

Міністерство освіти та науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійного обладнання
(повна назва кафедри)

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

На тему Дослідження можливостей використання прокатного обладнання при виробництві біметалевих штаб

Виконав: магістрант групи 8.1332

Малий Д. В.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

спеціалізація

_____ (шифр і назва)

Освітньо-професійна програма
133.00.12 Металургійне обладнання
(шифр і назва)

Керівник Васильченко Т.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2023 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти магістр

(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

Спеціалізація _____

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма 133.00.12 Металургійне обладнання

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру А.О. Власов

“ _____ ” _____ 20__ року

Завдання

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Малого Данила Владиславовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Дослідження можливостей використання прокатного обладнання при виробництві біметалевих штаб
керівник магістерської роботи к.т.н., доц. Васильченко Т.О.
затвержені наказом вищого навчального закладу від «09» жовтня 2023 року № 1581-с.
2. Строк подання студентом магістерської роботи 11 грудня 2023 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи цеху холодної прокатки
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд і аналіз науково-технічних рішень щодо можливості використання прокатного обладнання для отримання біметалевих штаб; 2. Розрахункова частина; 3. Дослідно-експериментальна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека в галузі. Загальні висновки та рекомендації
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Загальний вигляд кліті та допоміжне обладнання - А1; 2. Привод робочої кліті – 2А1; 3. Шпindel з зубчастий – 2А1; 4. Вузол подушок - А1 5. Плакати дослідницької частини – 2А1;

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Васильченко Т.О., к.т.н., доц.		
2	Васильченко Т.О., к.т.н., доц.		
3	Васильченко Т.О., к.т.н., доц.		
4	Васильченко Т.О., к.т.н., доц.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проектування	01.05.2023 – 27.05.2023	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проектування	01.09.2023 – 15.09.2023	
3	Виконання теоретичної частини проекту	16.09.2023 – 16.10.2023	
4	Виконання графічної частини проекту	17.10.2023 – 17.11.2023	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	18.11.2023 – 30.11.2023	
6	Перевірка проекту консультантами	01.12.2023 – 03.12.2023	
7	Попередній захист проекту	04.12.2023	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проекту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент

_____ (підпис)

Д.В. Малий

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи

_____ (підпис)

Т.О. Васильченко

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Малий Д.В. Дослідження можливостей використання прокатного обладнання при виробництві біметалевих штаб .

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник Т.О. Васильченко. Запорізький національний університет, інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра металургійного обладнання, 2023.

В роботі проаналізовані складності виготовлення біметалевих штаб і розглянуто варіант застосування прокатного обладнання для отримання біметалевих профілів. Розроблено проектну технологію виробництва штаб системи «алюміній – мідь» зі співвідношенням шарів один до двох товщиною загального шару 2 мм, дану технологію відмаштабовано до умов реального виробництва.

Ключові слова: БІМЕТАЛЕВА ШТАБА, ПРОКАТКА, ПЛАКУВАННЯ, АЛЮМІНІЙ-МІДЬ

ABSTRACT

Maliy D. V. Study of the possibilities of using rolling equipment in the production of bimetallic staffs.

Qualifying final work for master's degree in specialty 133 - Sectoral engineering, scientific supervisor T.O.Vasylchenko. Zaporozhye National University, Engineering Educational and Scientific Institute them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2023.

In the work, the difficulties of manufacturing bimetallic staffs are analyzed and the option of using rolling equipment for obtaining bimetallic profiles is considered. The design technology for the production of the headquarters of the "aluminum - copper" system with a ratio of one to two layers with a total layer thickness of 2 mm has been developed, this technology has been scaled up to the conditions of real production.

Keywords: BIMETALLIC HEADQUARTERS, ROLLING, PLATING, ALUMINUM-COPPER

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 Огляд та аналіз науково-технічних рішень щодо можливості використання прокатного обладнання для отримання біметалевих штаб	9
1.1 Класифікація та область застосування біметалевих матеріалів	9
1.2 Огляд та аналіз існуючих технологій і застосовуване обладнання для виробництва біметалевих штаб	15
1.3 Пропозиції щодо поліпшення отримання біметалевих штаб системи «алюміній-мідь» на прокатному обладнанні на підґрунті патентного пошуку та відомих технічних рішень	27
1.4 Обґрунтування обраного напрямку роботи	31
2 Розрахунок основних параметрів обладнання для виробництва біметалевих штаб	33
2.1 Технічна характеристика основного устаткування реверсивного стану холодної прокатки 1680	33
2.2 Перевірка зубчастого зачеплення на міцність	35
2.3 Розрахунок болтового з'єднання	39
2.4 Розрахунок барабана на міцність	39
3 Дослідження можливості використання прокатного обладнання для отримання біметалевих штаб	46
3.1 Розробка технології прокатки в лабораторних умовах	48
3.2 Проектна технологія для ПАТ «Запоріжсталь»	53
4 Охорона праці та техногенна безпека	64
4.1 Характеристика рівня безпеки технологічного процесу холодної прокатки, рівня його механізації та автоматизації	66
4.2 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів	65

4.3 Заходи щодо захисту від виявлених шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища	68
4.4 Технічні рішення щодо виробничої санітарії	69
4.4.1 Мікроклімат	69
4.2.2 Освітлення в приміщенні	70
4.2.3 Виробничий шум, виробнича вібрація	72
4.4.4. Виробничі випромінювання	73
4.5 Заходи пожежної безпеки	74
4.6 Техногенна безпека	76
Загальні висновки і рекомендації	77
Список використаних джерел	78
Список використаних креслень	82
Додатки	83

ВСТУП

Актуальність теми. В сучасних умовах ринкової економіки все гостріше стає питання отримання продукції заявленої якості та певних властивостей за умови більш раціонального використання рідкісних і дорогих металів. Вдосконалення структури металевих матеріалів дозволило отримувати метали, що поєднують у собі властивості складових і отримали покращені якості, тим самим надаючи більш дешевим матеріалам властивості кошовних аналогів. Біметалеві матеріали застосовують для підвищення міцності та жаростійкості конструкцій, зниження їх маси з метою економії дорогих і дефіцитних металів або як матеріал з спеціальними властивостями.

Біметали виготовляють металургійним, гальванічним або гальвано-металургійним способом. Найширше впровадження отримав саме металургійний спосіб, який має декілька різновидів: заливання легкоплавкого металу по тугоплавкому; заливання легкоплавкого металу по тугоплавкому з подальшою деформацією в гарячому або холодному стані способом пресування, прокатки; з'єднання металів способом гарячої прокатки — плакування; плакування вибухом тощо.

Застосування прокатних станів для виробництва біметалевих матеріалів значно розширить їх технологічні можливості, дозволить тим саме впроваджувати нові енергоефективні та ресурсозберігаючі технології та використовувати стани для вирішення задач подвійного призначення.

Проте утворення міцних надійних з'єднань при прокатуванні біметалів пов'язане з рядом труднощів, зокрема значні відмінності у механічних властивостях призводять до нерівномірності деформації шарів; утворення інтерметалідних сполук та інші. Тому питання розробки технології отримання біметалевих матеріалів в умовах прокатного виробництва ще до кінця не вивчені і є досить актуальними.

Мета і задачі роботи. Метою роботи є дослідження розширення технологічних можливостей прокатного обладнання за рахунок розробки технології прокатки біметалевих матеріалів.

Для досягнення мети ми задаємо собі такі цілі:

1. Провести аналіз стану питання, визначити основні проблеми, пов'язані з формуванням міцного з'єднання при плакуванні металів.
2. Розробити технологію отримання біметалевих штаб шляхом прокатування.
3. Провести лабораторне відпрацювання запропонованої технології.

Об'єкт дослідження – технологічний процес отримання біметалевих штаб.

Предмет дослідження – енергосилові та деформаційні параметри технологічного процесу

Метод дослідження. Стандартні методи дослідження металургійного обладнання.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально- економічного розвитку регіонів України» (Запоріжжя, ЗНУ, 2023).

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 83 сторінки, 21 рисунок, 11 таблиць, 28 найменувань використаних джерел, додатки.

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОКАТНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІМЕТАЛЕВИХ ШТАБ

1.1 Класифікація та область застосування біметалевих матеріалів

Біметалами називають металеві, що складаються з двох міцно з'єднаних між собою різнорідних металів або сплавів[1]. Розрізняють біметали дво- і багатошарові. Біметали відзначаються рідкісним поєднанням властивостей вихідних металевих матеріалів, наприклад високої міцності зі значною стійкістю проти спрацювання або низьким електричним опором[2].

Широке впровадження біметалів пояснюється не лише унікальними властивостями отриманих виробів, а ще і тим, що при цьому раціонально використовуються більш коштовні матеріали.

Сьогодні всі отримувані біметалічні структури можна розділити по сфері застосування на наступні види: електротехнічні, зносостійкі і інструментальні, корозійностійкі, антифрикційні, біметали для глибокої витяжки, термобіметали, біметали для теплообмінної апаратури, будівельних конструкцій і побутових виробів.

У електротехніки біметалічні сплави в основному використовують в якості провідників та інших частин електричних кіл, а також деталей контактної пристрої. Біметалічна композиція, що складається з двох або більше шарів, має високою електропровідністю і міцнісними властивостями, не потребує великої кількості рідкісних та дорогих матеріалів, таких як срібло, золото, мідь, алюміній та ін.

Поширення біметалу в електро- та радіотехніці обумовлено тим, що густина змінного струму падає від периферії провідника до його середині, тому іноді доцільно поверхню дроти з більше дешевого матеріалу покривати гарним провідником.

Прекрасним прикладом є дріт зі сталевою серцевиною і зовнішнім шаром з міді, яка не поступається мідний дроту в електропровідності, але в теж час є більше міцний, легкої, економічній, а також має більш високу корозійну стійкість. Така дріт отримала більше застосування в електроніки.

Як троси контактного проводу, що використовуються для трамвайної та тролейбусний тяги, застосовують сталеалюмінієві дроти.

На сьогоднішній день електрохімія є однієї з найбільш енергоємних галузей, тому необхідно правильно підібрати і використовувати композитні матеріали. Основними операціями у прикладній електрохімії є електроліз, а також осадження і рафінування металів (міді, алюмінію, цинку, нікелю, титану, кобальту, олова, хрому та ін.). Дані контакти працюють під високими струмовими навантаженнями при високих температурах, що пред'являє до них підвищені вимоги.

Застосування біметалічних контактів (мідь + титан, сталь + алюміній, мідь + алюміній тощо) значно підвищує термін служби струмоведучих деталей і суттєво знижує перехідне опір контактів.

Яскравим прикладом може служити стрічка мідь + сталь 08кп + нікель, застосовувана для хімічного джерела струму і отримувана методом холодною прокатки. Вона має гарною електропровідністю при підвищених температурах, а також високою формостійкістю. При виготовленні анодів електровакуумних приладів, тепловимірників, екранів і т.п. застосовують двох-, трьох-, чотирьох- і п'ятишарові композиції [1].

Характеристика деяких композицій представлена в таблиці 1.1

Для отримання біметалічних композитів при плакування основному шару, зазвичай їм служить низьковуглецева сталь, використовують сплави мають високу стійкість проти абразивного зносу.

Таблиця 1.1 – Шаруваті метали (смуги та стрічки) для електротехнічної та електронної промисловості

Композиція	Товщина, мм		Ширина, мм	Призначення
	Загальна	Плакуючого шару		
Алюміній АТ +мідь М1	1,5	0,1-0,4	50	Для електричних ланцюгів
Мідь М1 +Алюміній АД0 +мідь М1	5-20	0,25	50-600	Для шинопроводів
Ал. сплав АКЖ +сталь 08кп +ал. сплав АКЖ	0,1-0,4	0,007-0,03	90-110	Для електровакуумних приладів
Нікель НП2 +Алюміній А5	0,15-0,3	0,006-0,03	120	Для анодів ламп
Нікель НП2 +сталь 08кп +мідь М1	0,3-0,35	0,02-0,04	100	Для малогабаритних джерел - ніков струму
Латунь Л90 +сталь 11кп +латунь Л90	0,7-1,5	0,07-0,15	40-260	Для перехідників та контактних пристроїв

Використання твердої сталі в поєднанні з більш м'якою дозволяє суттєво збільшити термін експлуатації біметалічних виробів, а також це надає їм нової властивості - здатність до самозаточення. Твердий метал виступає з швидкозношуваного м'якого шару в вигляді гострої кромки, цим виключаючи необхідність повторно заточувати інструменти, виготовлені з такого біметалу. Це великий плюс для сільськогосподарських гармат і іншого ріжучого

інструмент. прикладом може бути тришарова композиційна сталь 60 + сталь 15 + сталь 60 с співвідношенням шарів 1:1:1.

Зносостійкі метали, як правило, не піддають спеціальним механічним випробуванням, але існують стандарти, що визначають максимальну твердість основного шару до термічної обробки і мінімальну твердість плакуючого шару після загартування. Основним критерієм якості зносостійких матеріалів є питомий знос твердого шару, який визначається в лабораторних умовах.

У якості зносостійких композицій можуть бути використані двошарові та тришарові листи загальною товщиною 2-15 мм з відносною завтовшки твердого шару 10-50%. У якості основи застосовують сталі, що містять 0,06-0,50% С, а твердого зносостійкого плакуючого шару - високовуглецеві інструментальні сталі, містять 0,06-1,30% З, і різні леговані зносостійкі інструментальні та карбідні сталі типу 6ХС, 85ХФ, 3Ч5ВФ, 9Х5В, 65Г, Х6Ф1, Х12М.

Виробництво і застосування біметалу «малолегована сталь + швидкорізальна сталь» дозволяє скоротити на 70-80% витрати швидкорізальної сталі і заощадити при цьому такі дефіцитні метали, як вольфрам, кобальт, молібден, ванадій.

Використання корозійностійких біметалів замість корозійностійких сталей дозволяє не тільки збільшити надійність і довговічність деталей, але і сильно заощадити завдяки використанню більше дешевих замінників. Механічні властивості біметалу так само перевищують властивості одного плакуючого шару. Так, поєднання низьколегованих сталей основного шару 10Г2ФР, 12Х1МФ, 20К з найбільш поширеною сталлю плакуючого шару 12Х18Н10Т забезпечує міцність композиції помітно більше високу, чим у металу плакуючого шару. Міцність з'єднання шарів як правило, наближається до міцності одного з компонентів композиції, а іноді навіть і перевищує її.

Здібністю біметалу протистояти корозії різної середовищі визначається сфера його застосування. Для апаратури, що працює в умовах високоагресивних середовищ, застосовують біметал сталь + титан.

Двошарові листи, плаковані шарами з сталей 08X17T і 15X25T, призначені для виготовлення хімічної апаратури, працюючою під тиском і при підвищену температуру.

Алюміній і його сплави в композиції зі сталлю поєднують корозійну стійкість, легкість, хорошу електричну провідність із міцністю та пластичністю сталі. Такі біметали застосовують в авіаційної, суднобудівної, електротехнічної, хімічної, харчової промисловості, в будівництві і побутовий техніки. Використання сталєалюмінієвих композицій дозволяє знизити витрату дорогих металів, а також масу та вартість виробів.

В даний час широкого застосування шаруваті метали отримали також і у виробництві різних підшипників ковзання (упорних кілець, втулок і ін). Переважно на сьогоднішній день використовувати підшипники ковзання замість підшипників кочення, тому що перші мають менші габарити і металомісткість, а також вони мають більш високі робітниками характеристиками. Значним плюсом виробництва біметалічних підшипників є значна економія кольорового металу (антифрикційний шар має товщину не більше міліметра).

Біметалічні підшипники з композицій сталь+бронза, сталь+ алюмінієві сплави (АО9-2, АО20-1) часто використовуються в автомобільному машинобудування. Дані композиції застосовувані в вузлах тертя (підшипників колінчастого вала і ін) дозволяють збільшувати потужність важко навантажених дизельних двигунів.

Основними критеріями, яким повинні задовольняти біметали для глибокої витяжки, є: висока міцність, достатня пластичність та гарна корозійна стійкість. Такими якостями мають композиції типу сталь + мідні сплави, які задовольняють всім необхідним вимог. Ці сплави можна, можливо наражати всім необхідним технологічних операцій, серед яких: штампування, згинання, зварювання, вигин, термічна обробка і т.д.

Одним з найбільш часто використовуваних біметалів для виробництва виробів глибокої витяжки є тришарова стрічка томпак + сталь ІІ кп + томпак з тонким плакуючим шаром (4-6% від товщини сталевого шару)

Призначення основного шару - забезпечити необхідну міцність, пластичність, стійкість проти ударних навантажень, технологічність при штампування і т.д.

Основна завдання плакуючого шару- гарантувати необхідну пластичність при витяжці та високу корозійну стійкість. Крім того, плакуючий шар служить як би мастилом при витяжці. Виходячи з цього, в як основний шар композиції для глибокої витяжки рекомендуються низьковуглецеві (0,05-0,20%) вуглецю) стали з невеликим кількістю марганцю (0,25-0,50%), кремнію (<0,10%), сірки (<0,07%), фосфору (<0,04%) та газів. З матеріалів, використовуваних в якості плакуючого шару, частіше застосовують мідь та однофазні латуні.

Основним способом отримання шаруватих металів для глибокої витяжки-спільна пластична деформація його компонентів, здійснювана з допомогою гарячою або холодної прокатки.

Термобіметали широко застосовують для виготовлення чутливих елементів теплових приладів, автоматичних регуляторів температури і часу, компенсаторів, амперметрів, ватметрів, сигналізаційних пристроїв і т.п.

Основна характеристика термобіметалу - термочутливість, тобто здатність змінювати форму при нагріванні. Для досягнення максимального вигину біметалічної пластини необхідно підбирати складники з великою різницею коефіцієнтів лінійного розширення. При цьому фізико- механічні властивості складових повинні забезпечувати отримання по всій контактної поверхні міцного з'єднання, а також можливість подальшої обробки термобіметалу штампуванням, різкою, зварюванням і т.п. Крім того, необхідно, щоб термобіметал у процесі експлуатації не отримував залишковою деформації і не змінював електроопір і термоактивність. В даний час термобіметали випускають у вигляді смуг та стрічок завтовшки 0,1-2,5 мм. Співвідношення шарів у них приблизно 1:1. Шар з великим коефіцієнтом лінійного розширення називають активним, з меншим - пасивним.

За фізико-механічним властивостям термобіметали об'єднують в п'ять груп (ГОСТ 10533-63): з високим, підвищеним, середнім, зниженим і низьким рівнями властивостей (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 - Класифікація термобіметалів

Рівень властивостей	Номер групи	Питомий вигин $A, 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Питома електросупротивленість $\rho, \text{мкОм}\cdot\text{м}$	Максимальна робоча температура $^\circ\text{C}$
Високі	1	>15	≥ 1	>350
Підвищені	2	12-15	0,75-1	250-305
Середні	3	7,5-11,5	0,55-0,74	150-250
Знижені	4	7,5	0,3-0,54	≤ 150
Низькі	5	-	$<0,3$	-

1.2 Огляд та аналіз існуючих технологій і застосовуване обладнання для виробництва біметалічних штаб

Міцне з'єднання шарів металу між собою по всій поверхні контакту є основним завданням при отриманні шаруватих металевих композицій. При цьому необхідно отримати необхідне співвідношення товщин шарів, а також необхідну структуру і властивості готового шаруватого металу.

В даний час існує велика кількість різних методів отримання біметалів, що пояснюється великою різноманітністю біметалів по їх видам та композиціям, а також прагненням знайти найраціональніший метод отримання для кожного виду.

Основними виробничими методами отримання біметалічних композитів є наступні: холодна і гаряча прокатка, лиття, зварювання вибухом, вакуумно-дифузійна зварювання. Крім того, існують ще такі методи, як пресування і волочіння, пайка, наплавлення, електрошлакова зварювання, холодна

зварювання, дифузійна зварювання, ультразвукова зварювання, зварювання тертям, але ці методи застосовуються набагато рідше.

Прокатку використовують для виробництва біметалічних листів, труб, профілів, прутків. Технологія гарячою прокатки кількох шарів металу включає в себе підготовку (очищення, травлення, промивання, знежирення) і складання компонентів пакету, попередній нагрівання і прокатку, різання, термообробку, редагування і оздоблення. Для запобігання окислення прокатується шарів застосовують різні способи - покриття, наносяться електролітичним способом, наплавкою або напиленням, шари з фольги і пірофорних речовин.

Холодна прокатка - один з самих перспективних способів виробництва біметалів, що володіє великими технічними і економічними Перевагами. Цей спосіб дозволяє отримувати шаруваті композиції з металів широкого класу, мають достатню пластичність при холодній деформації.

Технологічний процес отримання біметалічних штаб складається з наступних операцій: підготовка вихідних складових до плакування, спільна холодна прокатка шаруватих заготовок (плакування), термічна обробка, остаточна прокатка до заданого розміру (при необхідності).

При холодній прокатці (пакетній і рулонній) для отримання біметалів вихідні заготівлі піддають знежиренню, травленню (при необхідності) і зачистці контактних поверхонь до металевого блиску. Потім здійснюють складання пакету: складники складають, поєднуючи їх контактні поверхні. Зазвичай передній кінець пакету скріплюють з допомогою заклепок.

Схеми попереднього укладання біметалічних заготовок у пакети показано на рисунку 1.1.

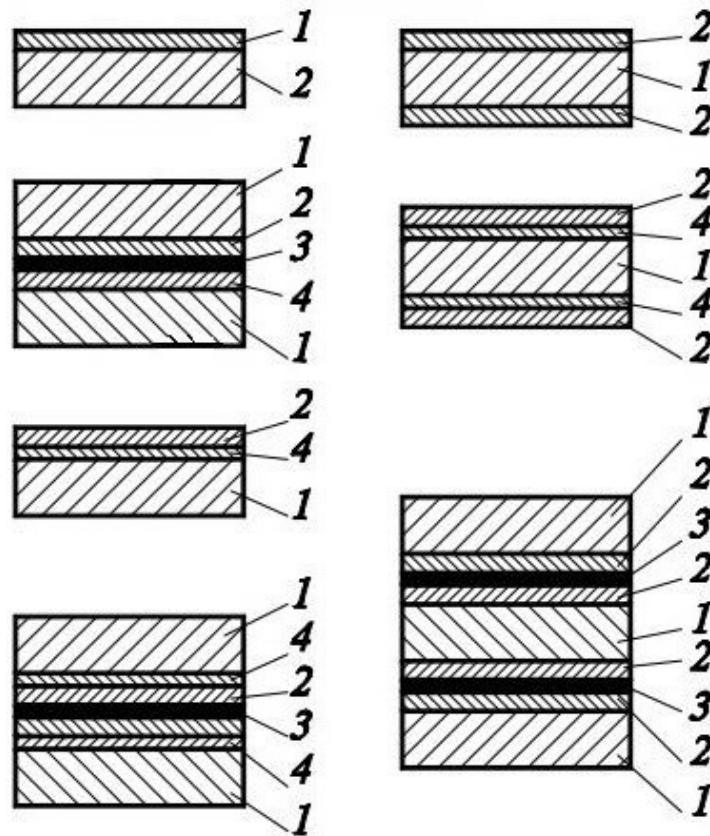


Рисунок 3 – Схеми укладання біметалів у пакети перед спільною прокаткою: 1-основний шар, 2-плакуючий шар, 3-роздільний підшар, 4-з'єднувальний підшар

При рулонному способі прокатки стрічки основного та плакуючого шару, перебувають на розмотувачі та з них подаються на валки для спільної пластичної деформації.

На поверхнях основного та плакуючого шарів завжди є жирові плівки, які цілковито неприпустимі при плакуванні. Крім того, органічні плівки ускладнюють травлення металу та забруднюють травильні склади. Для видалення масляних та інших жирових забруднень використовують знежирення лужними розчинами з застосуванням емульгаторів або термічний метод, коли заготовку поміщають у піч із захисним середовищем, де забруднювачі вигоряють. Далі проводять травлення і механічну зачистку контактних поверхонь (металевими щітками (рисунок 1.2), абразивними складами, дробом та ін.).



Рисунок 1.2 – Дискава дротяна металева щітка

Дискові дротяні щітки збираються в пакет таким чином, щоб ширина пакета дорівнювала ширині рулону або пакету біметалу. Установки для зачистки контактних поверхонь складових біметалу, скатаних у рулони, представлена на рисунках 1.3 та 1.4.

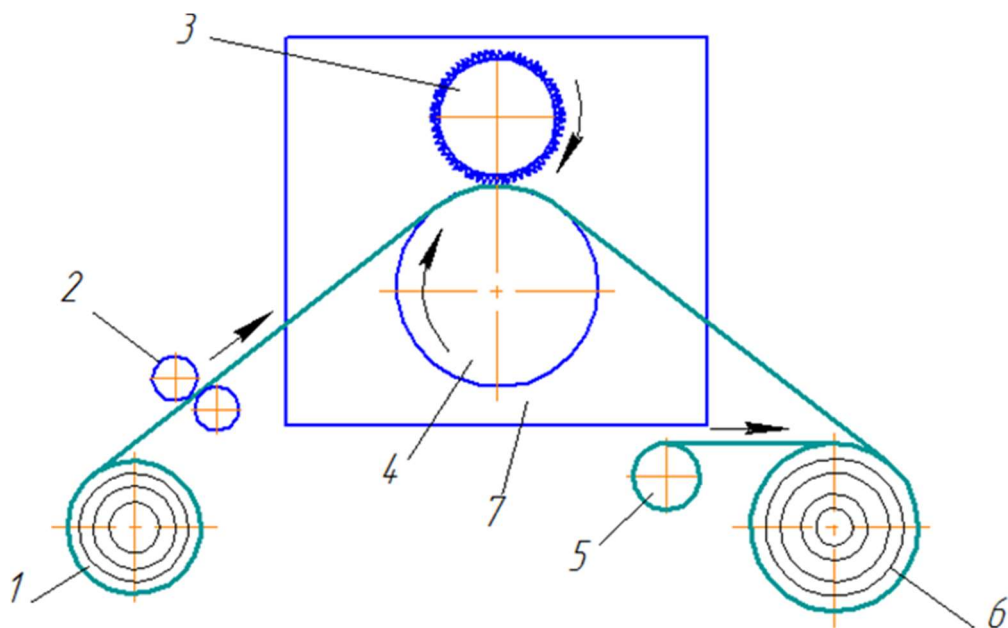


Рисунок 1.3 – Схема установки для одностороннього зачищення складових

шаруватих металів в рулоні: 1 - розмотувач з рулоном стрічки; 2 - пристрій, що задає; 3 - барабан з щітками; 4 – притискний барабан; 5 – розмотувач із захисним папером або плівкою; 6 - намотуючий барабан; 7 - бункер.

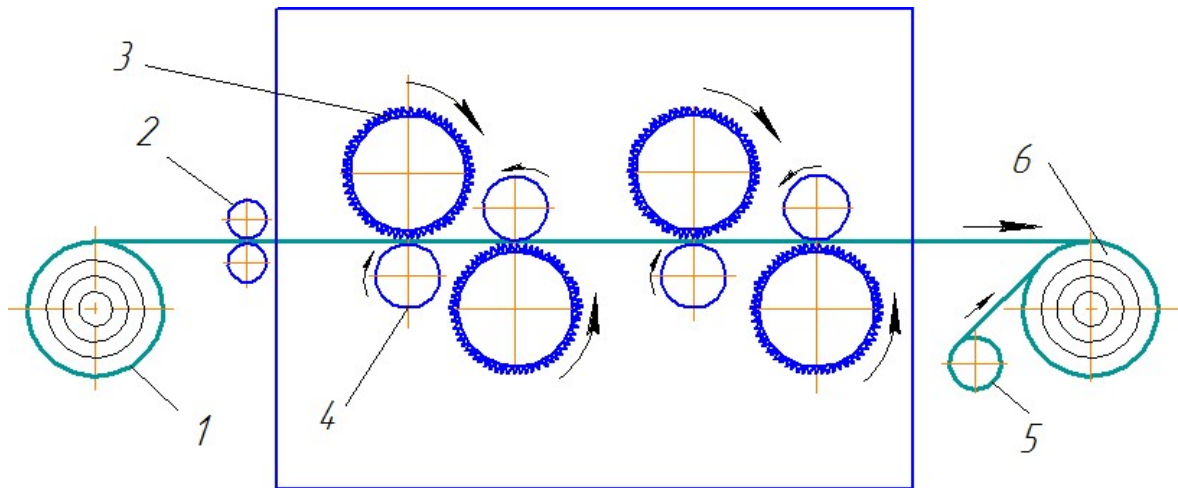


Рисунок 1.4 – Схема установки для двостороннього зачищення складових шаруватих металів в рулоні: 1 - розмотувач з рулоном стрічки; 2 - пристрій, що задає; 3 - барабан з щітками; 4 – притискний барабан; 5 – розмотувач із захисним папером або плівкою; 6 - намотуючий барабан; 7 - бункер.

Іноді підготовчі операції включають не тільки очищення контактних поверхонь, але і надання їм певної шорсткості поверхні.

Також для запобігання поверхонь від освіти дефектів при плакуванні можна, можливо вводити між поверхнею плакуючого шару і прокатним валком прокладку, наприклад, еластичну стрічку.

До підготовчих операцій слід віднести, нагрівання складових перед плакуванням. Дана операція дозволяє зменшити обтискання в плакувальному проході, а також покращує пластичні характеристики одного або кількох компонентів. Нагрів здійснюється електричним струмом, індукційним або контактним способом.

При плакуванні методом холодною прокатки можна, можливо отримати двошарову, тришарову і п'ятишарової штаби (рисунок 1.5).

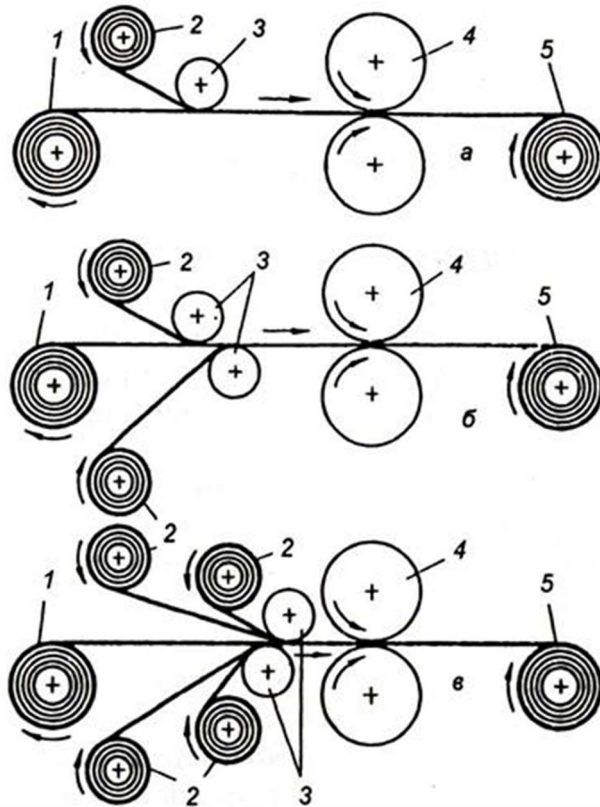


Рисунок 1.5 – Схема отримання двошарової, тришарової, п'ятишарової штаби: 1 - розмотувач з рулоном штаби основного шару; 2 - розмотувач з рулоном штаби плакуючого шару; 3 - напрямні ролики; 4 - робочі валки прокатного стану; 5 - моталка з багатошаровим рулоном штаби

Операцію плакування проводять за один прохід з великим обтисканням (50-80%). При спільній холодній прокатці у валках рівного діаметра, як правило, деформуються усі шари, але і бувають випадки, коли міцне з'єднання відбувається тільки при деформуванні м'якого шару (рисунок 1.6).

Нерівномірна деформація виникає особливо часто при прокатці несиметричних пакетів, тому що при деформації м'якшої складової композиції, виникає шаруватий підкат на виході з валків.

Для того що б усунути це небажане явище можна, можливо використовувати валки різного діаметра (рисунок 1.7) або поставити різну швидкість обертання валків.

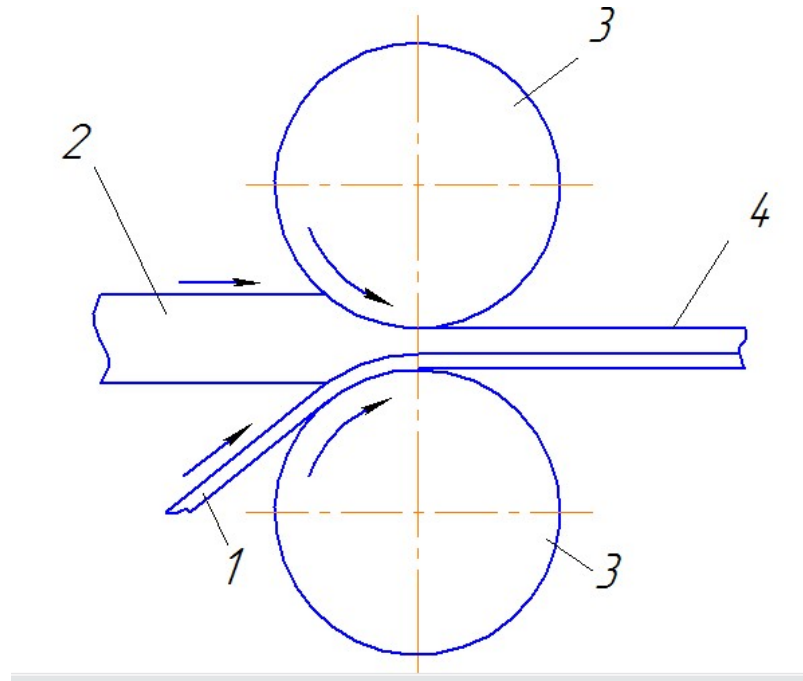


Рисунок 1.6 – Отримання біметалів при деформації складової біметалічної композиції: 1 - тверда; 2 - м'яка; 3 – прокатні валки; 4 - біметал

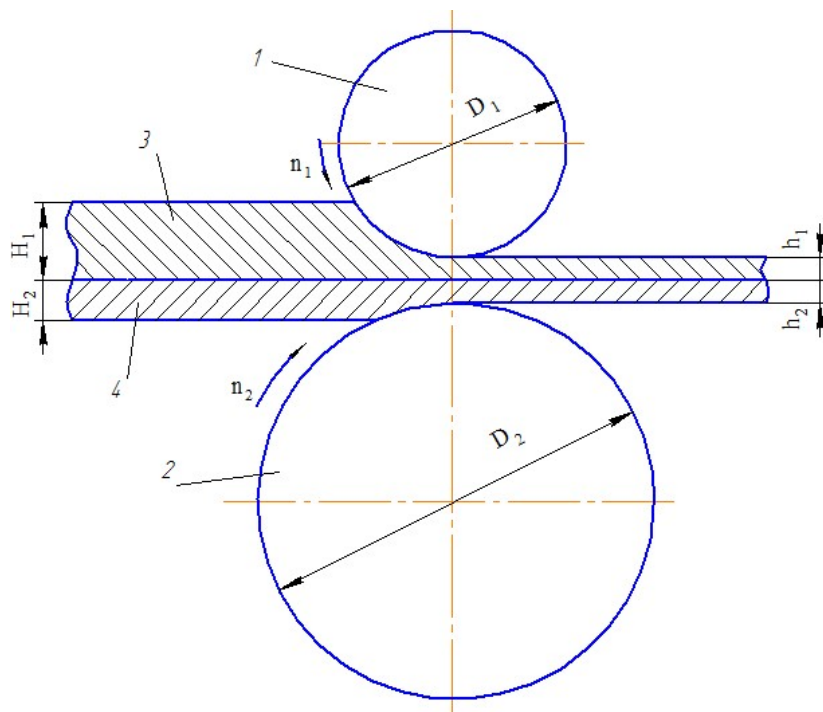


Рисунок 1.7– Отримання біметалів прокаткою у валках різного діаметру: 1 і 2 - робочі валки; 3 та 4 – шари композиції

Штаби з матеріалу з більш високим опором деформації необхідно розмістити з боку валка з меншим діаметром, що призведе до більше рівномірного розподілу деформації по висоті пакет.

Кутові швидкості валків підбирають з співвідношення, витікаючого з умови рівності секундних зміщених обсягів [3].

У процесі плакування в осередок деформації (між валком і поверхнею штаби), як правило, подається технологічне мастило, але його потрапляння на контактні поверхні неминуче веде до неприварювання. На верхню штабу проводиться краплинне подання мастила, а на нижню - при застосуванні зовнішнього валика, причому мастило наносять тільки на середню частину поверхні штаби. Застосовують також подачу мастила на валки з вихідній сторони табору.

Операція холодного плакування не дозволяють отримати штаб з високою міцністю з'єднання шарів, але цього достатньо для проведення подальших технологічних операцій (змотування, перемотування шаруватого підкату в рулон, транспортування і т.д.). Необхідна міцність з'єднання шарів досягається подальшими технологічними операціями, в зокрема, термічною обробкою. У деяких випадках можливо виняток термообробки після плакування. Тоді безпосередньо після плакування біметалеву заготовку прокочують на готовий розмір. Така схема значно скорочує виробничий цикл і підвищує технологічність технології.

Режим термічної обробки вирішальним чином впливає на якість одержуваної шаруватої композиції, особливо на з'єднання шарів. Термічна обробка найдовша операція у виробничому циклі отримання біметалічних смуг методом холодною прокатки. Тому правильний підбір режиму термообробки є одним із ключових факторів на шляху до створенню найбільш ефективною схеми отримання біметала в загалом.

Найбільш поширеними операціями, з термічної обробки, є дифузійний і рекристалізований відпал. Дифузійний відпал проводиться, як правило, після холодного плакування, для підвищення міцності зчеплення компонентів

біметалу. Рекристалізаційний відпал застосовують після остаточної холодною прокатки на заданий розмір.

Зазвичай відпал проводять в ковпакових печах, але в промислових умовах доцільно використовувати протяжні печі, тому що вони дозволяють використовувати більше високотемпературні та короткочасні нагрівання.

1.3 Технологічні особливості отримання біметалевих штаб системи «алюміній – мідь»

Виробництво біметалевих виробів, у яких в якості підложки виступає звичайна сталь вже достатньо вивчено та не представляє собою якоїсь складності. Ця технологія доступна для реалізації на прокатних станах. Значний інтерес з боку вдалого поєднання технологічних властивостей представлять собою біметалеві матеріали з алюмінієвою основою, які застосовуються в електротехнічній промисловості, з мідним покриттям, завтовшки 0,1-5 мм.

Дані біметалічні стрічки, листи і плити в залежності від необхідного сортаменту виробляють двома основними методами: картковою або рулонною прокаткою. Карткова прокатка застосовується для отримання листів завтовшки 1,5-25 мм; безпосереднє плакування алюмінію міддю при холодною прокатці в рулонах - для біметалу завтовшки 0,1-4 мм.

Біметалічну штабу товщиною до 4 мм (плаковану міддю з однієї сторони) отримують рулонним методом холодною прокаткою. Перед прокаткою штабу зачищають зі швидкістю 3-4 м/хв, пропускаючи через барабани, обладнані дротяними щітками. Прокатку здійснюють з обтисканням за один прохід 60-70%, середнє робоче напруження досягає 350-450 МПа. Термічну обробку стрічки виробляють у протяжних печах світлого відпалу в атмосфері водяної пари, поступово підвищуючи температуру від 625 до 825°С при часі проходження смуги 6,5-8 хв (швидкість відпалу підібрана такою, щоб залишкові напруги в міді знижувалися за рахунок протікання рекристалізації без освіти тендітного шару).

У ряді випадків характеристики міцності алюмінію (межа міцності) у 2 і більше разів менше порівняно із металом, що з'єднується. Наприклад, межа міцності відпаленого технічно чистого алюмінію 2 рази менше латуні та більше чим в 3 рази менше низьковуглецевої сталі.

У зв'язку з цим, при деформації пакетів, містять алюміній, виникає значна нерівномірність пошарових деформацій, що залежить від співвідношення товщин і міцності характеристик що з'єднуються металів. Крім того, відмінність в характеристиках міцності і товщинах сполучних металів, надає суттєве вплив на міцність зчеплення шарів. Так зазначається, що біметалічні смуги завтовшки 10-18 мм з тонким покриттям міді холодною прокаткою отримати не вдається, тому що навіть при обтисканні 70% не забезпечують необхідну робочу напругу, в контакт металів, що з'єднуються, необхідні для їх зварювання [3].

Прокатка листів алюміній-мідь з великий дробністю деформації небажана, так як наводить до значному зниженню міцності зчеплення шарів (рисунок 1.8).

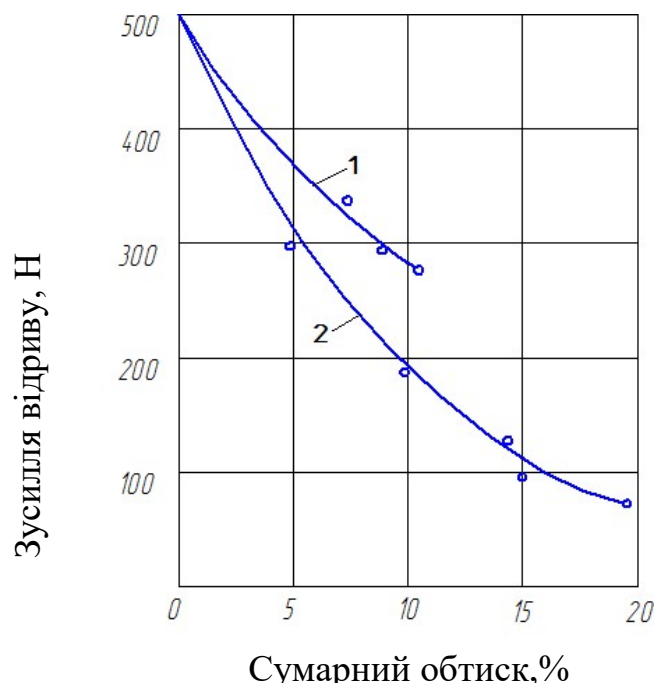


Рисунок 1. 8 – Вплив дробності деформації (обтискування за прохід 3-5%) на міцність зчеплення шарів при прокатці мідно-алюмінієвих шин:

1- товщина плити, 18 мм; 2 - товщина плити, 10 мм.

Близькі деформації алюмінію та міді виходять, якщо співвідношення

товщин алюмінію та міді не перевищує 0,5. При цьому зростання частки алюмінію викликає підвищення нерівномірності деформації пакета, та при відношенні товщин рівному 5,2 освіта з'єднання не відбувається.

У роботі [4] наведено результати дослідження розподілу деформації між шарами та контактних напружень при отриманні холодної прокаткою мідно-алюмінієвого композиту в залежності від параметра вогнища деформації l/H_{cp} , де l і H_{cp} - відповідно довжина і середня висота геометричного вогнища (рисунок 1.9).

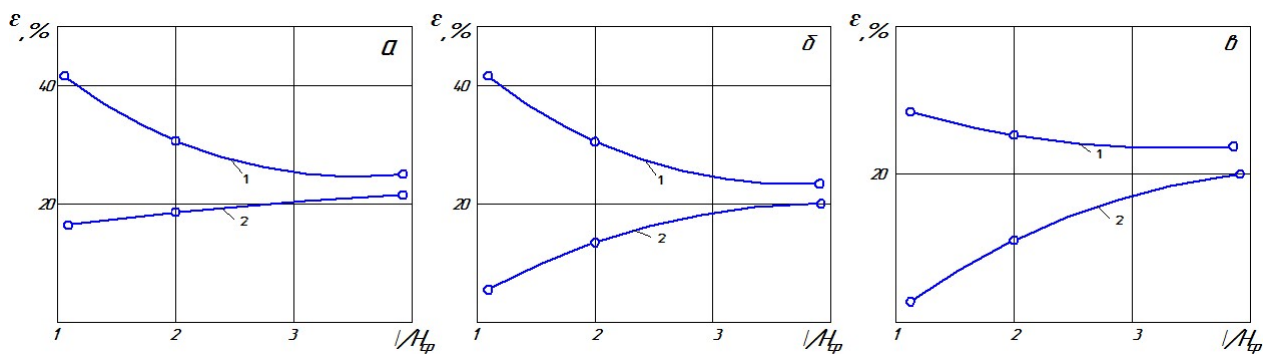


Рисунок 1.9 – Вплив $l/H_{порівн.}$ на розподіл деформації між шарами при прокатці мідно-алюмінієвий смуги, H_{Al}/H_{Cu} : 0,3 (а); 1 (б); 3 (в); 1- алюміній; 2 - мідь

Так як зусилля, що припадають на обидва шару, однакові, то більше деформується алюміній, що володіє великою межею плинності, особливо при малих l/H_{cp} . У міру збільшення параметра осередку деформації вплив сил тертя на зусилля прокатки зростає, причому більшою мірою для шару, відчуває великі деформації, в результаті різниця в деформації компонентів зменшується. При співвідношеннях $l/H_{cp}=4$ і $H_{Al}/H_{Cu}=0,33$ деформації міді майже дорівнює деформації алюмінію попри на суттєві відмінності в механічних властивостях компонентів. Це пояснюється зростанням впливу на тонкий шар алюмінію сил, що підпирають. При невеликих відносинах l/H_{cp} відмінності пошарових деформацій більше, оскільки вплив сил тертя зменшується. Збільшення співвідношення l/H_{cp} і зменшення H_{Al}/H_{Cu} наводить до зростання питомої тиску на прокатні валки (рисунок 1.10).

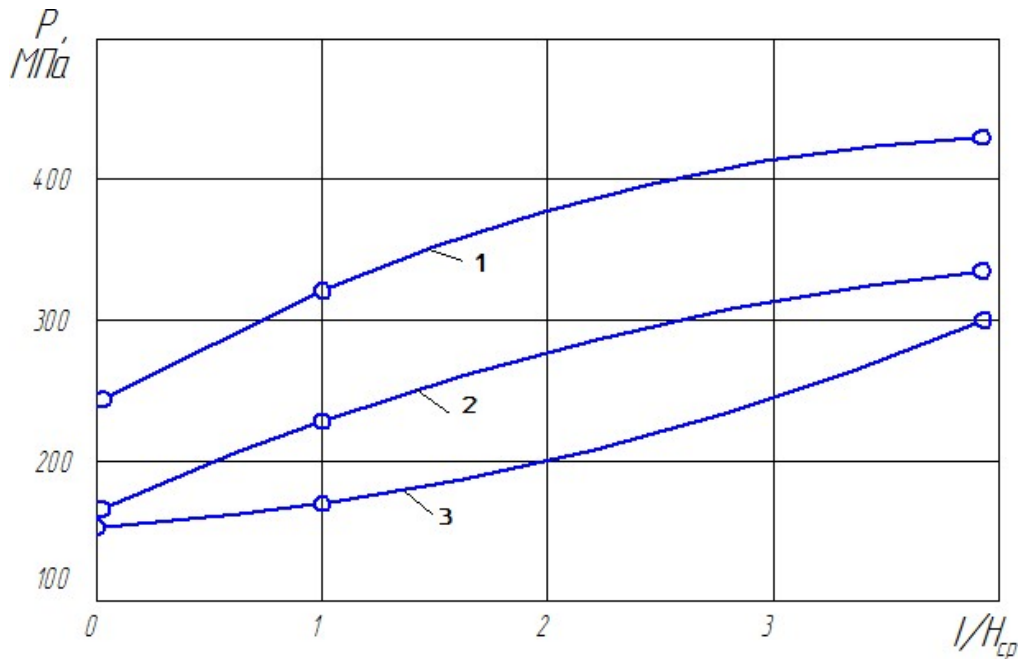


Рисунок 1.10 – Вплив фактору осередку деформації на тиск на валки, H_{Al}/H_{Cu} : 0,3 (1); 1 (2); 3 (3)

Таким чином, для отримання якісного міцного зварного з'єднання алюмінію з іншими металами, необхідно підбирати вихідні компоненти з найменшим ставленням товщин шарів і близькими механічними властивостями. Однак, во багатьох випадках ставлення товщин що з'єднуються металів визначається економічною доцільністю отримання та використанням біметалу.

Після процесу плакування потрібно виконання дифузійного відпалу для підвищення міцності зчеплення композиту і забезпечення необхідних пластичних властивостей.

Як правило, метали, що з'єднуються, мають різну температуру відпалу. Так, наприклад, для забезпечення процесу рекристалізації алюміній відпалюють при температурі 350 - 400°C, мідь і сплави на її основі при температурі 650-700°C. Разом з тим, температура плавлення алюмінію та міді. 640°C і 1100°C відповідно. Тому при призначенні температури відпалу доводиться орієнтуватися на температуру відпалу алюмінію, а для отримання

необхідних механічних властивостей композиту необхідно значно збільшувати час витримки для того, щоб пройшли процеси рекристалізації в більш міцному компоненті.

1.3 Пропозиції щодо поліпшення технології отримання біметалевих штаб системи «алюміній-мідь» на прокатному обладнанні на підґрунті патентного пошуку та відомих технічних рішень

Основною характеристикою, що визначальну якість отриманого біметалу, є надійне з'єднання шарів, але існують ряд проблем, з якими доводиться стикатися у процесі виготовлення біметалічної штаби.

Алюміній та мідь мають різну твердість та пластичні властивості, що завдає істотних труднощів при плакуванні. Практика показує, що використання як основи менш міцного металу в порівнянні з плакуючим металом приводить до неякісної обрізної кромки плакуючої стрічки, що також несприятливо позначиться на якості зварювання компонентів. Неякісне обрізання кромки плакуючої стрічки призводять до розтріскування крайок всієї композиції або її розриву.

Практика показує, що якісне обрізання кромки плакуючого шару залежить головним чином від товщини шарів вихідних компонентів і міцності Показників.

У дослідженні [5], метою якого було визначення товщини шарів, для якісної обрізки крайки плакуючого металу, використовувалися відпалені штаби з алюмінієвих сплавів А5 (50 МПа) та АМг2 (190 МПа) шириною 25 мм, та стрічки з латуні Л90 (186 МПа), нейзильберу МНЦ 15-20 (333 МПа) і сталі 08КП (411 МПа), товщина яких варіювалася в діапазоні 7- 55% від товщини алюмінієвих стрічок. Плакування проводили після відпалу та травлення заготовок.

Результати дослідження показали, що зі збільшенням міцності плакуючих стрічок по порівнянні з міцністю основи, обрізка крайок погіршується. Так,

наприклад, для композиції АМг2-Л90 ($\sigma_{вл}/\sigma_{вос} = 0,98$) критичне відношення товщин плакуючої стрічки та основи, при якій відсутня обрізка, спостерігалася щодо товщин 35%. Також була виведено регресійна формула для вибору граничного співвідношення товщини шарів.

$$H_{пл} / H_{ос} = 0,2235 (\sigma_{вл} / \sigma_{вос})^{-0,628} \quad (1.2)$$

Сильна схильність до утворення крихких і міцних інтерметалідних з'єднань, також є значною проблемою отримання біметалевих штаб алюміній-мідь високого якості.

Виникнення інтерметалевих з'єднань на межах зварених штаб, призводить до значного зниження міцності з'єднання та втрати пластичних властивостей композиту Дані структури є дуже крихкими і утворюються при проведення термічної обробки.

При відпалу композиту алюміній - мідь виникнення інтерметалідів у зварному з'єднанні залежить від температури відпалу та часу витримки. У роботі [6] проводився технологічний експеримент, метою якого було визначення кінетики зростання інтерметалідних фаз на межах розділу тришарового біметалу. За основу були взяті біметал: А6 – латунь Л90 – алюміній А6, який було отримано методом холодної прокатки. Початкова товщина алюмінієвий заготівлі становила 2-3,5 мм, а латунної-1,52 мм. Після зачистки контактних поверхонь заготівлі прокатали з обтисканням 60% за один прохід, після чого провели відпал. Температуру відпалу змінювали від 480 до 540 °С, час витримки- від 30 хвилин до 4 години. Після холодної прокатки, на межі розділу алюмінію з латунню, не було виявлено утворення нових фаз, але після проведення відпалу утворюється дифузійний шар, що складається з чотирьох інтерметалідних фаз, збагаченим цинком. Усе фази мали різну товщину і мікротвердість.

У роботі [6] було зазначено, що для надійного з'єднання біметалу на основі алюмінію та мідних сплавів, температура відпалу не повинна перевищувати

400°C. Алюміній і його сплави мають схильність до утворення оксидних плівок на поверхні, що конче несприятливо дається знаки на з'єднанні шарів при плакування. Зазвичай, після зачистки поверхні і видалення оксидних плівок, остання знову утворюється і досягає максимальною товщини, вже після одного години перебування на повітря.

Товщина окисний плівки алюмінію в залежності від часу перебування наведена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Товщина окисної плівки алюмінію залежно від часу перебування

	1 хв	1 година	1 день
Товщина окисний плівки на алюмінію, А	20	80	100

На процеси захоплення металевих поверхонь в ході виготовлення біметалу впливає безліч факторів: від природи матеріалу і деформації (виду, її ступеня, швидкості) до режиму процесу відпалу (швидкість і температура нагріву, тривалість витримки, швидкість охолодження).

Значна різниця температур рекристалізації і, відповідно, температур відпалу, призводить до утворення дефектів на поверхні металу типу бульбашок діаметром до 1-2 мм (рисунок 1.11).



Рисунки 1.11 - Бульбашки на поверхні біметалу

У роботі [7] проводилося дослідження, метою якого було визначення режиму термообробки, для якісного зчеплення шарів- алюмінію АМг2 і латуні Л90.

Результати дослідження показали, що в зоні витримки 550 °С впродовж більше 180 секунд, на поверхні штаби утворюються бульбашки, а плакуючий шар легко відокремлюється вручну, причому на поверхні пакету, після відділення, присутні білі плями, збігаються по формі з бульбашками (рисунок 1.12) [7].



Рисунок 1.12 – Будова поверхні після відділення біметалу «алюміній-латунь»

Таким чином, утворення бульбашок на поверхні біметалічного пакета після відпалу при 550⁰ з охолодженням на повітрі проходило шляхом крихкого відриву пластини плакуючої латуні в частині дифузійного шару, що примикає до ній. Було виявлено, що для запобігання появи бульбашок на поверхні смуги, слід знизити температуру відпалу до 500°С, а тривалість повинна змінюватися від 80 до 360 секунд. Причому товщина перехідний зоною після відпал значно зменшується, і її товщина зазвичай варіюється від 15 до 38 мкм.

1.4 Обґрунтування обраного напрямку роботи

Як видно з проведеного літературного огляду, проблема розробки технології отримання біметалевих штаб на основі алюмінію та міді пов'язана з рядом труднощів, основними з яких є:

1. Більше чим в 2 рази відмінність в механічних властивостях матеріалів, що приводить до значної нерівномірності деформації шарів;
2. Сильна схильність до утворення крихких та міцних інтерметалідних з'єднань, в здебільшого при термообробки;
3. Значна схильність алюмінію до утворення окисних плівок.
4. Значна різниця температур рекристалізації та, відповідно, температур відпалу.

Жодне з розглянутих технічних рішень в повному обсязі не розв'язують задачі, що ставляться сучасними умовами виробництва та постійно зростаючою конкуренцією. Першорядне значення у такому разі мають знання дійсних процесів, що виникають в елементах устаткування, питання вибору раціонального технологічного режиму, що забезпечують високу точність листа, максимальну продуктивність і довговічність устаткування. Тому наукове обґрунтування раціональних технологічних параметрів та параметрів машин для виробництва біметалевого прокату являє собою значну наукову проблему, що має важливе значення для країни.

Зважаючи на вищерозглянуте обґрунтування метою роботи є дослідження розширення технологічних можливостей прокатного обладнання за рахунок розробки технології прокатки біметалевих матеріалів.

Для досягнення мети ми задаємо собі такі цілі:

1. Провести аналіз стану питання, визначити основні проблеми, пов'язані з формуванням міцного з'єднання при плакуванні металів.
2. Розробити технологію отримання біметалевих штаб шляхом прокатування мідь-алюміній товщиною 2 мм, відношенням шарів 1:2 .

3. Провести лабораторне відпрацювання запропонованої технології.
4. Відмаштабувати запропоновану технологію до умов реального виробництва.

Передбачається, що лабораторний прокатний стан у дослідженнях буде моделлю, стан кварто 1680 натурою. Коефіцієнт між моделлю і натурою дорівнює ($D_{\text{мод}} / D_{\text{нат}}$) 0,196. Цей геометричний коефіцієнт подоби буде в надалі використовуватися при розробці вихідних компонентів біметалу для умов ПАТ «Запоріжсталь», де саме встановлене дане обладнання.

2. РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІМЕТАЛЕВИХ ШТАБ

Прототипом для отримання біметалевих штаб в умовах реального виробництво обрано реверсивний стан холодної прокатки 1680, встановлений в ЦХП1 на ПАТ «Запоріжсталь».

2.1 Технічна характеристика основного устаткування реверсивного стану холодної прокатки "1680"

До складу реверсивного стану холодної прокатки "1680" входить кліть "кварто" і обслуговуюче її устаткування: роликовий похилий конвеєр, що підводить, поворотний стіл, скидач рулонів, розмотувач, роликова прес-проводка, дві моталки барабанного типу і знімач рулонів.

Робочі валки приводяться в рух від електродвигуна, характеристика якого приведена в таблиці № 2.1. Привід здійснюється через комбінований із шестеренної кліттю редуктор з передаточним числом 3,21, універсальне шпindelне з'єднання.

Швидкість прокатки на стані холодної прокатки "1680": заправна - до 0,5 м/с, мінімальна робоча - до 4,74 м/с.

Стан представлений на рис. 2.1.

Робоча кліть

Основною несущою частиною робочої кліті реверсивного стану холодної прокатки "1680" є станина, що являє собою дві масивні плити, прикріплені до фундаменту анкерними болтами. У станинах змонтовані подушки з підшипниками і валками, а також пристрій для переміщення верхнього валка по висоті і його фіксації, що направляють прес – проводки.

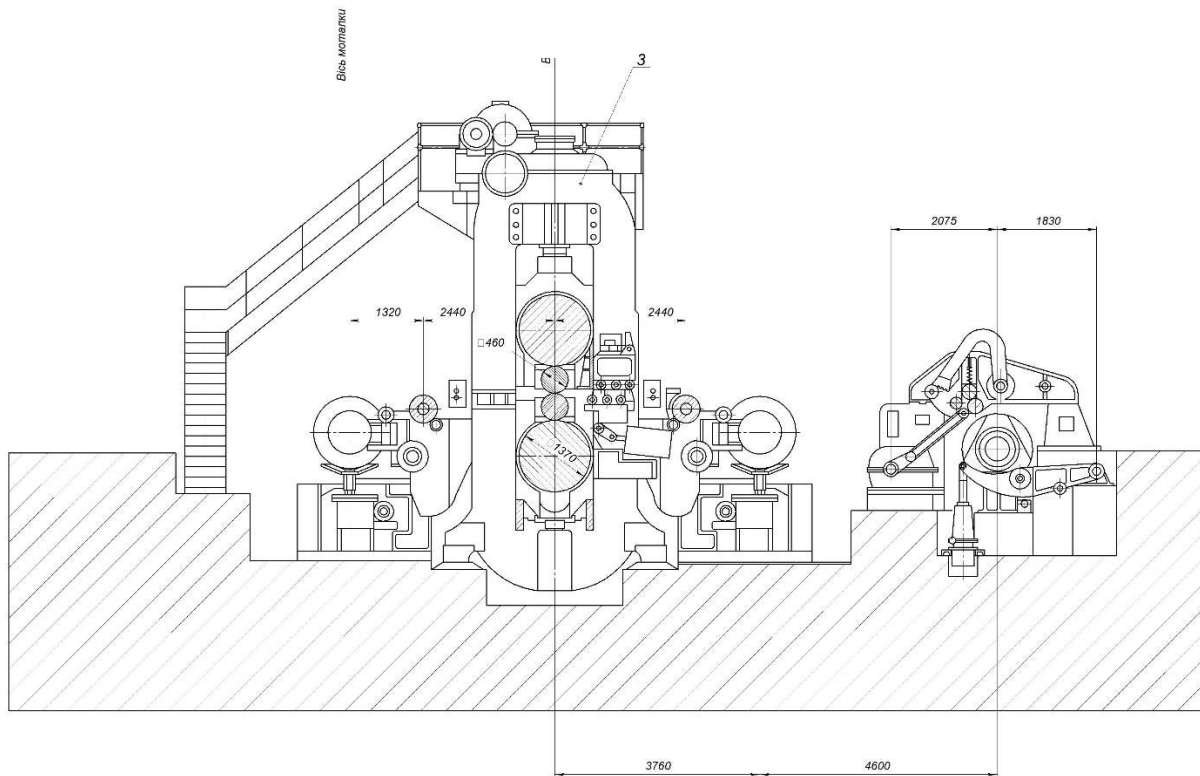


Рисунок 2.1 - Реверсивний стан холодної прокатки 1680

Таблиця № 2.1 Характеристика електродвигуна приводу робочих валків

Потужність, кВт	Обороти двигуна, об/хв	Номінальне навантаження, А
1650	300/600	3000

Механізм натискних гвинтів

Механізм натискних гвинтів кліті приводиться в рух від двох електродвигунів потужністю 45 кВт, 775 об/хв, через два редуктори з передаточним числом 1100:1. Швидкість переміщення натискних гвинтів - 9,96 мм/хв. Електродвигуни натискного пристрою з'єднані електромагнітною муфтою для забезпечення спільної і роздільної роботи натискних гвинтів.

Прокатні валки

Робочі валки – цільноковані з загартованою поверхнею бочки, опорні - з насадними бандажами.

Матеріал валків: робочих - сталь 9Х2МФ, 60Х2СМФ; опорних - бочки 9ХФ, серцевина - 40ХН2МА.

Твердість поверхні валків по Шору (ДСТУ 3541-79): робочих (бочка) - від 90 до 102 од.; опорних (бочка) - від 60 до 85 ед. Робочі валки змонтовані на роликівих підшипниках, опорні встановлені на підшипниках рідинного тертя (ПРТ = 900мм). Тривалість роботи опорних валків без перешліфовки не більш 2 тижнів. Після вивалки опорні валки піддаються обдиранню до повного зняття наклепаного шару. Поверхні бочок робочих валків шліфовані по 7-8 класам (ДСТУ 2789 - 73). Валки шліфуються навкруги 25 марки 14А25НСМ 1-2.

Вимір шорсткості поверхні валків виробляється переносним профілометром марки "Суртроник".

Опуклість робочого валка після шліфування виміряється спеціальним приладом - пассометром (тип приладу ІУ-02, ІУ-05, ІУ-10, точність виміру складає 0,01мм) у двох взаємно - перпендикулярних площинах через 100мм по довжині бочки валка. Припустимі відхилення від заданої величини опуклості не більш 0,01мм. Аналогічно контролюється і профіль опорного валка.

На валках, завалених у кліть після їхнього профілювання, необхідно для забезпечення необхідного профілю смуги (листа) починати прокатку з більш широких смуг з поступовим переходом на більш вузькі. Прокатка широких штаб після вузьких не допускається.

Коротка технічна характеристика валків приведена в таблиці № 2.2

Таблиця № 2.2 Характеристика робочих і опорних валків

Найменування валка	Розміри, мм				Вага, кг
	Бочки		Шийка		
	Діаметр	Довжина	Діаметр	Довжина	
Робочі	510/470	1680	260	250	3,32
Опорні	1420/1370	1760	890/734 (конус)	780	31,65

Поворотний пристрій

Поворотний пристрій призначений для прийому рулонів з роликового похилого конвеєра, що підводить, повороту його навколо вертикальної осі на 180° і подачі на скидач рулонів.

Скидач рулонів

Скидач рулонів призначений для прийому рулонів поворотного пристрою, правильної установки його щодо подовжньої осі розмотувача, скидання рулону в колиску розмотувача. Скидач складається з коліски рольганга і пристрою, що переміщається.

Ємність рулонів, шт	1
Ухил роликів рольганга, град.	
при прийомі рулону	3
при скиданні рулону	0
Кут повороту коліски при скиданні, град	23
Тиск стиснутого повітря, кПа	506
Швидкість переміщення упору, мм/с	13,4

Розмотувач

Розмотувач призначений для правильної установки рулону щодо подовжньої осі стану, повороту рулону в положення, що забезпечує можливість захоплення зовнішнього кінця смуги відгіначем, відгинання кінця смуги і завдання його в прес - проводку. Розмотувач складається з коліски, центровача, електромагнітного відгинача, опорних роликів.

Швидкість підйому й опускання коліски, мм/с	20
Швидкість переміщення кареток центровача, мм/с	84
Відстань між голівками конусів, мм:	
мінімальне	280
максимальне	1680

Найбільше зусилля затиску конусами центровача, кН	100
Переміщення кареток від електродвигуна:	
потужність, кВт	30
частота обертання, об/хв	750
Піднімальна сила електромагніта, кН	20
Найбільший кут повороту важелів, град	62
Час опускання (підйому) важелів:	
при мінімальному діаметрі рулонів, с	2,5
Діаметр ролика, що тягне, мм	305
Окружна швидкість ролика, що тягне, м/с	0,5

Роликова прес - проводка

Призначена для створення натягу смуги перед кліттю в процесі прокатки. Роликова прес-проводка складається з верхньої і нижньої рам, вузла роликів діаметром 180мм і спрямовуючого пристрою.

Переміщення верхнього столу прес- проводки у вертикальній площинності здійснюється від пневмоциліндру діаметром 400мм.

Моталка барабанного типу

Моталки барабанного типу (2 шт.) установлені з передньої і задньої сторін кліті і призначені для змотування штаби і створення натягу штаби при прокатці

Діаметр барабана в розціпленому стані, мм	760
Довжина барабана, мм	1790
Діаметр барабана, мм	200
Натяг смуги створюване моталкою, т	18
Привід кожної моталки від електродвигуна потужністю, л. с	600
Число оборотів барабана моталки, об/хв:	
мінімальне	28,5

максимальне

104,37

Знімач рулонів

Знімач рулонів призначений для зняття рулону з барабана моталки і подачі його на відповідний конвеєр видачі рулонів. Знімач рулонів складається з візка, з рухливою вилкою, колиски горизонтального циліндра і рухливого настилу.

Максимальна маса рулону, т	15
Максимальний зовнішній діаметр рулону, мм	1600
Швидкість переміщення візка, м/с	0,25
Швидкість підйому колиски, м/с	0,1
Швидкість кантування рулону, м/с	0,1
Тиск у гідросистемі знімача, МПа	0,32
Механізм перевалки опорних валків	

Механізм перевалки опорних валків призначений для комплекту опорних валків з подушками.

Маса валків з подушками, т	106,6
Маса частин каретки, що переміщуються, т	5,56
Розрахункове зусилля, що тягне, кг	16880
Швидкість руху каретки, м/хв	2
Хід каретки, мм	4600
Передаточне число редуктора	253
Електродвигун:	
Потужність, кВт	11
Частота обертання, хв^{-1}	685

2.2 Розрахунок основних кінематичних і силові параметрів головної лінії стану 1680

Частота обертання робочих валків:

$$n_p = \frac{60 \cdot v}{\pi D_p} = \frac{60 \cdot (1,6 \cdot 2,2)}{3,14 \cdot 0,6} = 51 \dots 68 \text{ хв}^{-1}$$

Передавальне число приводу

$$U = \frac{n}{n_p} = \frac{270 \dots 500}{51 \dots 68} = 5,29 \dots 7,35$$

За каталогом вибираємо редуктор циліндричний одноступінчатий спеціальний з шевронною передачею Ц1Ш – 2568. Загальне передаточне число $u = 7,23$;

Характеристика зубчатого зачеплення редуктора:

Число зубців шестерні	– $z_1 = 26$
Число зубців колеса	– $z_2 = 188$
Ширина колеса	– $B = 1400$ мм

Частота обертання і кутова швидкість вхідного валу силового редуктора

$$n_1 = n_{\text{ов}} = 270 \dots 500 \text{ об./ хв.}$$

$$\omega_1 = \frac{n}{9,55} = \frac{270 \dots 500}{9,55} = 28,3 \dots 52,4 \text{ рад/ с}$$

Частота обертання шпинделів робочих валків і кутова швидкість:

$$n_p = 48 \text{ хв}^{-1}$$

$$\omega_p = \frac{n_p}{9,55} = \frac{48}{9,55} 5 \text{ рад} / \text{с}$$

Крутний момент на валу електродвигуна:

$$M_1 = \frac{P}{\omega_1} \eta_m,$$

де: η_m – ККД муфти, $\eta_m = 0,9$, [3, ст. 314];

$$M_1 = \frac{7000}{28,3 \dots 52,4} \cdot 0,9 = 120 \dots 222,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Частота обертання, кутова швидкість вихідного валу редуктора та крутний момент, що передається цим валом.

$$n_2 = \frac{n_1}{U_p} = \frac{270 \dots 500}{7,23} = 37,3 \dots 69 \text{ об} / \text{хв}$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{U_p} = \frac{28,3 \dots 52,4}{7,23} = 3,9 \dots 7,24 \text{ рад} / \text{с}$$

$$M_2 = M_1 \cdot U_p \cdot \eta_p,$$

де: η_p – ККД редуктора з урахуванням коефіцієнту, що враховує втрати у підшипниках кочення, $\eta_p = 0,96$.

$$M_2 = (120 \dots 222,6) \cdot 7,23 \cdot 0,96 = 834,3 \dots 1545 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

Частота обертання, кутова швидкість та крутний момент вхідного валу шестеренної кліті:

$$n_{ш} = n_2 = 37,3 \div 69 \text{ об/хв.};$$

$$\omega_{ш} = \frac{n}{9,55} = \frac{37,3 \dots 69}{9,55} = 3,9 \dots 7,23 \text{ рад/с};$$

$$M_{ш.к.} = M_2 \cdot \eta_m,$$

де: η_m – ККД муфти, $\eta_m = 0,87$, [1, ст. 314];

$$M_{шк} = (834,3 \dots 1545) \cdot 0,87 = 725,8 \dots 1344,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Частота обертання, кутова швидкість та крутний момент, що передається робочим валкам:

$$n_p = n_{ш} = 37,3 \dots 69 \text{ об/хв}$$

$$\omega_p = \omega_{ш} = 3,9 \div 7,23 \text{ рад/с};$$

$$M_p = \frac{M_{шк}}{\eta_{шк} \cdot \eta_{шп}},$$

де: $\eta_{ш.к.}$ – ККД шестеренної кліти з урахуванням коефіцієнту, що враховує втрати у підшипниках кочення;

$\eta_{шп.}$ – ККД універсальних шпинделів [2, ст. 83];

$$\eta_{ш.к.} = 0,93, \quad \eta_{шп.} = 0,99, \quad ;$$

$$M_p = \frac{725,8 \dots 1344,2}{0,93 \cdot 0,99} = 788 \dots 1460 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

2.3 Розрахунок універсального шпинделя на міцність

Вихідні дані:

Максимальний обертовий момент на один шпиндель $M_{об} = 730 \text{ кН} \cdot \text{м}$

Максимальний кут нахилу шпинделя $\alpha = 3^\circ$

Діаметр головки шпинделя $D = 580 \text{ мм}$

Діаметр тіла шпинделя	$d = 320\text{мм}$
Діаметр наскрізного отвору в тілі	$d_1 = 70\text{мм}$
Довжина шпинделя по осям шарнірів	$l = 2200\text{мм}$
Матеріал шпинделя	Сталь 34ХНЗМА
Термічна обробка	гартування
Межа міцності	$\sigma_s = 900\text{МПа}$
Межа текучості	$\sigma_m = 600\text{МПа}$
Ширина розточки під шарнір	$c = 100\text{мм}$
Модуль пружності	$E_{np} = 2,12 \cdot 10^3 \text{ МПа}$
Коефіцієнт Пуассона	$\mu = 0,3$

Так як конструкція шпинделя складається з двох частин (головки та тіла), тому розрахунок шпинделя на міцність будемо робити окремо для кожної частини.

При геометричному побудуванні рівновеликої трапеції знаходимо: $b=580$ мм, $b_1 = 350$ мм, $b_2 = 100$ мм, $h = 200$ мм.

1. Визначаємо центр тяжіння трапеції:

$$Y_c = \frac{h}{2} \cdot \frac{b_1 + \frac{2}{3}b_2}{b_1 + b_2};$$

$$Y_c = \frac{200}{2} \cdot \frac{350 + \frac{2}{3} \cdot 100}{350 + 100} = 129,6\text{мм};$$

Графічно знаходимо плече a сили P відносно центру тяжіння (нейтральне волокно): $a = 150$ мм

2. Визначаємо згинаючий момент:

$$M_{зг} = P \cdot a, [8, \text{ ст. 201}];$$

$$M_{зг} = 2380,9 \cdot 0,15 = 357 \text{ кНм};$$

3. Визначаємо момент опору згину:

$$W_{зг} = \frac{3 \cdot 350^2 + 6 \cdot 350 \cdot 100 + 100^2}{6 \cdot (3 \cdot 350 + 4 \cdot 100)} \cdot 200^2 = 275 \cdot 10^4 \text{ мм}^3;$$

4. Визначаємо напруження згину в перетині щоки:

$$\sigma_{зг} = \frac{357 \cdot 10^6}{275 \cdot 10^4} = 130 \text{ МПа};$$

5. Визначаємо плече прикладання рівнодіючої сили Р:

$$f = 0,35 \cdot 580 = 203 \text{ мм};$$

6. Визначаємо момент який діє на одну щоку шпинделя в перетині А-А:

$$M = 2380,9 \cdot 9 \cdot 0,203 = 483,3 \text{ кНм};$$

7. Визначаємо момент опору обертанню:

Трапецію замінюємо на рівновеликий прямокутник з висотою h та шириною $b_1 + b_2$;

При $(b_1 + b_2) / h = (350 + 100) / 200 = 2,25$. Приймаємо $\chi = 0,245$.

$$W_{об} = 0,245 \cdot (350 + 100) \cdot 200^2 = 441 \cdot 10^4 \text{ мм}^3;$$

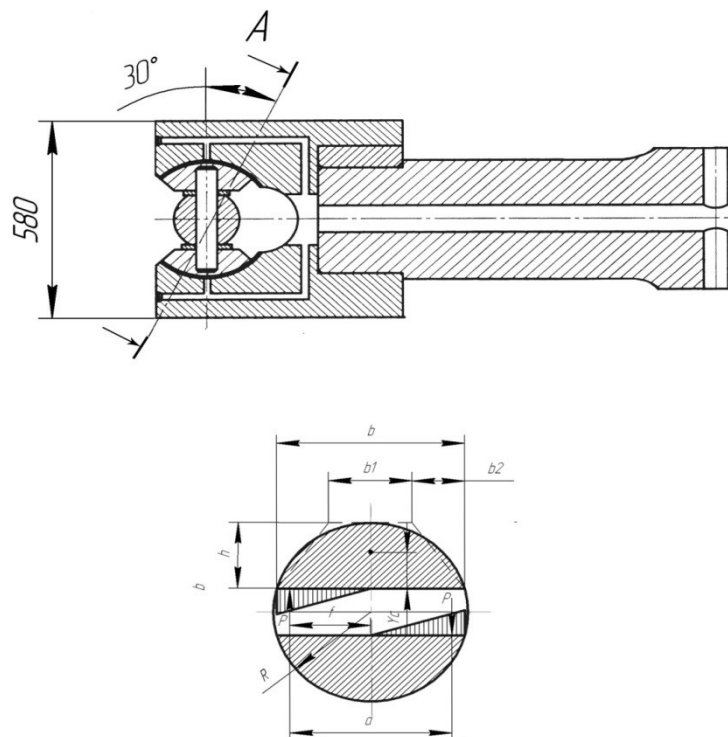


Рисунок 2.2 - Схема розрахунку шпинделя на міцність

8. Визначаємо напруження обертання в перетині А–А:

$$\tau_{об} = \frac{483,3 \cdot 10^6}{441 \cdot 10^4} = 110 \text{ МПа};$$

Результуюче напруження розраховуємо для перетину А–А, як для найбільш небезпечного:

$$\sigma_{рез} = \sqrt{\sigma_{зг}^2 + 3\tau_{об}^2};$$

$$\sigma_{рез} = \sqrt{130^2 + 3 \cdot 110^2} = 210 \text{ МПа};$$

9. Запас міцності:

$$n = \sigma_B / \sigma_{рез} \geq [n]$$

$$n = \frac{900}{210} = 4,2$$

де: $[n]$ - допустимий запас міцності [2, ст. 188], $[n]=4\div 5$;

$$n > [n] = 4,2 > 4$$

Висновок: міцність головки шпинделя забезпечена.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПРОКАТНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІМЕТАЛЕВИХ ШТАБ

3.1 Розробка технології прокатки в лабораторних умовах

Для подальшого відмаштабування технології і отримання всіх необхідних параметрів, які будуть використовуватись для розробки проектної технології, необхідно провести дослідження з отримання біметалічної штаби мідь-алюміній в лабораторних умовах кафедри металургійного обладнання та обробки металів тиском.

У лабораторії кафедри встановлено трьохкільтьовий прокатний стан прокатний стан, характеристика якого наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічна характеристика стану ДУО 100

Тип стана	ДУО
Діаметр валків, мм	100
Матеріал валків	Сталь
Кількість обертів валків, об/хв	60
Потужність двигуна, кВт	1.5
Передатне число редуктора	23,6

Для прокатки на лабораторному стані були підготовлені мідні та алюмінієві смуги, марок М1 та АД1 відповідно. Було виготовлено кілька пакетів, шириною 25 мм. Сумарна товщина заготівлі становила 2,4 мм, з яких 0,8 мм – товщина міді, а 1,6 мм – товщина алюмінію. Довжина пакетів рівнялася 100 мм. (рис.3.1).



Рис 3.1 Дослідні зразки



Рисунок 3.1 – Дослідні зразки (Продовження)

Для отримання надійного з'єднання при плакуванні смуг необхідно підготувати вихідні зразки до зварювання.

Спочатку в зразках були виконані отвори діаметром 3 мм.

Схема зразків наведено на малюнку 3.2.

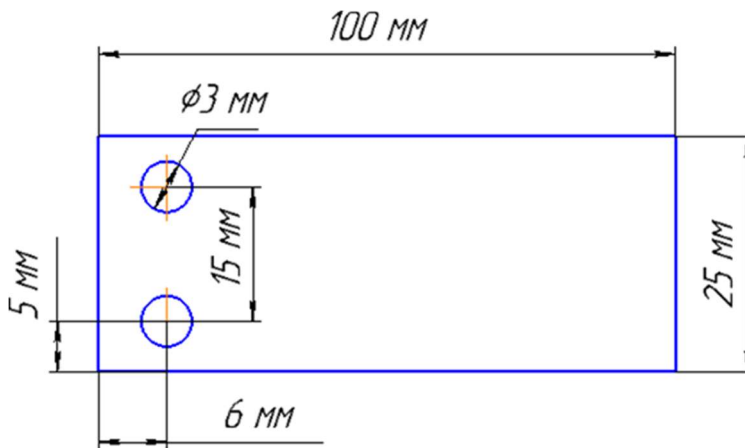


Рисунок 3.2 - Схема зразків

Далі поверхня заготовок зазнала чистки від старих мастил та інших жирових забруднень, оскільки такі сліди не сприяють надійному зчепленню шарів. Видалення жирів і масел з поверхні було зроблено з використанням ацетону.

Після знежирення проводилося зачищення заготовок, щоб отримати ювенільну поверхню. Зачистка смуг (одностороння) проводилася за допомогою абразивних кругів і щітки.

Після зачистки зварювані поверхні шарів з'єднувалися кліпкою алюмінієвий дротом діаметром 3 мм.

Після всіх цих операцій зразки готові до зварюванні (плакування).

Згідно з геометричним коефіцієнтом подібності лабораторного стану та стану 1680» (0,196), кінцева товщина біметала для лабораторних досліджень повинна складати 0,4 мм.

$$H_{\text{нат}} * 0,196 = H_{\text{мод}} , \quad (3.1)$$

де $H_{\text{нат}} = 2 \text{ мм}$ - товщина заготівлі в умовах ПАТ «Запоріжсталь»

Процес прокатки на лабораторному стані показаний на рисунку 3.2.



1.1.

Рисунок 3.2 – Прокатка біметалевої штаби на лабораторному прокатному стані

Для отримання біметалу алюміній – мідь у лабораторних умовах була обрано наступну базова схема деформації:

2,4→0,98→0,6→0,4 мм.

Деформація штаби у першому проході з товщини 2,4 мм до товщини 0,98 мм визначено з умови зварювання (плакування) вихідних компонентів.

Ступінь деформації при зварюванні повинна складати 55-60%.

Після першого проходу та зварювання компонентів проводиться відпал біметалу в камерної печі .

Зразки нагрівалися в печі, в повітряної середовищі, до температури 400 °С, проводилася витримка протягом 40 хв. Потім зразки охолоджувалися на повітрі.

Так як у процесі термообробки зразки окислялися, проводилося їх травлення в розчині сірчаної кислоти (18% H₂SO₄, решта - вода) при температурі розчину 60 °С. Після травлення зразки промивали в воді.

Після операції зварювання компонентів і термообробки проводилося випробування зразків на міцність стискування шляхом вигину з розгином, тобто. вигин зразків на 90° з наступним випрямленням [8].

Деформація біметалу після термообробки у два проходи визначено за умови забезпечення виробничої прокатки та необхідністю видачі прокатаного металу на бік ножиць для обрізання кінців штаби. У другому проході рівень деформації становить 38,7%, у третьому – 33,3%. Після прокатки біметалу до кінцевої товщини (0,4 мм) проводиться відпал зразків та їх травлення.

Перед відпалом і після нього, оцінювали міцність зразків випробуванням методу вигину з розгином.

Результати проведених досліджень показали наступне:

1. Процес плакування у першому проході здійснюється стабільно. Захоплення металу валками проходить надійно, без пробуксування валків (прокатка проводилася без мастила, на сухих валках).

Пошарова деформація біметалу однакова. Це підтверджується тим, що довжини міді та алюмінію після прокатки рівні. Якби пошарова деформація компонентів була різною, то й довжина їх після прокатки була б різна.

Випробування зразків на міцність зчеплення після відпалу підтвердили відомі положення [6] про зниження міцності зчеплення сплавів міді та алюмінію після термообробки.

При одноразовому вигині – розгині, у місці вигину з'являлося відшарування міді від алюмінію шириною до 4 – 5 мм, що говорить про недостатню міцності зчеплення шарів. Причому відшарування міді від алюмінію виникає при вигині біметалу на бік міді. При вигині біметалу на бік алюмінію відшарування міді не спостерігалось.

2. Прокатка відпаленого біметалу алюміній – мідь із товщини 0,98 мм до товщини 0,6 мм не викликало труднощів. Деформація шарів за оцінкою їх довжини до та після прокатки однакові. При прокатці не спостерігалось розшарування біметалу. Прокатка проводилася зі змащенням зразків машинним олією. У товщині 0,4 мм з'являються тріщини по кромках біметалу, що каже о його значному зниженні міцності.

При випробуванні біметала на вигин з розгином після прокатки зразки руйнувалися у місці вигину. При цьому відшарування міді від алюмінію не спостерігалось.

При випробуванні зразків після термообробки на вигин з розгином суттєво збільшується міцність біметалу. До руйнування зразків за алюмінію біметал витримує 5 - 7 перегинів, як на бік алюмінію, так і на бік міді. При цьому, при вигині на бік алюмінію, відшарування міді або взагалі відсутня, або сягає величини 1 - 2 мм. При згинанні біметалу на бік міді виникає відшарування в місці вигину до 5 мм.

Відшарування міді від алюмінію видно на зразках візуально, у вигляді горбків (виступів) міді.

Таким чином, відпал у товщині 0,4 мм суттєво підвищує пластичність біметалу, але при цьому знижує міцність зчеплення шарів.

Результати дослідної технології дозволяють відмаштабувати запропоновану технологію для впровадження у виробництво для отримання біметалічної штаби алюміній-мідь для умов ПАТ "Запоріжсталь".

3.2 Проектна технологія для ПАТ «Запоріжсталь»

На підставі дослідних даних, отриманих у лабораторних умовах кафедри пропонується наступна проектна технологія.

Для отримання біметалічної штаби алюміній-мідь використовуються відпалені листи наступних марок: мідь - М1, алюміній - АД1. При цьому, згідно з геометричними коефіцієнтами подібності, товщини пакета у вихідному стані рівні 12,2 мм. Рекомендується використовувати пакет завтовшки 12 мм.

При цьому, товщина мідного шару згідно виразу $H_{\Sigma} = H_{Cu} + H_{Al}$, при умови, що $H_{Al} = 2H_{Cu}$, тобто товщина міді складе 4 мм, а товщина алюмінію, відповідно, 8 мм. У кінцевому результаті необхідно отримати біметалеву штабу наступних геометричних параметрів:

Ширина штаби 130 мм;

Довжина штаби – 1000 мм;

Товщина штаби – 2мм.

Технологія отримання біметалічних штаби буде здійснюватися на обладнанні діючого підприємства. Послідовність технологічних операцій буде наступна:

1. Процес отримання біметалічної пластини мідь-алюміній починається з підготовки вихідних матеріалів до плакування. У нього входять наступні операції:

-виконання отворів в мідній і алюмінієвій шпальтах для їх наступного з'єднання;

- очищення штаб від мастил, а також інших забруднень. Для видалення жирів і олій доцільно використовувати ацетон або інші ефективні розчинники.

- зачистка сторін, які будуть в надалі з'єднані, повинна проводитися за допомогою металевих щіток.

1. Наступною операцією, після підготовки контактних зварюваних поверхонь, є клепка м'яким алюмінієвим дротом діаметром 5 мм.

2. Далі йде безпосередньо процес плакування. Плакування проводиться на реверсивному стані холодною прокатки 1680. Штаби повинні бути прокатані з відносною деформацією в 60%, тобто. з товщини 12 мм до товщини 4,8 мм.

3. Після плакування зразки необхідно піддати термічній обробці, а саме відпалу при 400 °С протягом 40 хв. Відпал доцільно проводити в електропечі в атмосфері азоту.

4. Далі пластини необхідно прокатати до кінцевої товщини по режиму 4,8→3,0→2,0 мм. Прокатку доцільно проводити при використанні технологічного мастила.

5. Після отримання біметалу необхідної товщини його відправляють на різання, для обрізки кінців з розкоченими краями. Цю операцію виробляють з допомогою гільйотинних ножиць.

6. Потім рекомендується відпал біметалу в електропечі в захисній атмосфері.

Заключною операцією є різання біметалу на необхідні мірні заготовки.

3.3 Розрахунок енергосилових параметрів при прокатці біметалевих штаб на стані 1680

Заготовку передбачається прокатувати за наступними проектними режимами деформації:

$$12 \rightarrow 4,8 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \text{ мм}$$

Розрахунок режимів деформації вівся по наступним формулам:

Відносне обтискання:

$$\varepsilon = \frac{\lambda - 1}{\lambda} \quad (3.2)$$

де λ - коефіцієнт витяжки:

$$\lambda = \frac{h_0}{h_1}, \quad (3.3)$$

Абсолютне обтискання штаби:

$$\Delta h = h_0 \cdot \varepsilon, \quad (3.4)$$

де h_0 - товщина пакета до прокатки.

Товщина штаби після проходу:

$$h_{1c} = h_0 - \Delta h, \quad (3.5)$$

Сумарне абсолютне обтискання:

$$\Delta h_c = h_0 - h_{1c} \quad (3.6)$$

Товщина міді після прокатки:

$$h_{1cu} = \frac{h_{0cu}}{\lambda}, \quad (3.7)$$

де h_{0cu} - товщина міді до прокатки.

Товщина алюмінію після прокатки:

$$h_{1al} = \frac{h_{0al}}{\lambda}, \quad (3.8)$$

де h_{0al} - товщина алюмінію до прокатки.

Режим деформації біметалу на стані 1680 наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Режими деформації біметалу .

№ Проходу	$h_{0_}$ мм	h_{0cu} , мм	h_{0al} , мм	ϵ , %	ϵ_z , %	Δh , мм	h_{1c} , мм	Δh_c , мм	λ	h_{1cu} , мм	h_{1al} , мм
1	12	3	9	60	60	7,2	4,8	7,2	2,5	1,2	3,6
Відпал											
2	4,8	1,2	3,6	37,5	37,5	1,8	3	1,8	1,6	0,75	2,25
3	3	0,75	2,25	33,3	58,3	1	2	1	1,5	0,5	1,5

Енергосилові параметри визначаємо за наступними залежностями.

Вихідний опір деформуванню пакета:

$$\sigma_s^0 = \frac{\sigma_{scu}^0 \cdot h_{cu}^0 + \sigma_{sal}^0 \cdot h_{al}^0}{H_c}, \quad (3.9)$$

де σ_{scu}^0 – вихідний опір деформуванню міді, кг/мм²;

σ_{sal}^0 - вихідний опір деформуванню алюмінію, кг/мм²;

h_{cu}^0 – вихідна товщина міді, мм;

h_{al}^0 - вихідна товщина алюмінію, мм;

H_c - сумарна товщина пакету, мм.

Опір деформації пакету після обтиску:

$$\sigma_s^1 = \frac{\sigma_{scu}^1 \cdot h_{cu}^1 + \sigma_{sal}^1 \cdot h_{al}^1}{H_c}, \quad (3.10)$$

де σ_{scu}^1 – опір деформуванню міді після обтиску, кг/мм²;

σ_{sal}^1 - опір деформуванню алюмінію після обтиску, кг/мм²;

h_{cu}^1 – товщина міді після обтиску, мм;

h_{al}^1 - товщина алюмінію після обтиску, мм;

Опір деформації до та після обтиску приведені на рис. 3.3 та 3.4

Дані щодо опору деформації, при необхідних режимах обтискання, представлені в таблиці 3.3.

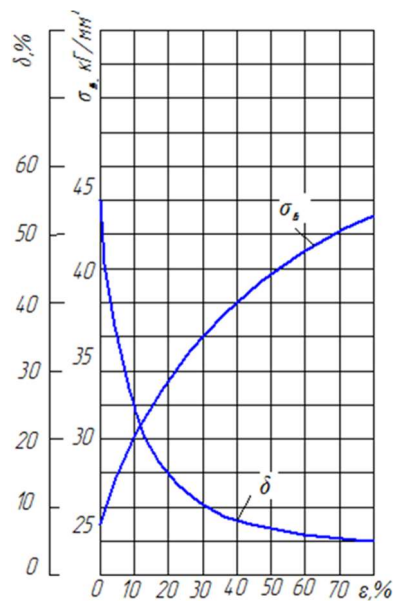


Рисунок 3.2 - Залежність механічних властивостей міді М1 від ступеня деформації

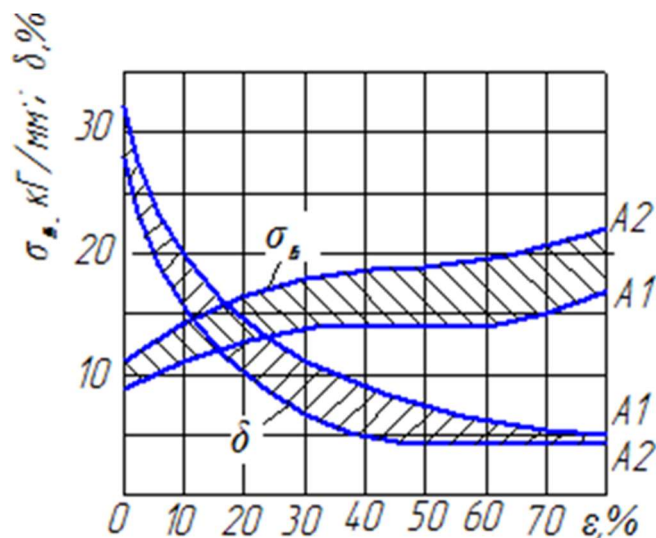


Рисунок 3.4 – Залежність механічних властивостей алюмінію АД0 від ступеня деформації

Таблиця 3.3 - Опір деформації міді і алюмінію

№ проходу	Найменування	Значення
1 прохід	σ_{scu}^0	25
	σ_{scu}^1	40
	σ_{sal}^0	8
	σ_{sal}^1	16
Відпал		
2 прохід	σ_{scu}^0	25
	σ_{scu}^1	38
	σ_{sal}^0	8
	σ_{sal}^1	16
3 прохід	σ_{scu}^0	38
	σ_{scu}^1	42
	σ_{sal}^0	16
	σ_{sal}^1	19

Середній питомий тиск:

$$P_{cp} = \frac{1}{\Delta h} \left\{ 1.15 \cdot \sigma_s^0 \left(\frac{h_{0c}}{\delta - 2} \right) \left[\left(\frac{h_{0c}}{h_H} \right)^{\delta - 2} - 1 \right] + 1.15 \cdot \sigma_s^1 \left(\frac{h_{1c}}{\delta + 2} \right) \left[\left(\frac{h_H}{h_{1c}} \right)^{\delta + 2} - 1 \right] \right\}, \quad (3.11)$$

де h_H – товщина штаби в нейтральному перетині, мм:

$$h_H = \sqrt[2\delta]{h_{0\varepsilon}^{\delta-1} \cdot h_{1\varepsilon}^{\delta-1}}, \quad (3.12)$$

$$\delta = \frac{2\mu l_c}{\Delta h_\varepsilon}, \quad (3.13)$$

$\mu = 0.1$ – коефіцієнт тертя

Довжина осередку деформації:

$$l_c = \frac{P_c \cdot R}{9500} + \sqrt{\Delta h_c R + \left(\frac{P_c \cdot R}{9500}\right)^2}, \quad (13.14)$$

де $R=255$ мм – радіус валка.

Зусилля прокатки:

$$P = P_{cp} \cdot l_c \cdot b, \quad (3.15)$$

b – ширина штаби, мм.

Момент прокатки:

$$M_{пр} = P \cdot l_c \cdot \Psi, \quad (3.16)$$

де $\Psi = 0,5$ – коефіцієнт плеча.

Момент тертя:

$$M_{тр} = P \cdot f \cdot \frac{d}{2}, \quad (3.17)$$

Де $f = 0,003$ – коефіцієнт тертя в підшипниках.

Крутний момент для одного валка:

$$M_{кр} = M_{пр} + M_{тр}, \quad (3.18)$$

Всі розрахунки виконані за допомогою програми Excel, результатами розрахунків зведено до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Енергосилові параметри при прокатуванні біметалу на стані 1680

№ проходу	1 прохід	2 прохід	3 прохід
σ_{scu}^0 , кг/мм ²	12,25	12,25	21,5
σ_{scu}^1 , кг/мм ²	22	21,5	24,75
P порівн . кг/мм ²	17,91	23,49	39,45
h ₁ , мм	4,8	3	2
h _н , мм	5,53	3,50	2,33
l _с , мм	52,28	26,73	20,79
P, кг	9367	6281	8204
M _{пр} , т*м	0,244	0,083	0,085
m _{тр} , т*м	0,0067	0,0045	0,0059
M _{кр} , т*м	0,251	0,087	0,091
M _{крс} , т*м	0,502	0,174	0,182

Розподіл середнього питомого тиску по проходам представлений на рис.

3.5

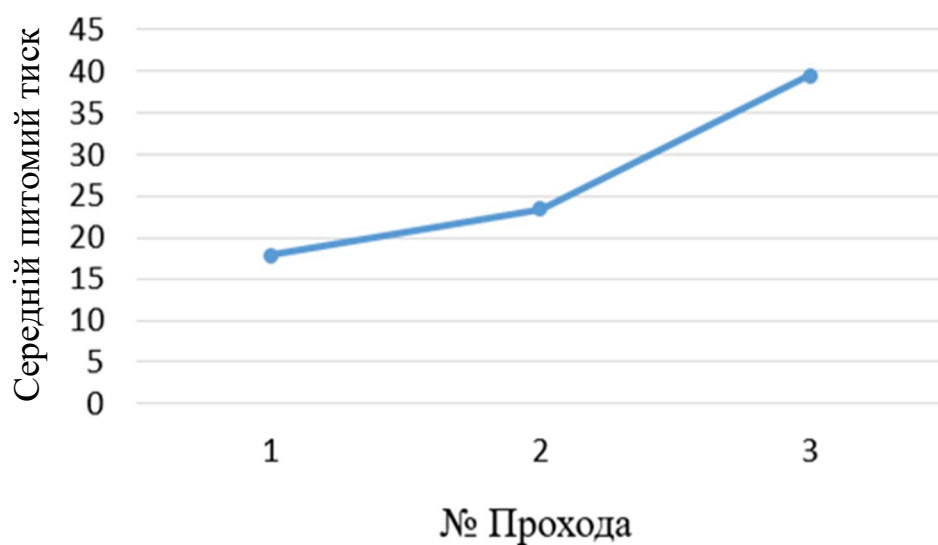


Рисунок 3.5 - Розподіл середнього питомого тиску по проходам

Виходячи з того, що прокатка в умовах ПАТ «Запоріжсталь» буде вестись на стані 1680, з максимальним зусиллям прокатки 6 МН*м (600 т*м) і крутний момент 1,5 МН*м (150 т*м), необхідно встановити, що умови запасу міцності виконуються при прокатці на задану ширину листа, яка складе 430 мм.

Сумарний крутний момент:

$$M_{крс} = M_{кр} \cdot 2 \cdot \frac{B}{b}, \quad (3.19)$$

Зусилля прокатки:

$$P = P \cdot \frac{B}{b}, \quad (3.20)$$

Сумарний момент, що крутить, і зусилля при прокатці пакета шириною 430мм приведені в таблиці 3.5

Таблиця 3.5 – Зусилля і крутний момент для смуги шириною 430 мм

№ проходу	h1, мм	h ₀ мм	Δh, мм	P, кН	M _{крс} , т*м
1 прохід	4,8	12	7,2	3583,318	21,58
Відпал					
2 прохід	3	4,8	1,8	2402,778	7,482
3 прохід	2	3	1	3138,416	7,826

Розподіл сумарного крутного моменту за проходами представлений на рис. 3.6.

Розподіл зусилля прокатки за проходами представлено на рис.3.7.

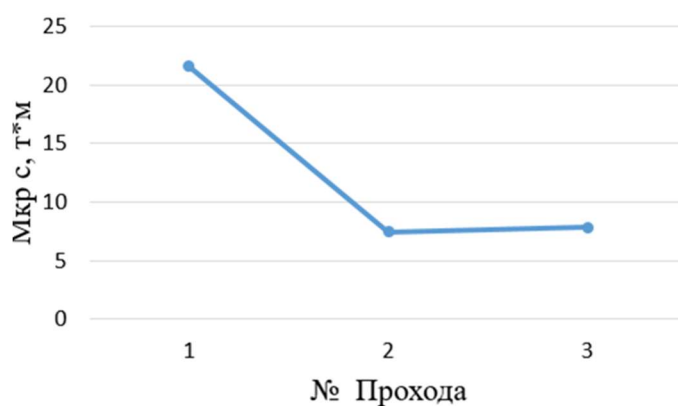


Рисунок 3.6 - Розподіл сумарного крутного моменту за проходами

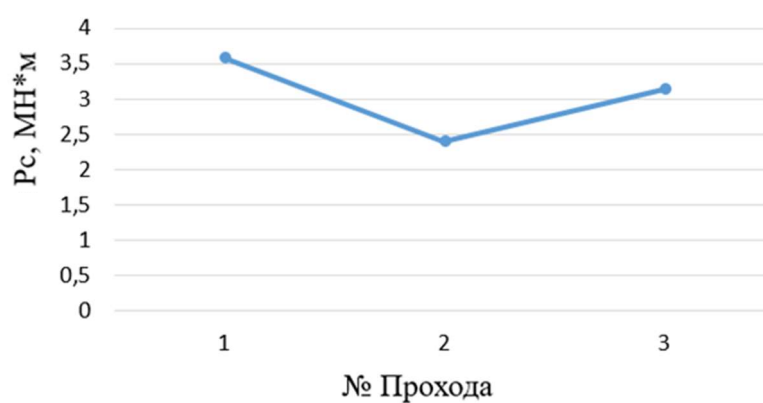


Рисунок 3.7 - Розподіл сумарного крутного моменту за проходами

Коефіцієнти запасу міцності по зусиллю прокатки і крутному моменту представлені в таблиці 3.6

Таблиця 3.6 - Коефіцієнт запасу міцності.

№ проходу	Коефіцієнт запасу міцності по зусиллю прокатки	Коефіцієнт запасу міцності по крутному моменту
1 прохід	1,67	6,95
2 прохід	2,49	20,05
3 прохід	1,91	19,16

З отриманих результатів випливає, що умови по зусиллю прокатки і крутному моменту виконуються з запасом.

Надалі біметалічну штаби алюміній-мідь шириною 430 мм і товщиною 2 мм, необхідно піддати різанні на ширину по 130 мм, де 40 мм йдеться на кромки листів.

Виходячи з отриманих даних, можна зробити висновок, що виготовлення біметалевої штаби «алюміній – мідь» на реверсивному прокатному стані 1680 за даними режимами обтисків представляється можливим.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристики рівня безпеки технологічного процесу холодної прокатки, рівня його механізації та автоматизації.

Холодна прокатка характеризується складністю і різноманітністю механічного обладнання, яке має високу швидкість і енергонасиченість. Внаслідок цього обробка металу проходить з високими швидкостями та у великих кількостях.

Технологічний процес прокатки в умовах цеху холодної прокатки відноситься до другої групи процесів, протікаючих в умовах з напруженою працею, а також запиленню промислових приміщень.

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу обладнання ЦХП широко застосовується механізація виробничого процесу:

Ступінь механізації робіт на дільниці визначається за формулою:

$$V = M / (M + R) \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

де V – ступінь механізації праці, %

M – сума чоловіко-годин механізованої праці; R – сума чоловіко-годин ручної праці. Розрахунок ступені механізації праці робітників дільниці прокатки металу приведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Розрахунок механізації праці робітників дільниці

№ п/п	Проф. робітників	Штат робітників	Кількість відпрацьованих чоловіко-годин на добу			Відсоток механізованої праці
			Вручну	За допомогою машини	Усього	
1	Слюсар-рем.	13	22	2	24	8
2	Крановий машиніст	12	0,5	22,5	24	93,7
3	Мастильник	5	10	14	24	58
4	Оператор	4	1	23	24	96
5	Електрик	3	4	20	24	83

Як видно з таблиці 7.1 найбільш високий рівень механізованої праці у робітників: оператор, електрик, що пояснюється характером професії. У них відсутня необхідність тяжкої фізичної праці (переносу важкості, виконання ручних робіт з великими фізичними зусиллями, як у слюсарів-ремонтників та слюсарів –механіків) кращий рівень праці і вищий рівень механізації у гидравліків та мастильників (50-58%)

4.2. Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих факторів

У процесі холодної прокатки тонкого листа виникають різноманітні небезпечні (рухомий метал, обертання частин механізмів та інше) та шкідливі фактори, зв'язані з умовами прокату (використання металу після травлення, використання мастильних рідин та інше).

Перелік цих шкідливих та небезпечних факторів представлений у таблиці 4.2 згідно санітарно-гігієнічної класифікації слюсар має право на молоко і додаткову відпустку - 18 днів.

Таблиця 4.2 - Аналіз потенційно-небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

№ п/п	Вид технологічної операції	Обладнання	Небезпечні та шкідливі фактори	Ймовірні впливання
1	Прокатка	Стан	Обертові валки, рухома полоса металу, рольганги, моталки, привід. Небезпечний рівень току і напруги I=30А, U=300В.	Травмування обслуговуючого персоналу при непередбаченому контакті. Ураження електричним током однофазним та двофазним при торканні до токоведучих частин
2	Транспортування металу	Мостовий електрокран	Рухомі механізми: мост та візок, транспортуємий метал з масою до 5 тон.	Механічні пошкодження, травми та падіння металу.
3	Допоміжні операції	Гідрообладнання (маслонапорні станції)	Горючі речовини, пари емульсола	Пожежонебезпека.

Розглянемо карту умов праці слюсаря-ремонтника, таблиця 4.3.

Таблиця 4.3 – Технологічна карта умов праці для чергового та ремонтного слюсаря цеху холодної прокатки

Фактори	Нормативне значення ПДК, ПДУ	Фактичне значення	III класу шкідливих і небезпечних умов і характер праці			Час дії фактору % у зміну
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³						
1 клас безпеки						
Ангідрид хромовий	0,01	0,014	1,4			83,1
2 клас безпеки						
Кислота сірчана	1,0	3,1	1,87			17,3
Етилмеркоптан	1,0	1,42	1,42			
3-4 клас безпеки						
Мастила мінеральні	5,0	26,5		5,3		83,1
Аміак	20,0	25,7	1,28			83,1
Етиленгіголь	5,0	7,8	1,6			83,1
Хрому оксид	1,0	1,5	3,5			83,1
II. Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³						
Вміст кремнію діоксид – 2,5%	4,0	11,3		2,8		83,1
III. Шум, дБА	80	97			17	100
IV. Мікроклімат в приміщенні						
-температура повітря, °C	16-27	40,5			13,5	83,1
- швидкість руху повітря, м/сек	0,2-0,5	0,27				83,1
- відносна вологість повітря, %	55	46	16,36			83,1
- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	654		654		79,8
V. Робоча поза						
Нахил корпусу в просторі, обумовлений технологічним процесом, град	Перебування в нахиленому положенні понад					
	28,1%	30%	30			
Кількість факторів			7	3	2	

Гігієнічна оцінка умов праці

Умови та характер праці відносяться до III класу 3 ступеня.

Атестація робочого місця

Робочі місця мають в наявності: 2 фактора 3 ступеня, 7 факторів 1 ступеня, 3 фактор 2 ступеня. За показниками робоче місце слід вважати з особливо шкідливими і особливо важкими умовами праці, що відповідає показникам списку №1 пункт 1.

Згідно зі списком №1: пенсійний вік за пільговими умовами для чоловіків становить 50 років, для жінок 45, дається додаткова відпустка 7 днів, дається молоко.

4.3 Заходи щодо захисту від виявлених шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища

Перелік технічних та санітарно-гігієнічних заходів виробничого середовища та робочих місць наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 Перелік технічних та санітарно-гігієнічних заходів виробничого середовища

Небезпечний або шкідливий фактор	Захисний пристрій	Принцип дії	Місце встановлення
1	2	3	4
Підвищений рівень шуму	Звукоізолюючі kabіни і перегородки, засоби З.І.З.	Звукопоглинання і відображення, ізоляція органів слуху	Біля джерел шуму, в приміщенні оператора, на робочому місці
Паро виділення токсичної дії	Витяжка вентиляція	Примусова механічний відсмоктувач утворилися парів масел	Над станом

Небезпечний рівень струму і напруги	1.Изоляция і огороження струмоведучих частин 2.Заземление і захисне блокування 3.Запобіжники плавкі, дистанційні магнітні пускачі	1.Захист від дотику до струмоведучих частин 2.Захист від дотику до металевих частин обладнання 3.Захист від високих рівнів струму, управління двигуном на відстані	1. Довкола струмоведучих частин 2.На камерах пульта управління 3.У електро схемах
Рухомі частини механізмів	Запобіжні сітки, кожухи	Відключення і розрив ланцюга при перевантаженнях, захист від зіткнення з рухомими частинами обладнання	Довкола обладнання
Переміщаючийся метал	1.Ограждение і розмітка небезпечної зони 2.Засоби світлової та звукової сигналізації 3.Знаки безпеки	Захист від травм при падінні металу та його переміщення	На території зони, на мостовому крані
Горючі речовини	Герметизація та витяжна вентиляція	Захист від вогню при пожежі	Над місцями утворення парів і витоків

4.4 Технічні рішення щодо виробничої санітарії

4.4 .1 Мікроклімат

Під вентиляцією розуміють систему заходів і пристроїв, призначених для забезпечення на робочих місцях, у робочих і обслуговуваних зонах приміщень

метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природну і механічну вентиляцію. Для усунення осідання пилу в приміщенні, зменшуючи її кількість в повітрі, все обладнання закрито зонами (витяжна вентиляція), з'єднаними з допомогою повітроводів з пристроями для очищення повітря, що видаляється.

Також у прольоті ділянки використовують природну вентиляцію повітря. У такому вигляді вентиляції повітря надходить і видаляється через щілини вікна, двері, ворота, ліхтарі. Опалення побутових приміщень здійснюється з допомогою панелей (батарей) в яких в якості теплоносіїв використовують пар. Опалення побутових приміщень здійснюється від цеху тепловодопостачання.

4.4.2 Освітлення в приміщенні

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне освітлення. Незадовільне освітлення ускладнює проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці і працездатності очей і може бути причиною захворювань і нещасних випадків.

На промислових підприємствах штучне освітлення підрозділяється на робоче (для проведення робіт в темний час доби у місцях без достатнього природного освітлення), аварійне (для проведення роботи при аварійному відключенні робочого освітлення), евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації людей із приміщення при аварійному відключенні робочого освітлення) та охоронне. При необхідності частина світильників того чи іншого виду освітлення може використовуватися для чергового освітлення.

Штучне освітлення проектується двох систем: загальне (рівномірне або локалізоване з урахуванням розташування робочих місць) і комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве. Застосування одного місцевого освітлення не допускається, так як різкий контраст між яскраво освітленими і

неосвітленими місцями стомлює очі, уповільнює швидкість роботи і нерідко є причиною нещасних випадків.

Природне освітлення забезпечується одночасно через світлові отвори в бічних стінах і ліхтарі (комбіноване висвітлення).

Згідно БНіП-4-97 роботи, що виконуються робочим персоналом при холодній прокатці, відносяться до 3 розряду зорових робіт, коефіцієнт природного освітлення КПО дорівнює 7%.

Для комбінованої системи природного освітлення нормоване значення КПО визначається за формулою:

$$E_{Iv} = E_{III} \cdot t \cdot c, \quad (4.2)$$

де E_{Iv} -7%- значення КЕО з урахуванням характеру зорової роботи;

$t=0,9$ - коефіцієнт світлового клімату (4 пояс);(район Запоріжжя)

$c=0,8$ - коефіцієнт сонячності клімату;

$$E_{Iv} = 7 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 5,04\%.$$

У виробничих приміщеннях прокатного цеху для загального штучного освітлення застосовують, як правило ДРЛ, ДРИ N=400-1000 Вт, газорозрядні лампи (люмінесцентні ЛУБ-80, ртутні високого тиску з неправильною кольоровістю). Типи світильників вибирають залежно від умов роботи і вимог до якості освітлення.

У разі виходу з ладу робочого освітлення використовують аварійне освітлення, яке забезпечує можливість продовження роботи або евакуації персоналу. У прокатному цеху встановлення аварійного освітлення обов'язкова нба посту управління прокатним станом, пунктах управління системами водопостачання, вентиляції і каналізації, у машинному залі і диспетчерському пункті.

Найменша освітленість робочих поверхонь потребують обслуговування при аварійних режимах становить 5% освітленості, нормованої для загального

робочого освітлення, але не менше 2 лк. Аварійне освітлення для евакуації проходів і сходів не менше 0,5 лк. Прийняті значення освітленості наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 Прийняті значення освітленості, лк.

Найменування ділянки	Розряд зорової роботи	Освітленість і коефіцієнт запасу			Аварійне освітлення	
		Сист. Комбін. Освіт.	Сист. Заг. Освіт.	Коеф. запасу	Для робіт	Для евакуації
Ковпакові печі (ділянка відпалу)	IV	400	200	1.3	10	4
Прокатний стан	III	750	300	1.5	15	5

Штучне освітлення (робоче) нормується за мінімально допустимої освітленості (E) з урахуванням характеру зорової роботи (розміру об'єкта розрізнення), світлості фону, контрасту між об'єктами розрізнення та фоном, типу джерела світла та системи освітлення.

4.4.3 Виробничий шум, виробнича вібрація

За походженням механічний шум буває, що виникає в результаті тертя вузлів деталей механізмів і машин на холостому і робочому ходу; аерогідродинамічний, виникаючий при великих швидкостях руху потоків повітря, газів, рідин; імпульсивний, що виникає в результаті зіткнення твердих тіл; термічний при згорянні газоподібного палива в пальникових і форсуночних пристроях.

Для зменшення шуму в джерелі його утворення замінюють ударні взаємодії деталей безударними, зворотньо-поступальні рухи - обертальними; демпфують коливання взаємоударюючися деталей і окремих вузлів агрегату шляхом з'єднання їх з матеріалами, що мають велике внутрішнє тертя: гумою, пробкою, бітумом, бітумними картонами, азбестом, та ін; зменшують інтенсивність вібрацій деталей агрегатів шляхом облицювання цих поверхонь.

Для послаблення вібрацій всі агрегати, що створюють вібрації (робочі машини, двигуни, вентилятори тощо), встановлюють на самостійних фундаментах, віброізолюваних від підлоги та інших конструкцій будівель, або на спеціально розрахованих амортизаторах із сталевих пружин чи трубопроводах приєднання їх до вентиляторів і насосів проводиться за допомогою гнучкої вставки з прогумованої тканини або гумового патрубка.

4.4.4 Виробничі випромінювання

Температурний режим у виробничих приміщеннях або в окремих його частинах залежить від величини тепловиділень обладнання, агрегатів, нагрітих напівфабрикатів і готової продукції, а також від сонячної радіації, що проникає в цех через відкриті прорізи. Частину надійшовшого в цех тепла віддається назовню, а інше, так зване явне або надлишкове тепло, нагріває повітря робочих приміщень.

Для поліпшення умов праці в гарячих цехах та захисту працюючих від теплового впливу застосовують такі способи: теплоізоляцію поверхонь, що випромінюють тепло, за допомогою водоохолоджуваних екранів, рам, щитів, завіс ін.; теплоізоляцію та охолодження робочих місць (постів управління, кабін машиністів кранів та ін.); природну і механічну вентиляцію; повітряне охолодження замкнутих просторів печей, що знаходяться в ремонті; водорозпилювання на робочих місцях і в припливних віконних отворах;

спецодяг та індивідуальні захисні пристосування - щитки, екрани, окуляри, світлофільтри; раціональну організацію режиму праці та відпочинку.

Ефективним засобом зниження шкідливого впливу теплових виділень є максимальне скорочення часу знаходження нагрітого металу і шлаку в виробничих приміщеннях.

4.5 Заходи пожежної безпеки

До числа заходів щодо попередження пожеж та обмеження поширення вогню відносяться:

1.Правильний вибір ступеню вогнестійкості будівель і меж вогнестійкості, окремих його елементів;

2.Прийняття у відповідності з нормами величин площі між протипожежними перешкодами.

3.Дотримання протипожежних розривів між будівлями.

Для успішної евакуації людей та матеріальних цінностей передбачені евакуаційні шляхи і виходи передбачені протяжності і ширини, розміри дверних отворів, що забезпечують достатню пропускну здатність, необхідну кількість сходових кліток і зовнішніх пожежних сходів.

Прокатний цех відноситься до категорії Г, пожежонебезпеки (ГОСТ 12.1004-91), так як в ньому обробляються неспалимі речовини (метал), але є горючі олії. По вогнестійкості прокатний цех відноситься до другого ступеня.

Необхідна ступінь вогнестійкості виробничих будівель промислових підприємств визначається СніП 0-2.09.02-85 залежно від категорії вибухонебезпеки виробництва, площі і висоти будівлі.

Необхідна ступінь вогнестійкості громадських будівель визначається СніП-2.08.01-85 залежно від площі і числа поверхів будівлі. Необхідна ступінь вогнестійкості будівель прокатного цеху вказана в таблиці 6.

Будівельні матеріали і конструкції в залежності від ступеня займистості поділяються на три групи: вогнетривкі, вогнестійкими і спаленні. Протипожежні стіни в цеху є вогнетривкими.

Для забезпечення безпечної евакуації в будівлі цеху розташовані евакуаційні виходи, провідні з першого поверху назовні, в коридор, вестибюль. Їх кількість має бути не менше двох розташованих у протилежних кінцях будівлі.

Найбільша допустима відстань від найбільш віддаленого робочого місця до евакуаційного виходу для виробництва категорії пожежонебезпеки Г та 1 і 2 ступеня вогнестійкості не нормується. Ширина евакуаційного проходу визначається з розрахунку 0,6 м на 100 чоловік. Ширина дверей становить від 0,8 до 2,4 метра. Марші та площадки сходів відповідно рівні 1,75 і 2,4 метри

Для гасіння пожеж у прокатному цеху застосовуються тверді, рідкі і газоподібні речовини: воду, інертні гази, хімічну і повітряно-механічні піни, тверду вуглекислоту, пісок. На заводі застосовуються пінні вогнегасники ОП-5 і вуглекислотні вогнегасники ОУ-2, ОУ-5 та ОУ-8 та пересувні двохбалонні і однобалонні УП-2, УП-1. Вогнегасники знаходяться на посту операторів, на кожному агрегаті і на пожежних щитах.

Протипожежне водопостачання включає комплекс пристроїв, призначених для отримання, зберігання і подачі води для гасіння пожеж (водопровід, природні і штучні водойми). Витрата води на зовнішнє пожежогасіння через гідрант становить для прокатного цеху 10 літрів в секунду.

Таблиця 4.6. Мінімальні межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій цеху.

Ступінь вогнестійкості	Несучі стіни, сходові клітини, колони	Сходові майданчики, ступеня, балки і марші	Зовнішні стіни навісних панелей	Внутрішні несучі стіни (перегородки)	Плити та інші несучі конструкції	Плити, настили та інші несучі конструкції
1	2.5(НД)	1(НД)	0.5(НД)	0.5(НД)	1(НД)	0.5(НД)
2	2(НД)	1(НД)	0.25(НД)	0.25(НД)	0.75(НД)	0.25(НД)

Примітка: НД – не допускається.

4.6 Техногенна безпека

Електрообладнання та заходи щодо його безпечної експлуатації.

Електроустаткування ділянки відноситься до установок до 1000В. Умови безпечної експлуатації залежать від захисних пристроїв.

Всі струмоведучі частини ізольовані. В якості ізоляції застосовують теплостійкі лаки, електроізолюючі плівки, емалеві й олійні фарби.

Покриття повинні швидко сохнути, добре зв'язуватися з покриваємою поверхнею, утворювати на ній струмонепровідну плівку, вологонепроникну, механічно міцну плівку.

Для захисту від короткого замкнення використовують швидкодіючий релейний захист і вимикачі, встановлені автомати і плавкі запобіжники.

На всіх обертових частинах обладнання крім перерахованих вище вимог повинні бути встановлені захисні щити, кожухи.

На вантажопідйомному обладнанні крім перерахованих вище вимог повинні бути встановлені обмежувачі вантажопідйомності, а також відсутнє мимовільне опускання вантажу.

Робота вантажопідйомних машин і пристроїв для транспортування вантажів в момент пусків повинно супроводжуватися звуковими сигналами.

Дотримання всіх норм та правил техніки безпеки призводить до значного зниження нещасних випадків на виробництві.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. В роботі розглянуто основні методи отримання біметалених штаб і виявлено, що в умовах масового виробництва доцільно використовувати прокатне обладнання для біметалевих листів.
2. При проведенні літературного огляду виявлено проблеми отримання біметалевих штаб на основі алюмінію та міді пов'язані з відмінностями в механічних властивостях матеріалів, схильності до утворення інтерметалідних сполук, схильності алюмінія до утримання окисних плівок тощо.
3. На лабораторному стані розроблено технологію отримання біметалевих штаб і дану технологію відмаштабовано для реверсивного прокатного стану 1680 для прокатки біметалевих штаб шляхом прокатування мідь-алюміній товщиною 2 мм, відношенням шарів 1:2.
4. Коефіцієнти запасу міцності по зусиллю прокатки і крутному моменту виконуються з запасом.
5. Отримані результати рекомендуються для ознайомлення і впровадження металургійними і машинобудівними підприємствами галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Прокатка біметалевих алюмінієво-сталевих полос, отриманих валковою розливкою-прокаткою / О.Ю. Гридин, В.А. Хвист, М. Шапер // *Метал та ливарство України*. — 2013. — № 1. — С. 10-14.
2. Розроблення нової технології зварювання тертям з перемішуванням / [М. М. Прокопів, О. В. Харченко, І. В. Цап та ін.]. // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. — 2015. — С. 12–18.
3. Квасницький В. В. Спеціальні способи зварювання: Навчальний посібник / В. В. Квасницький. — Миколаїв: УДМТУ, 2003. — 437 с.
4. Wróbel T. Bimetallic layered castings alloy steel–carbon cast steel / T. Wróbel, M. Cholewa, S. Tenerowicz. // *Archives of Foundry Engineering*. — 2011. vol. 11. no. 1. — С. 105–107.
5. Wang, T., Liang, C., Chen, Z., та ін. Development of an 8090/3003 bimetal slab using a modified direct-chill casting process. *Journal of Materials Processing Technology*. — 2014. — vol. 214, no. 9. — С. 1806–1811.
6. Спосіб одержання зносостійких багат шарових металевих виливків: пат. № 54486 Україна: МПК: В22С 19/00, №u201005922; заявл. 17.05.2010, опуб. 10.11.2010, Бюл.№ 21. 3с 10. Пристрій для лазерно-ливарного виготовлення біметалів: пат. № 96621 України: МПК: В23К 26/352 / № u201409701; заявл. 04.09.2014; опубл. 10.02.2015, Бюл. № 3. 5 с.
7. Development of the laser-foundry process for manufacture of bimetals / [L. Golovko, S. Sali, M. Bloschchytyn та ін.]. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. — 2018. — С. 47–54.
8. Solidification of a pure metal at a vertical wall in the presence of liquid superheat / [F. Wolff, R. Viskanta]. // *Int.J. Heat and Mass Transfer*, 1988, vol. 31, no. 8. — С. 1735–1744.
9. Alexiades V. Tin melting: effect of grid size and scheme on the numerical solution / V. Alexiades, N. Hannoun, T. Mai. // *Fifth Mississippi State*

- Conference on Differential Equations and Computational Simulations, Electronic Journal of Differential Equations. – 2003. – vol.10. – P. 55–69.
10. Виготовлення біметалів з використанням ливарного процесу і лазерної обробки / Л.Ф. Головка, В.В. Романенко, М.С. Блощичин, О.Д. Кагляк, С.С. Салій, О.А. Савченко, І.В. Свічкач - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. – 220с.
 11. Патент № 128468 UA, B23K 26/354 (2014.01), B23K 23/00 Спосіб виготовлення біметалевих листових композицій / Головка Л.Ф., Салій С.С. – № у 201712550 ; заявл. 18.12.2017 ; опубл. 25.09.2018, Бюл. № 18, 2018.
 12. Патент № 133173 UA, B23D 19/08 (2006.01) Спосіб виготовлення біметалів електродуговим зварюванням з використанням технологічних отворів та утримуючих елементів / Романенко В.В.; Головка Л.Ф.; Блощичин М.С., Салій С.С. –№ у 201810447 ; заявл. 23.10.2018 ; опубл. 25.03.2019 25.03.2019 Бюл. № 6, 2019 р.
 13. Патент № 133173 UA, B23D 19/08 (2006.01) Спосіб ливарного виготовлення біметалів з використанням технологічних отворів та утримуючих елементів / Романенко В.В.; Головка Л.Ф.; Блощичин М.С., Салій С.С. –№ у 201810447 ; заявл. 23.10.2018 ; 25.03.2019 Бюл. № 6, 2019р.
 14. Патент № 105338 UA, B23K 9/173 (2006.01) Спосіб виготовлення полегшених біметалів електродуговим зварюванням / Романенко В.В.; Головка Л.Ф.; Кривцун І.В., Блощичин М.С.– № у 201510026 ; заявл. 13.10.2015 ; опубл. 10.03.2016 Бюл. № 5, 2016 р.
 15. Патент № 133083 UA, B23D 19/00, B23D 19/08 (2006.01) Пристрій для ливарного виготовлення біметалів з застосуванням утримуючих елементів / Романенко В.В.; Головка Л.Ф.; Блощичин М.С.– № у 201809889 ; заявл. 04.10.2018 ; опубл. 25.03.2019 Бюл. № 6, 2019 р.
 16. Патент № 133111 UA, B22D 19/16 (2006.01) Пристрій для ливарного виготовлення біметалічних матеріалів з застосуванням утримуючих

- елементів / Романенко В.В.; Головка Л.Ф.; Блощичин М.С., Салій С.С. – № у 201810064 ; заявл. 09.10.2018 ; опубл. 25.03.2019 Бюл. № 6, 2019 р.
17. Патент № 102542 UA, B22D 25/00, B23K 20/00 Спосіб ливарного виготовлення біметалів при використанні технологічних отворів / Романенко В.В.; Спаська О. О. – № у 201502502 ; заявл. 20.03.2015 ; опубл. 10.11.2015 Бюл. № 21, 2015 р.
18. Патент № 102546 UA, B22D 19/00, B23D 19/08 (2006.01) Спосіб виготовлення біметалів при заливці різьбових отворів розплавленим металом / Романенко В.В.; Романенко М.В. – № у 201502649 ; заявл. 23.03.2015 ; опубл. 10.11.2015 Бюл. № 21, 2015 р.
19. Патент № 104934 UA, B23K 9/173 (2006.01) Спосіб виготовлення полегшених біметалів електродуговим зварюванням / Романенко В.В.; Головка Л.Ф.; Кривцун І.В., Блощичин М.С. – № у 201508630 ; заявл. 07.09.2015 ; опубл. 25.02.2016 Бюл. № 4, 2016 р.
20. Патент № 104935 UA, B23K 9/173 (2006.01) Спосіб виготовлення полегшених біметалів із виробничих відходів електродуговим зварюванням / Романенко В.В. – № у 201508631 ; заявл. 07.09.2015 ; опубл. 25.02.2016 Бюл. № 4, 2016 р.
21. Патент № 99372 UA, B22D 11/041 (2006.01), B23K 20/02 (2006.01) Спосіб виготовлення біметалів при зчепленні його пластин ливарним методом та подальшим стискуванням / Романенко В.В.; Головка Л.Ф.; Кривцун І.В., Лихошва В.П., Шатрава О.П. – № у 201500726; заявл. 29.01.2015 ; опубл. 25.05.2015 Бюл. № 10, 2015 р.
22. Патент № 101953 UA, B22D 19/00, C23C 6/00, B32B 7/00, B23K 20/04 (2006.01) Спосіб ливарного виготовлення біметалів з використанням технологічних пазів / Романенко В.В.; Головка Л.Ф.; Кривцун І.В., Лихошва В.П., Шатрава О.П. – № у 201503246 ; заявл. 07.04.2015 ; опубл. 12.10.2015 Бюл. № 19, 2015 р.

23. Патент № 102030 UA, F16B 5/00, B23K 9/173 (2006.01) Спосіб виготовлення біметалів електродуговим зварюванням плавким електродом з використанням заглиблених технологічних отворів / Романенко В.В.; Блощичин М.С.– № u 201503984 ; заявл. 27.04.2015 ; опубл. 12.10.2015 Бюл. № 19, 2015 р.
- 24.. Головка Л.Ф., Романенко В.В., Блощичин М.С., Салій С.С., Литвиненко О.А. Реалізації технологій виготовлення гнутих біметалів та біметалічних виробів кутового типу. - В зб. Міжнародна конференція «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти», 03.06.2019, м. Херсон, Україна, - С. 85.
25. Головка Л.Ф., Романенко В.В., Блощичин М.С., Салій С.С., Свічкач І.В.; Особливості формування перехідної зони при лазерно-ливарному методі виготовлення біметалів. - В зб. Міжнародна конференція «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти», 03.06.2019, м. Херсон, Україна, - С. 62.
26. Головка Л.Ф., Романенко В.В., Блощичин М.С. Розробка пристрою для ливарного виготовлення біметалів з використанням технологічних отворів та утримуючих елементів. - В зб. ІХ міжнародна науковопрактичної конференції "Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем", 15.05.2019, м. Чернігів , Україна, - С. 51.
- 27.Ткачук К.Н., Халімовський М.О., Зацарний В.В. та ін.. Основи охорони праці: Підручник. – 2-ге вид., допов. і перероб. – К.: Основа, 2006. – 444 с.
- 28.Протоєрейський О.С., Запорожець О.І. Охорона праці в галузі: Навч. посіб – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2005. – 268 с.

СПИСОК ВИКОНАНИХ КРЕСЛЕНЬ			
№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Формат
1	Загальний вигляд кліті та допоміжне обладнання	1	A1
2	Привод робочої кліті	2	A1
3	Шпindelъ зубчастий	2	A1
4	Вузол подушок	2	A1
5	Плакати дослідницької частини	2	A1

ДОДАТКИ