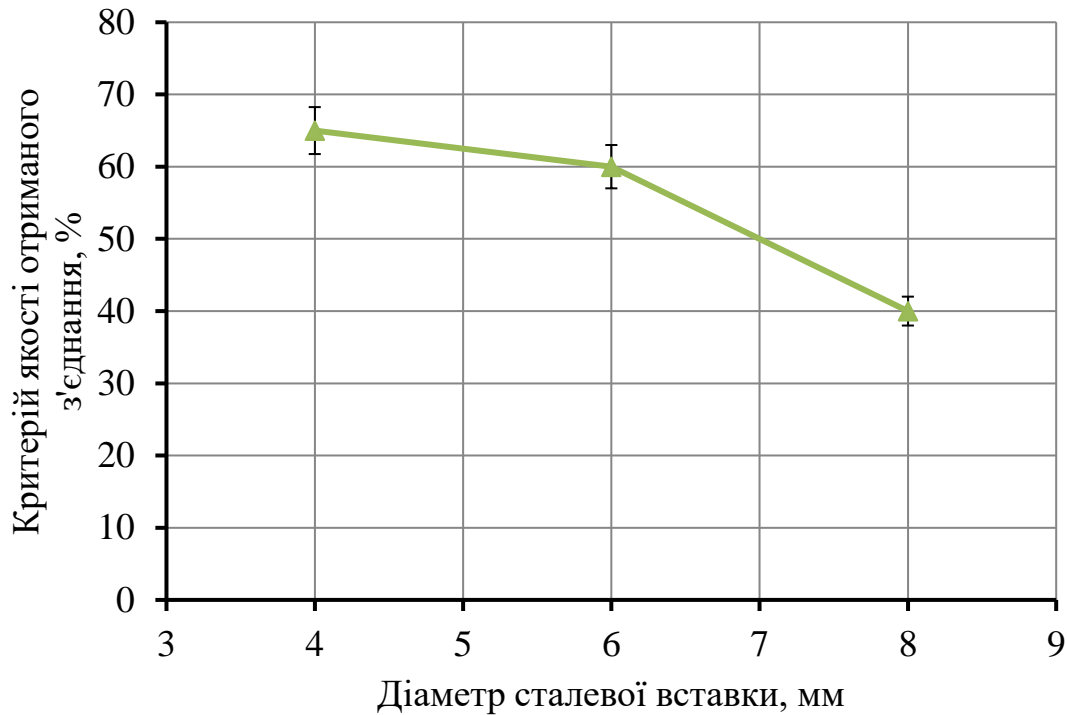


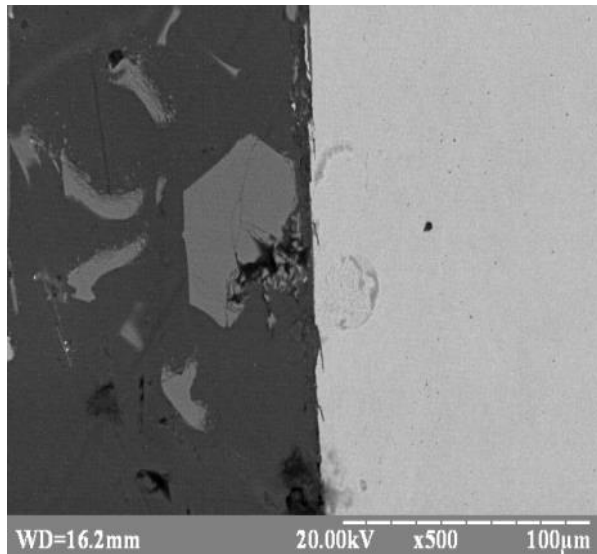
Рисунок 3.4 – Графік залежності критерію якості отриманого з'єднання від діаметру сталеві вставки при пересиченні розчином парафіну у гасі

3.2 Встановлення впливу покриття циліндричної сталеві вставки діаметром 4, 6 та 8 мм розчином мінеральної оливи у насичених вуглеводнях на якість перехідної зони біметалевої заготовки.

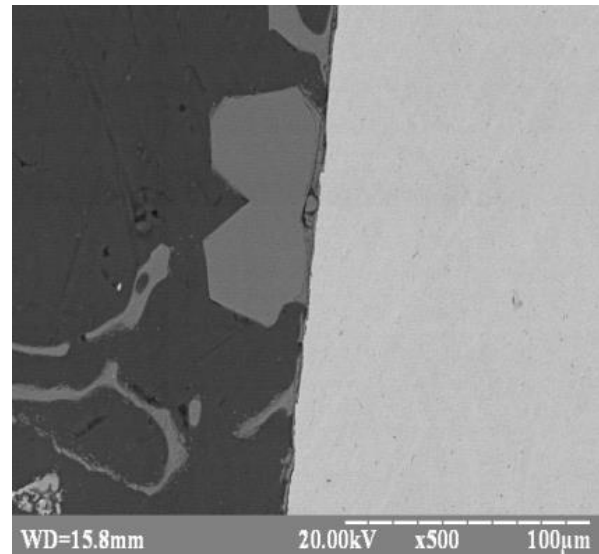
В результаті металографічного дослідження отримано зображення мікроструктури перехідних шарів біметалевої заготовки сталь – алюміній (рис. 3.5) із покриттям сталевих вставок діаметром 4, 6, 8 мм пересиченим розчином мінеральної оливи у насичених вуглеводнях.

Із отриманих зображень мікроструктури видно, що алюмінієвий розплав, фактичний хімічний склад якого наведено у таблиці 3.1, змочив поверхні сталевих вставок, однак наявні зони де оксидна плівка алюмінію завадила даному процесу.

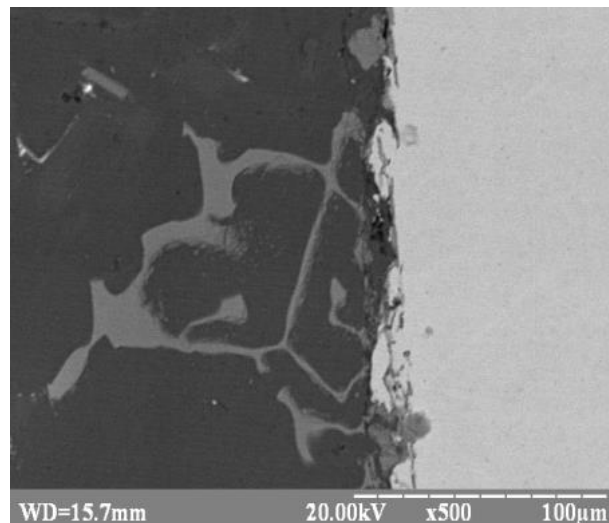
Також слід зазначити, що слідів покриттів у зоні контакту виявлено не було, що свідчить про його повну термодеструкцію під дією температури розплаву алюмінію, яка становила 700°C.



а)



б)



в)

Рисунок 3.5 – Мікроструктура перехідних шарів біметалевої заготовки сталь – алюміній із покриттям сталевих вставок діаметром 4 (а), 6 (б) та 8 мм (в) розчином мінеральної оливи у насичених вуглеводнях

На поверхні контакту алюмінієвого розплаву із сталевими вставками та у розплаві поблизу них спостерігається утворення інтеметалідів заліза та алюмінію хімічний склад яких наведено у таблиці 3.2, також їх утворення підтверджується значеннями їхньої мікротвердості яка становить 571-800 HV_{0,1} (див. рис. 3.2).

За результатами дослідження, також можемо зробити висновок, що зі збільшенням діаметру сталеві вставки в залежності від діаметрів досліджуваних сталевих зразків, зменшується критерій якості отриманого з'єднання (рис. 3.6), який визначали як відсоток від довжини кола перерізу змоченої алюмінієвим розплавом сталеві вставки. Це може бути спричинено меншою температурою до якої розігрівалась сталеві вставка більшого діаметру.

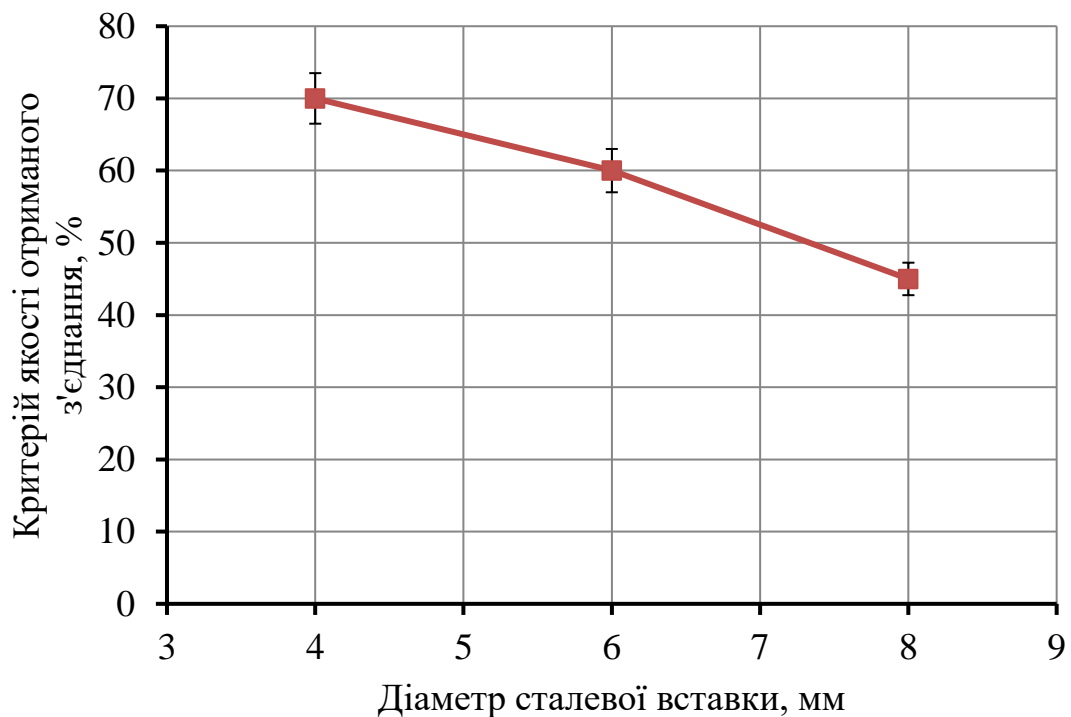


Рисунок 3.6 – Графік залежності критерію якості отриманого з'єднання від діаметру сталеві вставки обробленої розчином мінеральної оливи у насичених вуглеводнях

3.3 Встановлення впливу покриття циліндричної сталеві вставки діаметром 4, 6 та 8 мм пересиченим розчином хлориду амонію та алюмінієм на якість перехідної зони біметалевої заготовки

В результаті металографічного дослідження отримано зображення мікроструктури перехідних шарів біметалевої заготовки сталь – алюміній (рис. 3.7) із покриттям сталевих вставок діаметром 4, 6, 8 мм пересиченим

розчином хлориду амонію та алюмінієм.

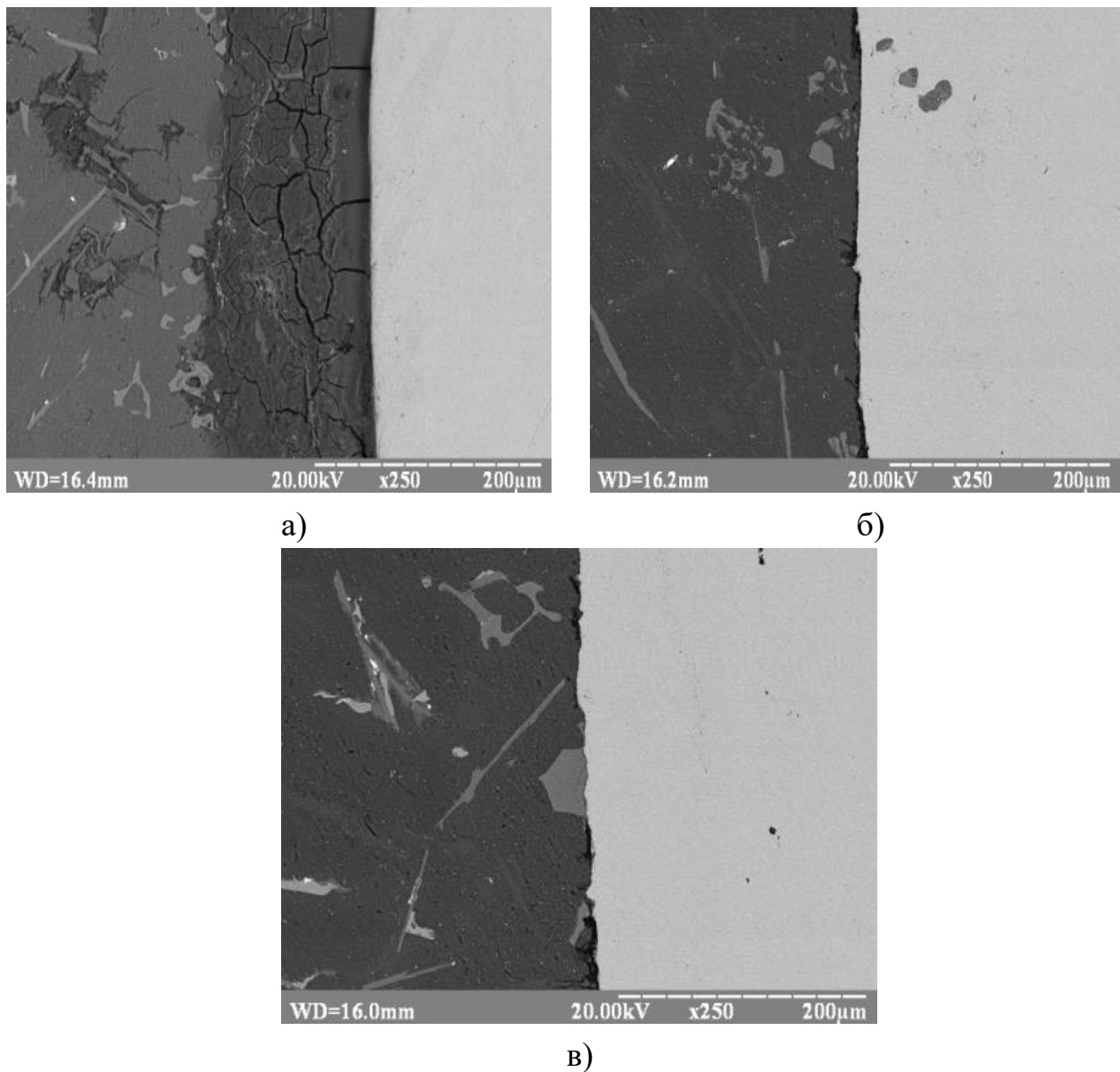


Рисунок 3.7 – Мікроструктура перехідних шарів біметалевої заготовки сталь – алюміній із покриттям сталевих вставок діаметром 4 (а), 6 (б) та 8 мм (в) пересиченим розчином хлориду амонію та алюмінієм

Із отриманих зображень мікроструктури видно, що алюмінієвий розплав, фактичний хімічний склад якого наведено у таблиці 3.1, змочив поверхні сталевих вставок, однак наявні зони де оксидна плівка алюмінію завадила даному процесу, також наявні сліди від розчину хлориду амонію.

Залишки покриття хлориду амонію на поверхні розділу алюміній-сталь приблизно втричі знизили критерій якості отриманого з'єднання у порівнянні з

двома попередніми покриттями (рис. 3.8).

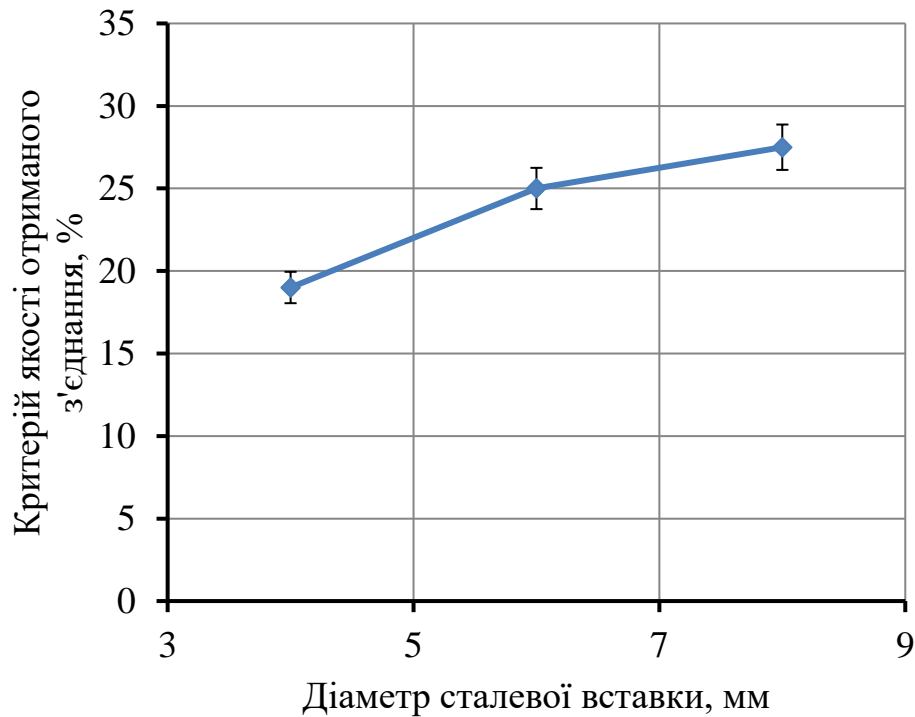


Рисунок 3.8 – Мікроструктура перехідних шарів біметалевої заготовки сталь – алюміній із покриттям сталевих вставок діаметром 4 (а), 6 (б) та 8 мм (в) пересиченим розчином хлориду амонію та алюмінієм.

За результатами дослідження можемо зробити висновок, що зі збільшенням діаметру сталевих вставок в залежності від діаметрів досліджуваних сталевих зразків, збільшується критерій якості отриманого з'єднання (див. рис. 3.8).

Порівнюючи між собою критерій якості (рис. 3.9) розрахований для біметалевих заготовок виготовлених із застосуванням різних способів оброблення сталевих вставок встановлено, що найкращі результати отримано за використання покриттів із пересиченого розчину парафіну у гасі та розчином мінеральної оливи у насичених вуглеводнях.

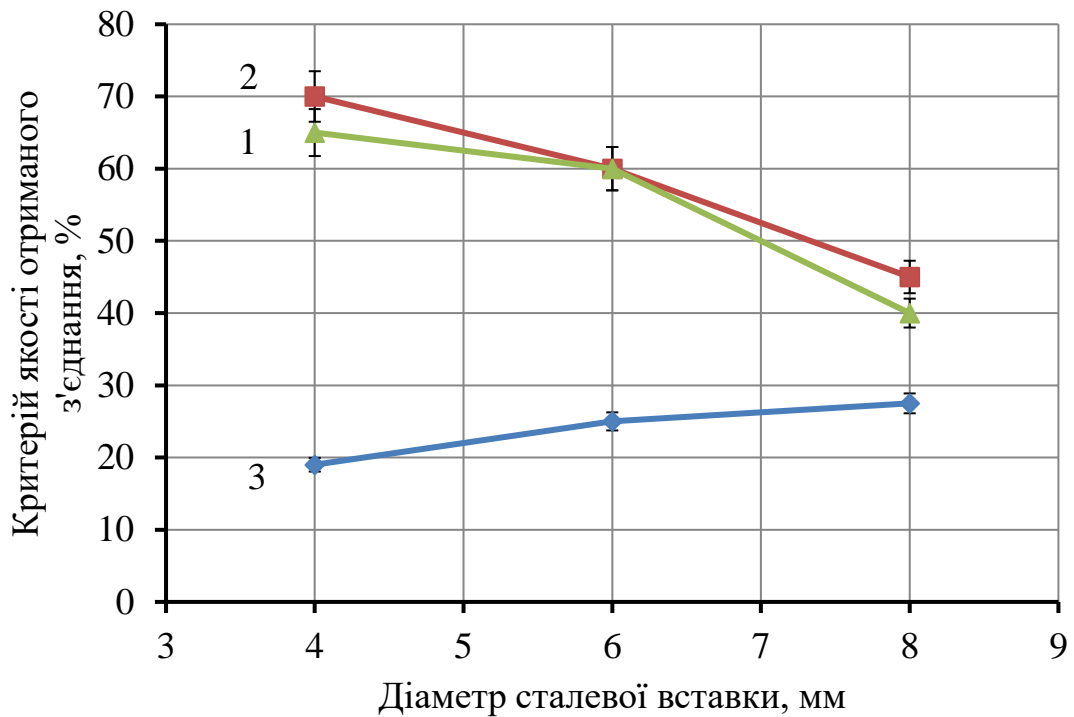


Рисунок 3.9 – Вплив діаметру сталеві вставки на критерій якості отриманого з'єднання для досліджених покриттів (1 – пересиченим розчином парафіну у гасі; 2 – розчином мінеральної оливи у насичених вуглеводнях; 3 – пересиченим розчином хлориду амонію та алюмінієм)

Висновки

Отже, за результатами проведених досліджень встановлено:

- алюмінієвий розплав змочив поверхні сталевих вставок, однак є зони де оксидна плівка алюмінію завадила даному процесу;
- за даних умов проведення експерименту відсутня взаємна дифузія заліза та алюмінію;
- на поверхні контакту алюмінієвого розплаву із сталевими вставками та у розплаві поблизу них спостерігається утворення інтерметалідів заліза та алюмінію;
- залежність критерію якості отриманого з'єднання від діаметру сталеві вставки при обробленні різними розчинами: зі збільшенням діаметру, за

використання перших двох покриттів, критерій якості зменшувався, а за використанням третього покриття – отримано зворотну залежність;

- вплив різного покриття на утворення перехідного шару у литих біметалевих заготовках: найкраще покриття – розчин мінеральної оливи у насичених вуглеводнях, найгірше – розчин хлориду амонію та алюмінієм.

4. РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

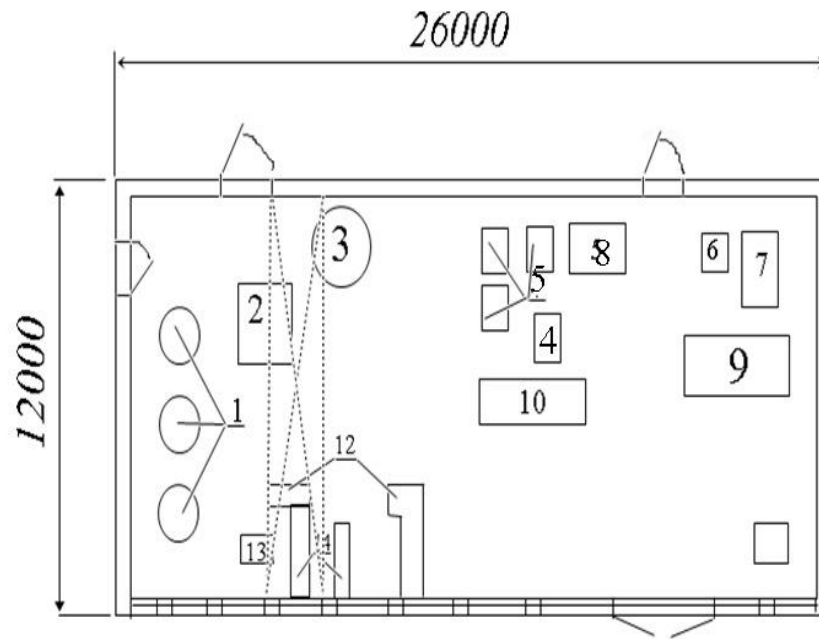
Метою розділу охорони праці є аналіз шкідливих та небезпечних факторів, при яких виникає небезпека ураження організму, умов, що можуть привести до травмування в процесі дослідження біметалевих сплавів на основі Al-Fe, а також розробка заходів спрямованих на усунення цих факторів та безпеку у надзвичайних ситуаціях.

4.1 Загальна характеристика умов праці в ливарній лабораторії.

Дана дипломна робота проводилась в ливарній лабораторії факультету. Параметри лабораторії занесено до таблиці 4.1, план дослідної лабораторії зображено на рисунку 4.1. Все це має неабияку небезпеку під час роботи і за для усунення проблем в роботі та травмувань, уражень електричним струмом, та уникнення робочих травм маємо дотримуватися всіх правил охорони праці та безпеки під час роботи на всіх, без винятку, установках [22].

Проведення експериментальної частини при виробництві та дослідженні біметалевих виливків проводились в ливарному цеху – лабораторії кафедри “Ливарне виробництво чорних і кольорових металів” КПІ ім. Сікорського (рис. 4.1). В подальшому ми будемо розглядати охорону праці на прикладі ливарних процесів.

Під час наших дослідницьких робіт, використовувалось наступне обладнання: сушило для сушіння форм; котковий змішувач; болгарка; шліфувальний станок; тигельна піч опору; електронний мікроскоп РЕМ-106.



1 – тигельна піч опору; 2 - сушило; 3 - котковий змішувач; 4 - шліфувальний станок формувальні машини; 5 - формувальні машини; 6, 7 – індукційна піч; 8 - машини відцентрового лиття; 9 - стелаж; 10 - стіл; 11 - кран-балка; 12 - шафи; 13 - установка ЕШП; 14 - столи; 15 - контейнер для сміття.

Рисунок 4.1 - План ливарного цеху з технологічним устаткуванням

Таблиця 4.1 – Параметри ливарної лабораторії

№	Найменування	Основні характеристики	кількість	Позиція на рисунку
Приміщення				
1	Параметри приміщення	$S=312 \text{ м}^2$; $V=15 \text{ м}^3$	-	-
2	Кількість працюючих	Донець, зав. учбов. лабораторією, інженер-дослідник, лаборант	3	-
3	Природне освітлення	Вікна металопластикові вікна з профілю Mega line 500 3200мм×2000мм	3	-
4.	Штучне освітлення	Світильник підвісний промисловий right hausen led 150w 6500K IP65	3	-

До таблиці 4.2 занесли основне обладнання і оснащення лабораторії, що безпосередньо приймало участь в нашому дослідженні.

Таблиця 4.2 – Обладнання і оснащення лабораторії що безпесередньо приймало участь в дослідженні

№	Назва	Розміри	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
1	Піч опору тигельна	3040×3370×4420 мм;	- матеріал: метал; - місткість 2,5 т; - потужність 1500 кВт; - вага: 31060 кг; - напруга 380 В; - температура 1800 °С.	3	1
2	Шліфувальний станок 3А732	2505x1190x1500	Матеріал: метал; Напруга: 380 В; Вага: 3225.	1	2
3	Котковий змішувач 15114	2795x780x1700	Матеріал: метал; Напруга: 380 В; Вага: 3685.	1	3
4	Сушилка KS 720 / 85	3195x1200x1500	Напруга: 380 В; Вага: 2835.	2	4

Відповідно до основних вимог будівель виробничого призначення, які викладені в ДСП 173-06, висота виробничих приміщень повинна бути не менше 3,2 м, а об'єм і площа – 15 м³ та 4,5 м² відповідно на кожного працівника. В нашому випадку площа приміщення складає: $S = 1872 \text{ м}^2$, а об'єм приміщення $V = 312 \text{ м}^3$. Під час досліджень в лабораторії працює 4 чоловіки, звідки ми отримуємо, що площа на одного чоловіка складає:

$$S_{\text{ч}} = 312/4 = 78 \text{ м}^2/\text{чол.}, \text{ а об'єм} - V_{\text{ч}} = 1872/4 = 468 \text{ м}^3/\text{чол.}$$

Таблиця 4.3 – Реальні та нормативні характеристики приміщення і розміщення технологічного обладнання

№	Параметр приміщення	Реальне значення	Нормативні значення
1	Площа на 1 працюючого	78 м ²	4,5 м ²
2.	Об'єм на 1 працюючого	468 м ³	15 м ³
3.	Мінімальна ширина проходу	2,6 м	1,5 м
4.	Площа на одного чоловіка	4,5 м ²	78 м ² /чол
5.	Об'єм на одного чоловіка	15 м ³ /чол	468 м ³ /чол

Отже, згідно [22] приміщення за геометричними параметрами відповідає основним вимогам до будівель виробничого призначення.

4.2 Оцінка ключових небезпечних та шкідливих виробничих факторів і розроблення заходів поліпшення (нормалізації) умов праці в ливарній лабораторії

Згідно НПАОП 0.00-2.24-05 та НПАОП 0.00-4.12-05 до переліку робіт з підвищеною небезпекою відносяться плавильні, заливочні роботи і роботи при сушінні форм [22].

Таблиця 4.4. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при виконанні ливарних робіт

Види процесів	Шкідливі виробничі фактори									Небезпечні виробничі фактори				
	Шкідливі речовини	Випромінювання в оптичному діапазоні			Електромагнітні поля	Магнітні поля	Вібрація	Шум	Запилення	Статичне навантаження на руку	Електричний струм	Іскри, бризки і викиди розплавленого	Механізми і вироби, що рухаються	Системи, які знаходяться під тиском.
		Ультрафіолетове	Видиме	Інфрачервоне										
Плавка	xx	xx	x	xx	x	-	-	x	-	-	xx	x	-	x

Примітки: xx – інтенсивний фактор; x – помірний фактор; (-) – незначний фактор чи його відсутність

Оскільки, більшість нашої роботи проходило на кафедрі, то і більшість роботи було пов'язано зі устаткуванням нашої ливарної лабораторії, за приклад я взяв роботи з тигельною піччю опору, і оцінював роботу саме з нею.

4.2.1 Фізичні джерела небезпечних і шкідливих виробничих факторів в ливарній лабораторії при виконанні ливарних робіт

4.2.1.1 Теплова безпека

Основна теплова безпека, яка створюється в технологічному процесі при роботі в ливарній лабораторії з тигельною піччю занесено в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 – Основні теплові небезпеки, які створюються при виконанні ливарних робіт

	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Тигельна піч опору	сталь, тигель	розплав сталі, нагрівання тиглю, нагріті поверхні обладнання та матеріалів, пари алюмінію	опіки, гіпертермія, пневмонія.

Як ми можемо побачити з таблиці 4.6. існує потенційна небезпека отримання фізичних пошкоджень (опіки, гіпертеромія). У таблиці 4.6 наведені заходи з забезпечення охорони праці від теплової небезпеки [22].

Таблиця 4.6 – Заходи забезпечення охорони праці від теплового та інфрачервоного випромінювання

№ п/п	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1	Технічні заходи	Екранування джерел теплового випромінювання та інфрачервоного випромінювання (металеві сітки, ланцюгові завіси, армоване сталеву сіткою скло)	Для захисту від опіків та гіпертермії, шкідливих парів алюмінію.
2	Організаційні заходи	Встановлення водних кулерів з питною водою	З метою профілактики зневоднення організму.
3	Експлуатаційні	<ul style="list-style-type: none"> - спеціальний одяг або одяг з натуральних тканин; - ЗІЗ для захисту голови; - захисні окуляри; - спецвзуття; - рукавички. 	<p>Для уникнення можливих опіків</p> <p>Знизити ризики пов'язанні зі шкідливими парами</p>

4.2.1.2 Ураження електричним струмом

Електричні фактори небезпеки та засоби захисту від електроураження. Небезпека ураження електричним струмом збільшується при невиконанні правил експлуатації електрообладнання, термінів ремонту обладнання. [23]

Дія електричного струму може викликати опіки, механічні ушкодження організму людини. Небезпека ураження може виникнути в результаті короткого замикання, іскріння, ушкодження ізоляції. [22]

Основні небезпеки пов'язані з дією на організм людини електричного струму, який використовується в технологічному процесі при виконанні ливарних робіт занесено в таблицю 4.7.

Таблиця 4.7 Електричні джерела небезпеки

№	Найменування	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Тигельна піч опору	Корпус з металоконструкції	Підлога, дотик без спецодягу, висока температура, недотримання техніки безпеки	Ураження струмом,

Шляхом зіставлення проєктованих рівнів показників з їх нормативно допустимими рівнями, складена таблиця 4.8. Нормативні значення було взято з НПАОП 40.1-1.21-98. «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Таблиця 4.8 – Реальні та нормативні фактори небезпеки ураження електричним струмом

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1	Максимальний струм	>1 А	0,025 А
		380 В	42 В

Для зниження ймовірності настання небезпечної ситуації, необхідно дотримуватись заходів безпеки.

Таблиця 4.9 – Засоби захисту від електротравм

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1	Технічні	<ul style="list-style-type: none"> - захисні заземлення електричного устаткування (електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмоведучих частин); - захисне розділення електромереж (роздільні трансформатори). 	Уникнення пробоя, витоків струму уникнення контакту зі струмопровідними частинами
2	Організаційні	Інструктаж з правил електробезпеки.	Доступність знань щодо безпеки експлуатації
3	Індивідуальний захист	Засоби індивідуального засобу (електро-захисні).	Забезпечення безпечної роботи з обладнанням
4	Режимні	Перевірка робочого устаткування тільки у відключеному стані.	Уникнення контакту з елементами під напругою
5	Експлуатаційні	Своєчасна заміна будь-яких пошкоджених елементів.	Забезпечення безпечної роботи з об'єктом
6	ЗІЗ	Взуття шкіряне спеціальне для працюючих; рукавиці суконні; повстяний капелюх, захисна каска з підшоломником; для захисту очей та обличчя – маски захисні з прозорим екраном, окуляри захисні козиркові з світлофільтрами.	Забезпечення засобами індивідуального захисту

Виявлена наявність електробезпеки, яка може проявлятися у вигляді витоку струму з електромережі та надання травм організму при контакті джерелом небезпеки. [22]

4.2.1.3 Хімічні фактори

Основні небезпеки пов'язані з впливом шкідливих речовин, які виділяються при роботі з тигельною піччю опору занесено в таблицю 4.12.

У таблиці 4.10 представленні джерела хімічної небезпеки, причини та їх наслідки.

Таблиця 4.10 – Нормативне і реальне значення хімічної небезпеки

№ п/п	Найменування	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідок
1	Тигельною піч опору	Плавка алюмінію, сталі	Пил, газы	Ризик виникнення ряду хвороб

Таблиця 4.11 - Реальні та нормативні фактори небезпеки

№ п/п	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативне значення
1	Пил, загазованність ливарної лабораторії	2 мг/м ³	1 мг/м ³

Можливі заходи та їх реалізація представлених джерел небезпеки представлені в таблиці 4.13.

З таблиці 4.10 існує потенційна небезпека негативного впливу шкідливих речовин на організм працівника. Для мінімізації ризику отримання професійного захворювання у таблиці 4.12 наведені засоби та заходи захисту.

Таблиця 4.12 – Засоби захисту від шкідливих хімічних факторів

№ п/п	Вид заходу	Критерій вибору
1	Засоби індивідуального захисту	Респіратори та маски, спеціальний одяг
2	Технічні заходи	Сучасні витяжки, витяжні зонти, установки повітряного дозування. (Похилий боковий панельний відсмоктувач)
3	Експлуатаційні заходи	Своєчасна заміна будь-якого пошкодженого обладнання, контроль обладнання
4	Організаційні	Інструктаж з правил безпеки, забезпечення засобами індивідуального захисту

Висновки до розділу 4

У розділі з охорони праці розглянуті небезпеки фізичного та хімічного характеру, описані та розроблені заходи для їх усунення або зменшення.

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Науково-технічна актуальність НДР

Потреби сучасного світу постійно стимулюють розроблення та створення нових матеріалів, які будуть вмщати в собі комплекс властивостей, забезпечуватимуть високу міцність, корозійну стійкість, теплопровідність, жароміцність, зносостійкість тощо.

Нажаль, більшість металів і сплавів окремо не можуть в повній мірі забезпечити поєднання у собі необхідної гама властивостей, що є актуальною проблемою сучасності. Одним із варіантів її вирішення є розроблення технологій з'єднання окремих металів або сплавів в одному виробі, який би поєднував переваги кожного з них.

Зараз існує велика кількість методів отримання біметалевих виробів: лиття, зварювання, наплавка, тощо. Але саме отримання біметалевих методом лиття на відміну від інших способів, відрізняються високим комплексом властивостей, стабільністю результатів, тому широко застосовується у наш час.

Для дослідження було обрано біметал залізо – алюміній, в даному сплаві постає можливість одночасно поєднати високу твердість, хорошу зносостійкість і жароміцність сталі з малою питомою вагою і відмінною теплопровідністю алюмінієвого сплаву. Цей біметал широко використовується в різних галузях: машинобудування, нафтовій, суднобудуванні, тощо.

5.1.1 Мета і завдання науково-дослідницької роботи

Метою даної роботи є дослідження впливу різного роду покриттів на циліндричні сталеві вставки та на їх геометричні параметри, на якість перехідної зони біметалевої заготовки.

Було проведено лиття у піщано-глинясті форми для отримання біметалічних виливків з алюмінієвого сплаву. Для поліпшення склеювання

біметалевих виливків були проведені різні методи обробки поверхні сталевих прутків, і виходячи із результатів, були зроблені висновки, і надана перевага одному з методів обробки, спираючись на результати.

Відповідно до мети в роботі були поставлені наступні задачі:

- дослідити мікроструктуру перехідних шарів виливків;
- встановити вплив покриття циліндричної сталевий вставки діаметром 4, 6 та 8 мм пересиченим розчином хлориду амонію та алюмінієм на якість перехідної зони біметалевої заготовки;
- встановити вплив покриття циліндричної сталевий вставки діаметром 4, 6 та 8 мм пересиченим розчином парафіну і гасі на якість перехідної зони біметалевої заготовки;
- встановити вплив покриття циліндричної сталевий вставки діаметром 4, 6 та 8 мм розчином мінеральної оливи у насичених вуглеводнях на якість перехідної зони біметалевої заготовки.

5.2 Розрахунок витрат на проведення НДР

Розрахунок усіх витрат організації-виконавця НДР, пов'язаних з виконанням теми, дає можливість встановити її собівартість або кошторисну вартість. Визначення планової собівартості проведення НДР проводиться згідно з типовим положенням з планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.

Планування забезпечує зниження трудових і матеріальних витрат з метою отримання найкращих результатів за найменших витрат.

Планова собівартість визначається за наступними статтями витрат:

- заробітна плата науково-дослідницького персоналу;
- єдиний соціальний внесок;
- вартість спецобладнання для виконання НДР;
- вартість матеріалів, необхідних для проведення НДР;
- витрати на службові відрядження;

- інші прямі невраховані витрати по темі;
- накладні витрати.

5.2.1. Витрати на оплату праці

Виконання наукових досліджень, а також впровадження результатів НДР вимагає певних витрат, які необхідно розглянути.

Витрати на оплату праці розраховують на основі даних про трудомісткість окремих робіт по темі (табл. 5.1) та посадових окладів безпосередніх їх виконавців (табл. 5.2).

Таблиця 5.1 – Трудомісткість робіт виконання науково-дослідної роботи

Етапи НДР	Доцент	Зав. Учбов. лаборат орією	Інженер- дослідник
Аналіз літературної складової з теми НДР	12	---	8
Розробка методів дослідження	8	---	6
Підготовка обладнання для проведення НДР	8	14	6
Виготовлення зразків	11	20	8
Макроструктурний аналіз	5	---	--
Мікроструктурний аналіз	5	---	--
Аналіз механічних властивостей	6	---	--
Опрацювання результатів	---	22	22
Оформлення результатів роботи	10	8	--
Разом	65	58	50

Подальші розрахунки витрат на оплату праці проводяться за алгоритмом,

зрозумілим із табл. 5.2

Середньоденна заробітна плата за категоріями виконавців розраховується шляхом ділення їх посадового місячного окладу на 21,2 (де 21,2 – усереднене число робочих днів за місяць).

Таблиця 5.2 – Розрахунок витрат на оплату праці¹

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, люд-днів	Заробітна плата, грн		
		Посадовий місячний оклад	Середньоденна зарплата	Усього за виконавцями
1. Доцент	65	18262	861,4	55965
2. За. учбов. Лабораторію	58	10546	497,4	28849,2
3. Інженер-дослідник	50	7730	364,6	18230
Разом оплата праці з теми				103044,2

Величина фонду заробітної плати (ФЗ) визначається як добуток трудомісткості та денної заробітної плати виконавців:

$$\text{ФЗ} = 346,6 \cdot 50 + 861,4 \cdot 65 + 497,4 \cdot 58 = 103044,2 \text{ грн.}$$

5.2.2. Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок (ЄСВ) – це обов’язкове відрахування на

¹ У разі виконання роботи на науково-технічній базі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» розмір заробітних плат можна взяти за цим посиланням.

Штатний розпис Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» [Електронний ресурс] : Сайт КПІ ім. Ігоря Сікорського». Доступ до ресурсу : <https://kpi.ua/stafflist>.

загальнодержавне соціальне страхування. З 1 січня 2016 р. ставка ЄСВ складає 22 %. Базою для нарахування ЄСВ слугують загальні витрати на оплату праці по темі (підсумок по табл.1.2).

$$\text{ЄСВ} = \text{ЗП} \cdot 0,22$$

де ЗП – загальні витрати на оплату праці по темі

Наразі ЄСВ буде становити:

$$\text{ЄСВ} = 103044,2 \cdot 0,22 = 22669,7 \text{ грн.}$$

5.2.3. Матеріали, необхідні для проведення досліджень

Витрати на матеріали (V_M), які необхідні для проведення даної НДР вираховуються виходячи із ціни одиниці і загальної кількості використаного матеріалу. Результати розрахунків зведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунки витрат на матеріали

Назва матеріалу	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Алюмінієвий сплав	кг	5	40	200
Сталевий пруток	шт	1	100	100
Універсальне мастило MD-40	кг	0,5	100	50
Гас розчинник, очищений	мл	0,5	80	40
Порошок NH ₄ Cl	кг	0,1	113	11,3
Лист азбесту	кг	2	12	24
Шліфувальний папір	пачка	5	30	150
Разом				575,3

Транспортно-заготівельні витрати приймаємо на рівні 10 % від планової вартості загальних витрат на матеріали:

$$T_v = 575,3 \cdot 0,1 = 57,53 \text{ грн.}$$

У такому разі загальна сума витрат на закупівлю матеріалів та їх транспортування буде становити:

$$V_m = 575,3 + 57,53 = 632,83 \text{ грн.}$$

5.2.4 Витрати на спеціальне обладнання

Всі дослідження проводились на наявному обладнанні, і витрати на НДК не передбачались. В таблиці 5.4 наведено перелік використаного обладнання.

Таблиця 5.4 – Перелік наукового устаткування, необхідного для виконання НДР

Найменування устаткування	Модель устаткування
Піч тигельна опору	-
Растовий електронний мікроскоп	PEM 106
Пресувальний пристрій	SimpliMet 1000
Шліфувально-полірувальний станок	Buehler GP beta

5.2.5 Витрати на службові відрядження

Всі роботи були проведені в лабораторіях факультету, тому витрати на службові відрядження не передбачені.

5.2.6 Інші прямі невраховані витрати

Даний розділ поєднує в собі всі витрати на проведення НДР, що не увійшли до переліку попередніх статей. При виконанні даної роботи інші прямі невраховані витрати (V_i) складають 10% від суми розрахованих прямих витрат на НДР.

$$I_B = (ЗП + ЄСВ + V_M) \cdot 0,1 ,$$

Наразі I_B буде становити:

$$I_B = (103044,2 + 22669,7 + 632,83) \cdot 0,1 = 12634,673 \text{ грн.}$$

5.2.7 Накладні витрати по темі

Накладні витрати включаються до калькуляції кошторисної вартості теми

пропорційно обсягам витрат на оплату праці основних виконавців або пропорційно сумі прямих витрат на виконання теми досліджень по нормативам організації-виконавця цього дослідження.

В даному розділі розраховуються витрати на заробітну плату управлінського та загальногосподарського персоналу з єдиним соціальним внеском, витрати на допоміжні виробництва, витрати на охорону праці та техніку безпеки, поточний ремонт, витрати на утримання виробничої площі, на утримання й експлуатацію універсального обладнання для експериментальних цілей тощо. Накладні витрати (НВ) складають 20% від суми всіх прямих витрат по НДР:

$$H_B = (ЗП + ЄСВ + V_M + I_B) \cdot 0,2 ,$$

Наразі H_B буде становити:

$$H_B = (103044,2 + 22669,7 + 632,83 + 12634,673) \cdot 0,2 = 27796,28 \text{ грн.}$$

5.2.8 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Розрахунок за всіма статтями витрат зведено в табл. 5.5

Таблиця 5.6 – Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

Найменування статей витрат	Сума, грн	Обґрунтування
1	2	3
1.Витрати на оплату праці	103044,2	Відповідно до розрахунків
2.Єдиний соціальний внесок	22669,7	22,0 % від загальних витрат на оплату праці
3.Матеріали для проведення досліджень	632,83	Відповідно до розрахунків
4.Енергоносії для проведення досліджень	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
5.Спецобладнання для наукових цілей	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
6.Вартість послуг сторонніх організацій	–	За договором із сторонніми організаціями (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
7.Витрати на службові відрядження	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку не передбачено)
8.Інші невраховані прямі витрати по темі	12634,673	10 % від суми прямих розрахованих витрат по темі
9.Накладні витрати	27796,28	Відповідно до нормативів організації-виконавця теми (у нашому випадку 20 % від суми прямих витрат)
10.Усього витрат по темі	166777,684	Сума попередніх статей

5.3. Науково-технічна ефективність НДР

Розрахунок очікуваного економічного ефекту НДР необхідно для визначення доцільності проведення даної роботи.

Для визначення річного економічного ефекту скористаємося бальною системою оцінювання економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки (K_1);
- можливість використання результатів розробки (K_2);
- теоретичне значення та рівень новизни (K_3);
- складність дослідження (K_4).

Загальна оцінка вираховується в балах (Б) перемноженням коефіцієнтів.

$$B = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4;$$

де K_1 – важливість розробки;

K_2 – можливість використання результатів розробки;

K_3 – теоретичне значення та рівень новизни;

K_4 – складність розробки.

Таблиця 5.5 – Бальна оцінка ефективності НДР

Показник оцінки ефективності НДР	Умовне позначення показника	Характеристики даної роботи	Кількість балів
1. Важливість розробки	K_1	Робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво	3
2. Можливість використання результатів розробки	K_2	Результатами розробки можуть користуватися у різних галузях	10
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K_3	Під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів	3
4. Складність дослідження	K_4	Робота виконується декількома підрозділами, витрати від 100 000 до 200 000 гривень	7

$$B = 3 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 7 = 630$$

Умовний ефект НДР розраховується за формулою:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \cdot B - E_n \cdot V_{\text{НДР}},$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (може бути в межах 0,1 – 0,3);

$V_{\text{НДР}}$ – сумарні витрати на виконання НДР (підсумок табл. 1.4);

У нашому прикладі умовний ефект виконання НДР буде становити:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \cdot 630 - 0,15 \cdot 166777,684 = 289983,347 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність НДР визначається коефіцієнтом умовної

економічної ефективності E_e . Він є відношенням умовного ефекту виконання НДР до сумарних витрат на виконання НДР та розраховується за формулою:

$$E_e = \frac{E_{\text{НДР}}}{B_{\text{НДР}}}.$$

У нашому прикладі E_e буде становити:

$$E_e = \frac{289983,347}{166777,684} = 1,73$$

Коефіцієнт умовної економічної ефективності науково-дослідної роботи становить 1,73 (перевищує одиницю), даної НДР є економічно обґрунтованим.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проблемою отримання біметалевих заготовок сталь-алюміній методом лиття є в якості змочування поверхні та висока різниця температури плавлення між складовими металів. Вирішення даної задачі дає можливість скоротити технологію отримання біметалів, та зменшити собівартість деталі.

У цій роботі використовували лиття у піщано-глинясті форми для отримання біметалічних виливків з алюмінієвого сплаву. Для дослідження якості з'єднання шарів біметалевих виливків були порівняні різні методи оброблення поверхні сталевих вставок різного діаметру.

За результатами проведених досліджень встановлено:

- алюмінієвий розплав змочив поверхні сталевих вставок, однак є зони де оксидна плівка алюмінію завадила даному процесу;
- за даних умов проведення експерименту відсутня взаємна дифузія заліза та алюмінію;
- на поверхні контакту алюмінієвого розплаву із сталевими вставками та у розплаві поблизу них спостерігається утворення інтерметалідів заліза та алюмінію;
- залежність критерію якості отриманого з'єднання від діаметру сталеві вставки при обробленні різними розчинами: зі збільшенням діаметру, за використання перших двох покриттів, критерій якості зменшувався, а за використанням третього покриття – отримано зворотну залежність;
- вплив різного покриття на утворення перехідного шару у литих біметалевих заготовках: найкраще покриття – розчин мінеральної оливи у насичених вуглеводнях, найгірше – розчин хлориду амонію та алюмінієм.

У розділі з охорони праці розглянуті небезпеки фізичного та хімічного характеру, описані та розробленні заходи для їх усунення або зменшення.

У економічному розділі розраховані витрати на проведення НДР.

CONCLUSIONS

The problem of obtaining bimetallic steel-aluminum billets by casting is the wetting of the surface and the high melting point difference between the components of metals. Solving this problem makes it possible to reduce the technology of obtaining bimetallics, and reduce the cost of the part.

In this work, sand-clay casting was used to obtain bimetallic castings from aluminum alloy. To study the quality of the connection of the layers of bimetallic castings, different methods of surface treatment of steel inserts of different diameters were compared.

According to the results of the research it is established:

- aluminum melt wetted the surface of steel inserts, but there are areas where the oxide film of aluminum interfered with this process;
- under these conditions of the experiment there is no mutual diffusion of iron and aluminum;
- on the surface of contact of the aluminum melt with steel inserts and in the melt near them the formation of intermetallics of iron and aluminum is observed;
- the dependence of the quality criterion of the obtained connection on the diameter of the steel insert when treated with different solutions: with increasing diameter, using the first two coatings, the quality criterion decreased, and using the third coating - the inverse relationship;
- the effect of different coatings on the formation of the transition layer in cast bimetallic billets: the best coating - a solution of mineral oil in saturated hydrocarbons, the worst - a solution of ammonium chloride and aluminum.

The section on labor protection considers the dangers of physical and chemical nature, describes and develops measures to eliminate or reduce them.

In the economic section, the costs of research are calculated.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дмитров Л. Н. Биметаллы / Л. Н. Дмитров, Е. В. Кузнецов, А. Г. Кобелев, Ю. П. Чегодаев, В. Е. Шкляев, В. А. Войцеховский. – Пермь. : Пермское книжное издательство, 1991. – 416 с.
2. Скляр В. А. Инновационные и ресурсосберегающие технологии в металлургии : учеб. пос. / В. А. Скляр. – Донецк : ДонНТУ, 2014. – 224 с.
3. Труба комбинированная биметаллическая [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.xn--80adbiml0aif9j.xn--p1ai/truba-kombinirovannaya-bimetallicheskaya-2/>.
4. CuPb10SN10 Біметалічні Двигуна Підшипник TSB-800 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://ua.oilesbushing.com/bimetal-bearings/cylindrical-bimetal-bearings/cupb10sn10-bimetallic-engine-bearing-tsb-800.html>.
5. Корончатые и ступенчатые сверла, биметаллические и твердосплавные коронки. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://delta.in.ua/instr_10-02.html.
6. Методики сектору розробки і дослідження біметалів і багатошарових металевих композитів [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.kipt.kharkov.ua/kipt_sites/isspmst/main_site/UKR14-60Method.html.
7. Обозначение, применение биметаллов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://fb.ru/article/426779/chto-takoe-bimetal-i-gde-primenyaetsya>.
8. Применение биметаллов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://him-apparat.ru/bemetal/>.
9. Судостроение и алюминиевые сплавы [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.metaljournal.com.ua/metals-in-shipbuilding/>.
10. Биметаллическое литье ювелирных изделий [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://jtech.com.ua/article/view/id/398>.

11. Сварка биметаллов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://bstudy.net/750890/tehnika/svarka_bimetallov.
12. Бердиченко А. А. Способы получения биметалла сталь-титан / А. А. Бердиченко., 2017. – 162 с. – (Москва).
13. Биметаллические отливки железо - алюминий – Москва: Машиностроение, 1966. – 128 с.
14. Технология прессования. Прессование металлов. [Электронный ресурс]. – Машиностроение. Режим доступа: <http://gk-drawing.ru/line-module/metalworking/metals-pressing.php>
15. Получение биметаллов ОМД [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://studbooks.net/1422105/tovarovedenie/poluchenie_bimetallov.
16. Оцінка впливу факторів гарячої деформації при видавлюванні біметалевих заготовок [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/6937/1/>
17. Лихошва В. П. Современные способы производства биметаллических изделий / В. П. Лихошва, А. П. Шатрава. // Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина. – 2018. – С. 4–5.
18. Дмитриев Л. Н. Биметаллы / Л. Н. Дмитриев, Е. В. Кузнецов, А. Г. Кобелев. – Пермь: Пермское книжное издательство, 1991. – 414 с.
19. Двигатель мотоцикла Днепр, характеристики, история, устройство, тюнинг [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://24techno-guide.ru/dvigatel-motocikla-dnepr-harakteristiki-istoriya-ustroistvo-tjuning.php>.
20. Альес М. Ю. Химическая физика и мезоскопия / М. Ю. Альес, В. И. Кодолов. – Ижевск, 2018. – 121 с. – (Российская академия наук уральское отделение удмуртский федеральный исследовательский центр).
21. Формирование диффузионной зоны в процессе образования биметаллических соединений. // г. Ижевск. – 2019. – №14. – С. 1–16.
22. Основи охорони праці / [К. Н. Ткачук, О. М. Халімовський, В. В. Зацарний та ін.]. // «Основа». – 2006. – с. 448.

23. Лазарев Н. В. Н. В. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей / Н. В. Лазарев Н. В. – 1977. – 608 с.

24. New trends and advances in bi-metal casting technologies / M.Ramadan, N. Fathy, K. S. Abdel Halim, A. S. Alghamdi. // International Journal of Advanced and Applied Sciences. – 2019. – №6. – С. 75–80.