Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота магістра

рівень вищої освіти__другий (магістерський) рівень_____
(другий (магістерський) рівень)

на тему *Технологічні особливості безперервного горизонтального розливання-прокатки алюмінієвих сплавів*

Виконав: студент _2_курсу, гр. *8.1363-омт-дн*
___ Власенко В.В._____
(ПІБ) (підпис)
спеціальності
136 Металургія
(шифр і назва)
спеціалізація
_____
(шифр і назва)
освітньо-професійна програма
Обробка металів тиском
(шифр і назва)

Керівник _Скачков В.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)
Рецензент _Воденнікова О.С._____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2025 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра *металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*

Рівень вищої освіти *другий (магістерський) рівень*
другий (магістерський) рівень)

Спеціальність *136 металургія*
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма *Обробка металів тиском*
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *МТЕТБ*
Ю.О. Бєлоконь

"____" _____2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Власенко Вячеславу Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Технологічні особливості безперервного горизонтального розливання-прокатки алюмінієвих сплавів*
керівник роботи *Скачков Віктор Олексійович, д-р. техн. наук, проф.*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від "28" лютого 2024 року № 359-с
2. Строк подання студентом роботи (проєкта). *19.02.2025*
3. Вихідні дані до роботи (проєкта) *науково-технічна література, періодичні видання за фахом, патентний пошук.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити: 1 Способи та перспективи процесів безперервного лиття. 1.1 Структура та особливості безперервного лиття горизонтального типу. 1.2 Особливості конструкцій установок та оснастки безперервного горизонтального лиття. 1.3 Беззлиткове розливання-прокатка. 1.4 Особливості одновалкового розливання тонкого листа. 2 Методи оцінки зниження силових зусиль і підвищення якості виробництва тонколистового прокату. 2.1 Розподіл механічної напруги при прокатуванні тонкого листа з примусовою подачею. 2.2 Методи підвищення якості прокату. 3 Аналіз і розробка принципіальних схем розливки і прокату тонкого листа. 3.1 Сплави на основі алюмінію длябезперервного лиття. 3.2 Алюмінієві сплави леговані рідкісноземельними металами. 3.3 Основні властивості та застосування

сплавів на основі алюмінію. 3.4 Технологічне обладнання для реалізації безперервного лиття сплавів. 3.5 Особливості виплавки вторинних алюмінієвих сплавів. 4 Охорона праці. 4.1 Характеристика ступеня безпеки технологічного процесу виплавки та розливання алюмінієвих сплавів5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Креслення, презентаційний матеріал 10 слайдах (на 10 сторінках)*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
1 Способи та перспективи процесів безперервного лиття	*Скачков В.О., професор кафедри*	
2 Методи оцінки зниження силових зусиль і підвищення якості виробництва тонколистового прокату	*Скачков В.О., професор кафедри*	
3 Аналіз і розробка принципіальних схем розливки і прокату тонкого листа	*Скачков В.О., професор кафедри*	
4 Охорона праці та техногенна безпека	*Скачков В.О., професор кафедри*	
Нормоконтроль	*Бєлоконь Ю.О., зав. кафедрою*	

7. Дата видачі завдання: *01.03.2024 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ		
2	Реферат		
3	Способи та перспективи процесів безперервного лиття		
4	Методи оцінки зниження силових зусиль і підвищення якості виробництва тонколистового прокату		
5	Аналіз і розробка принципіальних схем розливки і прокату тонкого листа		
6	4 Охорона праці та техногенна безпека		

Студент _____ *В.В. Власенко*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ *В.О. Скачков*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної робота магістра: 107 с., 11 табл., 15 рис., 44 джерела посилання.

БЕЗПЕРЕРВНЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЕ ЛИТТЯ, ПРОКАТКА, БРУХТ ТА ВІДХОДИ АЛЮМІНІЮ, ЛИТТЯ, ВАЛКИ, ПЕРЕРОБКА

Об’єкт дослідження – валкове розливання-прокатка

Предмет дослідження – брухт та відходи алюмінію

Мета роботи – вдосконалення схем переробки брухту та відходів алюмінію

Методики дослідження – розроблені та стандартні методики

В роботі показано, що процеси безперервного горизонтального лиття профільних заготовок та сортового прокату для фахівців металургійної галузі є актуальним завданням, спрямованим на розробку сучасних методів та технологій, що поєднують у єдиний комплекс виплавку, розливання та деформаційну обробку.

Проведено розрахунки розподілу питомих тисків за довжиною наведеної осьової координати ξ. У розрахунку приймалися валки діаметром 200мм. Розрахунки проводилися для швидкостей обертів валків 5, 10 та 20 об/хв. Швидкість обертання валків зумовлює підвищення питомого тиску на вході в зону деформування на 25-30%, у зоні виходу з деформаційної зони до 13-26%. Розрахунки показали, що досягається необхідний тиск стиснення заготовки відлитої із застосуванням валків при менших значеннях діаметрів.

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 СПОСОБИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПРОЦЕСІВ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ 8
1.1 Структура та особливості безперервного лиття горизонтального типу 8
1.2 Особливості конструкцій установок та оснастки безперервного горизонтального лиття 9
1.3 Беззлиткове розливання-прокатка 12
1.4 Особливості одновалкового розливання тонкого листа 19
Висновки до розділу 1 22
2 МЕТОДИ ОЦІНКИ ЗНИЖЕННЯ СИЛОВИХ ЗУСИЛЬ І ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТОНКОЛИСТОВОГО ПРОКАТУ 23
2.1 Розподіл механічної напруги при прокатуванні тонкого листа з примусовою подачею 23
2.2 Методи підвищення якості прокату 31
Висновки до розділу 2 40
3 АНАЛІЗ І РОЗРОБКА ПРИНЦИПІАЛЬНИХ СХЕМ РОЗЛИВКИ І ПРОКАТУ ТОНКОГО ЛИСТА 41
3.1 Сплави на основі алюмінію для безперервного лиття 49
3.2 Алюмінієві сплави леговані рідкісноземельними металами 54
3.3 Основні властивості та застосування сплавів на основі алюмінію 56
3.4 Технологічне обладнання для реалізації безперервного лиття сплавів 59
3.5 Особливості виплавки вторинних алюмінієвих сплавів 66
Висновок до розділу 3 90
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 91
4.1 Характеристика ступеня безпеки технологічного процесу виплавки та розливання алюмінієвих сплавів 91

4.2 Небезпечні та шкідливі фактори виробничого середовища 92
4.3 Основні вимоги виробничої санітарії 95
Висновки до розділу 4 100
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 101
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 103

ВСТУП

Процеси безперервного горизонтального лиття (ПБГЛ) профільних заготовок та сортового прокату для фахівців металургійної галузі є актуальним завданням, спрямованим на розробку сучасних методів та технологій, що поєднують у єдиний комплекс виплавку, розливку та деформаційну обробку високоякісних заготовок в умовах промислового вироблення. Сучасний період розвитку процесів безперервного лиття характеризується високим попитом високо якісну ливарну продукцію з високої економічної ефективністю.

У сучасний час у більшості розвинених країнах широке застосування отримали способи безперервного лиття в кристалізатори ковзання. За принципом лікування заготовок ці методи поділяються на дві групи: методи лиття з відкритим і закритим рівнем. В основу поділу способів лиття в кристалізатори ковзання на підгрупи покладено особливості ливарних установок за розташуванням технологічної осі та напрямом витяжки заготовки.

В установках з відкритим рівнем розплав надходить у відкритий кристалізатор зверху. В установках закритим рівнем розплав надходить у кристалізатор з проміжної ємкості, при цьому надходження розплаву в порожнину кристалізатора регулюється швидкістю витяжки заготовки.

При лиття з відкритим рівнем початкова кірка утворюється при контакті розплаву з поверхнею кристалізатора і незначному піддається гідростатичному тиску. При лиття в установках із закритим рівнем кірка, що утворюється, щільно притискається до поверхні кристалізатора.

1 СПОСОБИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПРОЦЕСІВ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ

1.1 Структура та особливості безперервного лиття горизонтального типу

В установках безперервного горизонтального лиття основним конструктивно-технічним вузлом є металоприймач із кристалізатором. Розташування литникової системи в кришці металоприймача представляє класичну конструкцію ливарної форми, при цьому поєднуються процеси заливання та модифікування розплаву. У цьому випадку максимально використовується механізм модифікування за рахунок об'єднання процесів обробки розплаву та його кристалізації. Такі загтовки мають вищі механічні характеристики і щільність, зумовлюють зниження собівартість лиття на 40…45 % і збільшення виходу придатного лиття майже 2 рази підвищенням якості зливка. Безперервнолиті заготовки мають щільну бездефектну структуру, чисту поверхню, досить високу точність геометричних розмірів.

Опробовано маловідходну технологію безперервного горизонтального лиття порожнистих заготовок із антифрикційних марганцевих бронз із регульованим процесом кристалізації. Якість відлитих порожнистих заготовок оцінювалося виду поверхневих дефектів, мікро та макроструктурі, за точністю геометричних розмірів, хімічної однорідності та щільності. Отримані результати дозволили рекомендувати виробництво порожнистих заготовок із антифрикційних бронз із підвищеним вмістом марганцю.

1.2 Особливості конструкцій установок та оснастки безперервного горизонтального лиття

В установках безперервного горизонтального лиття заготівля рухається в кристалізаторі із зупинками: один цикл включає зупинку та витягування на величину одного кроку. Тривалість зупинки та величина кроку при витягуванні визначаються конфігурацією та масою заготівлі, складу ливарного сплаву та режимів лиття. Широкого поширення набула модернізована установка, що відрізняється від відомих меншими габаритами і масою, більш високою чистотою зливка, що видобувається, і широким варіюванням параметрів процесу. Привід установки складається з електродвигуна постійного струму, редуктора і механізму циклічного руху. Установка є чотириручковою лінією безперервного горизонтального лиття і має такі технічні характеристики:

- діаметр витягуваних злитків, мм, 22...150;
- тиск води, атм, 3;
- тиск повітря, атм, 5;
- напруга мережі живлення, В. 380;
- швидкість лиття, м / хв, 0,05 ... 1,5.

Застосування нагрівальних металоприймачів забезпечує постійну температуру розплаву і стабілізує процес лиття, у тому числі при отриманні тонкостінних профілів і порожнистих заготовок. Горизонтальне розташування технологічних елементів установок зумовлює значне зниження капітальних витрат на спорудження та виготовлення ливарних установок, що не вимагає високих будівель або підвалів, полегшує експлуатацію і надає можливість об'єднання попередніх і наступних операцій в єдину потокову технологічну лінію. Процес безперервного горизонтального лиття значною мірою підвищує технологічні характеристики: підвищується вихід придатного лиття, знижується частка ручної праці, скорочується чисельність робочого персоналу, підвищується

культура виробництва, відпадає необхідність додаткового технологічного оснащення тощо.

Рух заготовки по кристалізатору забезпечують клітки, що тягнуть, і приводи. Досить простим і надійним є привід з циклічним характером руху виливки, що містить електродвигун постійного струму та систему керування. Подібними приводами обладнані установки безперервного горизонтального лиття чавуну типу ЛНЛЧ-1 та ЛНЛЧ-2. Частота руху заготовок цих установках вбирається у 0,4…0,5 Гц. Часті цикли включення-вимикання супроводжуються великими пусковими струмами та динамічними навантаженнями на двигуни, які виходять його з ладу. Можливий варіант, при якому привід забезпечує циклічний рух виливки з використанням двох замкових захоплень, що працюють з частотою 0,6 Гц. При цьому ролики, що постійно обертаються, витягують виливок в момент її звільнення і ковзають по її поверхні в момент її затримки стопорами. Найбільш ефективним варіантом є використання приводів на основі крокових двигунів. Технічні можливості приводів на основі крокових двигунів значно ширші, проте вони мають досить складну систему управління. Система керування приводом забезпечує три робочі варіанти: з постійним кроком або постійною швидкістю при зміні частоти руху, незалежним один від одного завданням часу руху та зупинки заготівлі. Пристрій вторинного охолодження оснащений кожухом з отворами для зливка, який розділений на перегородки камери. Відведення охолоджуючої рідини з камер здійснюють через зливні отвори. Така схема дозволяє забезпечити рівномірне охолодження зливка зверху і знизу з різною інтенсивністю по кожній камері і виключити розбризкування води. Викладені варіанти стабілізує процес лиття та підвищують якість зливка.

Металоприймачі виготовляються у прямокутному, циліндричному чи еліптичному вигляді. Корпус виконується у зварному варіанті зі сталі та футерується вогнетривким матеріалом. В останні роки металоприймачі випускаються з індукційним підігрівом та пристроєм для контролю рівня

розплаву. Регулювання виходу розплаву з металоприймача кристалізатор проводиться спеціальними перегородками або засувками.

Кристалізатор є основним вузлом установок безперервного лиття. Конструкція кристалізатора має значний вплив на стабільність процесу кристалізації та забезпечення якості відлитих профільних заготовок. Останнім часом проведена оптимізація конструкції та основних параметрів ряду кристалізаторів, призначених для отримання заготовок як круглого та прямокутного перерізу, так і ряду складних. Для підвищення продуктивності процесу розливання кристалізатор виготовляють багаторуховим та моноблочним. Геометричні параметри кристалізатора надає вирішальну роль процес формування мікро і макроструктури заготівлі. Тривалий досвід експлуатації установок безперервного горизонтального лиття на підприємствах, обладнаних кристалізаторами різних конструкцій, дозволив встановити, що зусилля витягування, інтенсивність охолодження, структура та властивості зливу, стабільність процесу розливання та довговічність кристалізаторів залежать від їх конструктивних рішень та геометричних параметрів.

В результаті проведених на ЕОМ розрахунків із застосуванням розроблених метематичних моделей запропоновано узагальнюючі співвідношення для оцінки теплових умов формування заготовок для різних матеріалів кристалізаторів, їх функціональних параметрів типу розмірів, швидкостей, довжини кроку, частот витягування, часу руху та залишок у циклі.

Для спрямованої подачі розплаву металу в нижню зону робочої частини кристалізатора та зниження впливу шкідливих термоконвективних потоків використовуються розділові пристрої у вигляді пробок, виготовлених із щільного графіту та врізаного у графітову гільзу кристалізатора з боку металоприймача. Пробка має отвір для підведення розплаву металу в порожнину кристалізатора. Перепад температур між

доливками розплаву під час використання пробки вбирається у 40 °С, а без використання пробки – 5…80 °С.

1.3 Беззлиткове розливання-прокатка

До технології беззлиткової прокатки привернуто особливу увагу у багатьох країнах як до сучасного засобу виробництва якісних тонких смуг із різних металів та сплавів.

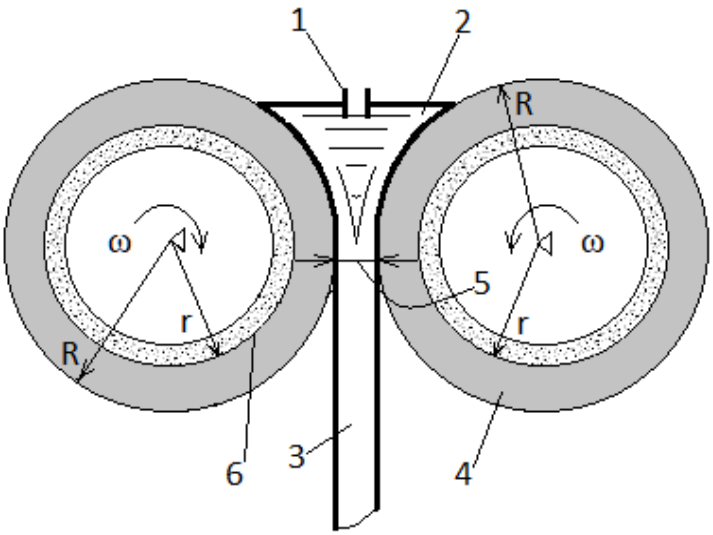
Дослідження призвели до створення ряду експериментальних, дослідно-промислових та промислових валкових розливно-прокатних агрегатів (РПА) для виробництва тонких смуг.

Беззлиткове розливання-прокатка тонких смуг дозволяє суттєво знизити виробничі витрати, тому що при цьому потрібна менша кількість операцій, а споживання енергії та капіталовкладень у кілька разів менше.

При беззлитковій прокатці тонких смуг гаряча прокатка зведена до мінімуму, забруднення води, що охолоджує, і утворення твердих шламів значно менше; відпадає необхідність у потужних нагрівальних печах та багатоклітьових станах.

Одним з найбільш перспективних та ефективних процесів виробництва сталевого листа є валкове розливання-прокатка [1.2]. Перевагою цього технологічного процесу є економія електроресурсів до 90% за рахунок компактності обладнання та відсутності проміжного підігріву матеріалу.

Основна особливість даного процесу виробництва тонкого плоского прокату полягає у формуванні смуги безпосередньо з рідкого металу шляхом кристалізації та подальшої деформації його між двома обертовими валками – кристалізаторами (рис.1.1) [1.3].



1 – фільєра подачі розплаву металу; 2 – розплав металу; 3 – закристалізована тонка смуга; 4 – бандажі валків-кристалізаторів; 5 – зона повної кристалізації; 6 – зона охолоджуючої рідини; R – робочий радіус валків; r – внутрішній радіус валків; ω– кутова швидкість обертання валків, рад/с.

Рисунок 1.1 - Принципова схема двовалкового розливання смуги із розплаву металу.

Після безперервного валкового розливу–прокатки матеріал без проміжного підігріву надходить у прокатну кліть для обтискання до заданої товщини з подальшою передачею на ділянку контрольованого охолодження для формування заданої мікроструктури та механічних характеристик.

Після охолодження смуга змотується у рулони. В даний час діапазон товщини смуг, що виробляються в агрегатах безперервного валкового розливу-прокатки, становить для промислових установок в межах 1 ... 5 мм, на лабораторних установках - 0,1 ... 3 мм [1.3].

При реалізації валкового розливу-прокатки, не дивлячись на простоту встановлення та зниження собівартості готового продукту існує ряд недоліків:

- розливаються розплави сплавів досить простого сортаменту (переважно вуглецева сталь звичайної якості);

- знижується якість товарної смуги внаслідок можливості утворення "вієрообразного" струменя, вторинного окислення струменя розплаву та

поверхні заготівлі в зоні активного рідкофазного охолодження металу та ранньої кристалізації металу;

- несуцільність і крупнокристалічна структура металу;

- незадовільний стан поверхні;

- неплощинність розлитих смуг;

- неоднорідність структури металу у зоні деформації;

- зміна рівня розплаву металу зі зміною швидкості витягування заготовки з кристалізатора;

- локального затягування шлаку із дзеркала розплаву металу в зазор затверділа оболонка заготовки – гільза кристалізатора [1.4].

Якість безперервно-литого продукту багато в чому залежить від вибору технологічних параметрів процесу розливання, розмірів прокату, марки сплаву. Сучасний стан теорії безперервного розливання сталі дає змогу визначити основні технологічні параметри розрахунковим шляхом.

Особливістю роботи двовалкових кристалізаторів є поєднання процесів кристалізації металу та його подальшої пластичної деформацією в просторі між двома валками, що обертаються назустріч один одному [1.5]. Метал, що у міжвалковому просторі, послідовно проходить через області кристалізації та деформації [1.6].

Розрахункові дані про довжину ділянки кристалізації є вкрай важливими при відпрацюванні процесу формування листа у двовалковому кристалізаторі [1.7].

Одним з головних параметрів утворення смуги є утворення кірки, що затверділа, на валку, товщина якої описується формулою (1.1) і відповідає достатньої точності для технічно чистих металів:

$$\delta = k \cdot \sqrt{\tau}, \tag{1.1}$$

де δ - товщина кірочки;

k - Коефіцієнт кристалізації;

τ – час.

Формула (1.1) використовується для оцінки товщини кірки та швидкості затвердіння розплаву, яка дає задовільну точність за умов затвердіння чистих металів у вузькому температурному інтервалі кристалізації [1.8].

У опублікованих працях Бровмана М.Я. [1.9] зазначається, що при валковій розливці металу час затвердіння досить мале, і для цього випадку слід використовувати більш точну формулу:

$$\delta(\tau) = (x_0^2 + 2k_0\tau)^2 - x_0, \qquad (1.2)$$

де $k_0 x_0$ - експериментальні постійні величини для даного металу.

У технічній літературі і наводяться для випадку затвердіння металів у злитках, коли між затверділою скоринкою і стінкою, що охолоджується, кристалізатора утворюється газовий (повітряний) прошарок, що знімає швидкість теплопередачі. Опублікованих робіт з експериментального дослідження параметрів процесів кристалізації $k_0 x_0$ розплавів металів при валковому розливанні вкрай мало.

Є можливість визначення профілю зони кристалізації розплаву металу шляхом розрахунку положення лінії солідуса по полю розподілу температур розплаву в міжвалковому зазорі. В основі теоретичних розрахунків профілю скоринки кристалізації використовується розв'язання рівнянь нестаціонарної теплопровідності методом кінцевих різниць [1.10]. Точність такого розрахунку залежить від значень експериментальних констант, що входять в рівняння теплопровідності, від параметрів тепловідведення у валки розплаву металу, що охолоджується, і від способів охолодження валків.

У роботі [1.11] представлені результати експериментальних досліджень про розподіл температур, що визначають розташування профілю скоринки кристалізації між валками. З аналізу результатів

випливає, що характер зміни відносної довжини зони деформації залежить від варіанта конструктивного виконання кліті машини валкового розливу-прокатки. Однак відносна довжина ділянки кристалізації зменшується зі збільшенням протяжності зони деформації. Ця залежність має вигляд, близький до параболічної функції. Зменшення товщини смуги призводить до збільшення довжини області деформації, при цьому інтенсивність зростання значень даної величини в діапазоні малих і великих товщин вище, ніж у середній частині інтервалу міжвалкових зазорів, що варіюється [1.12].

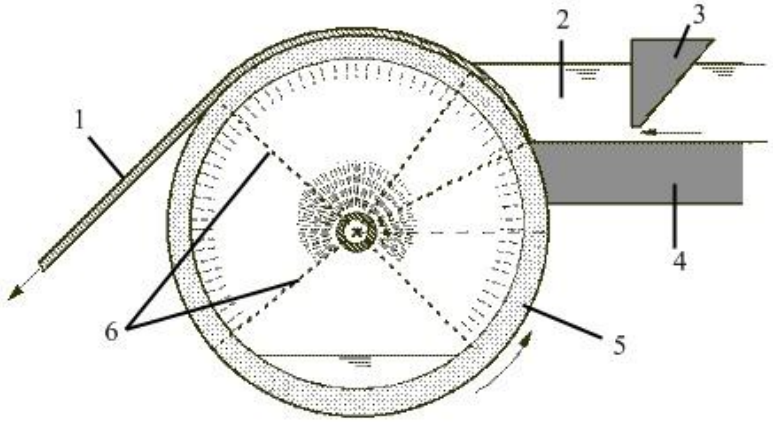
Важливе значення в розрахунку швидкості розливу набуває точного визначення зони змикання скоринок металу, що розливається, утворених на валках-кристалізаторах. З проведених розрахунків [1.1] випливає, що при реалізації валкового розливання смуги з обтисканням призводить до помітного зниження швидкості розливання-прокатки. При розливанні смуги товщиною 2 мм з обтисканням 15% швидкість розливання знижується в 3 рази порівняно з розливом без обтиснення.

Оптимальне значення положення зони змикання скоринок, що затверділи, регулюється розташуванням висоти заливки розплаву металу. Помилкове призначення висоти заливки розплаву металу призводить до збільшення ступеня деформації, що зумовлює процес виникнення у смузі тріщин та несплошностей.

Зі збільшенням висоти зони кристалізації-деформації підвищується температура смуги, яка пов'язана із збільшенням обсягу розплаву, що надходить у зазор між валками-кристалізаторами. При зниженні висоти ванни розплаву до певного значення температура лінії починає трохи знижуватися. Це пояснюється збільшенням протяжності зони контакту металу з поверхнею валків-кристалізаторів, при цьому відбувається інтенсивніше охолодження смуги [1.13].

У роботах авторів [1.14, 1.15] розглянуто процес одновалкового розливання-прокатки (рис.1.2). У процесі аналізу отриманих результатів

було встановлено, що при одновалковій розливці-прокатці найбільш важливим параметром є міжфазна теплопровідність.



1 - стверджена смуга сплаву; 2 – розплав сплаву; 3 - регулюючий затвор розплаву; 4 – дно ванни розплаву; 5 - валок-кристалізатор, що обертається; 6 – система водоохолодження валка.

Рисунок 1.2 - Схематичне представлення механізму одновалкового розливання тонкої смуги

Другим важливим керованим фактором одновалкового розливання є час контакту розплаву металу з валком-кристалізатором. Збільшення часу контакту зумовлює отримання більш товстої лінії на виході. Товщина смуги практично не залежить від температури розплаву та коефіцієнта теплопередачі. На товщину смуги переважно впливають тиск розплаву, швидкість обертання валка і відстань між валком і системою подачі розплаву.

Для різних способів безперервного одновалкового лиття характерна загальна характеристика: послідовне затвердіння частини рідкого металу шляхом наморожування. Наморожування відбувається в установках одновалкового розливання-прокатки (рис.1.2). Корка, що твердіє, рясно підживлюється розплавом сплаву, при цьому в ній не утворюється садинна пористість, неметалеві і газові включення відтісняються фронтом кристалізації на вільну поверхню. В результаті впливу цих факторів тіло виливки має підвищену щільність і міцність. Метод лиття наморожуванням

обумовлює можливість виготовлення тонкостінних виливків, щільність яких відповідає підвищеним вимогам [1.16].

Умови наморожування залежить від швидкості лиття: при великій швидкості обертання валків - наморжування реалізується в потоці; при малих швидкостях – у спокої.

В умовах безперервного наморожування товщина смуги є функцією параметрів технологічного процесу і залежить від умов теплообміну, а й від поверхневого натягу розплаву металу. Виливки постійної товщини можна отримати в процесі лиття при постійних значеннях довжини плями контакту розплаву з кристалізатором, швидкості обертання валка, температури заливки, умов охолодження валка [1.17].

Спосіб наморожування на один валок має перевагу перед двовалковим розливом. При одноваковому розливанні фронт кристалізації металу реалізується з боку валка і немає залишкового розплаву металу. В результаті смуга кристалізується без усадкової пористості, неметалевих включень та хімічної неоднорідності.

Тривалість процесу наморожування кірки визначається швидкістю руху поверхні валка-кристалізатора та висотою ванни з розплавленим металом.

Виливка в процесі формування та охолодження нерухома щодо валка-кристалізатора та переміщається разом з ним. Розплав металу в зоні наморожування нерухомий. У цьому випадку заповнення ванни розплавом, відведення теплоти розплаву, кристалізація виливки, її часткове охолодження та видалення виливки з валка відбуваються одночасно.

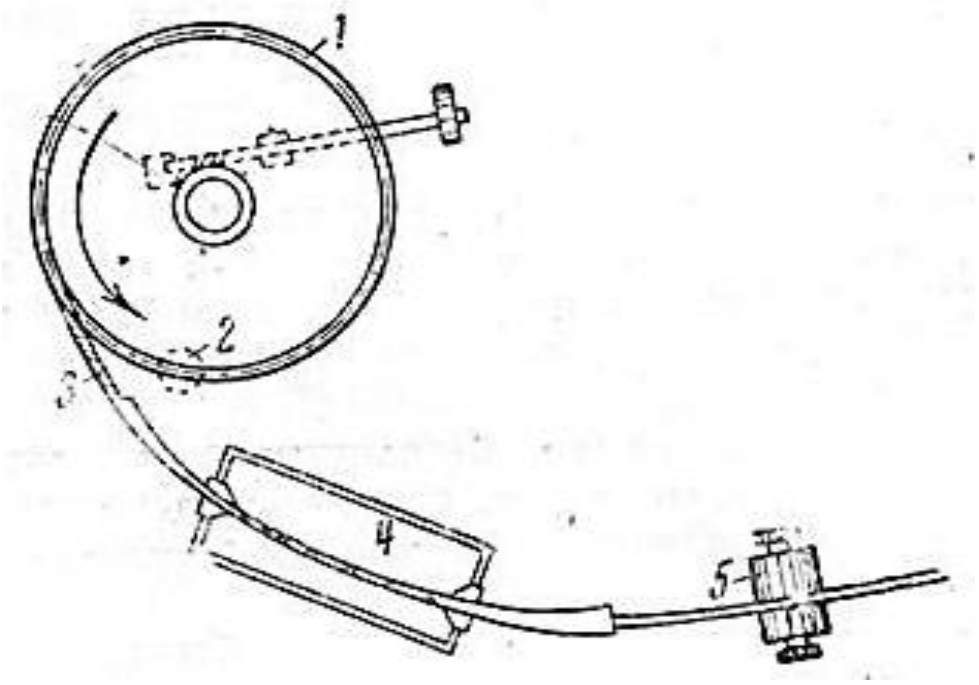
Формування виливки відбувається з високою швидкістю теплообміну між кіркою і валком-кристалізатором, тепловому і гідродинамічному впливі перегрітого розплаву на фронт кристалізації, вільній взаємодії поверхні рідкого металу з виливом [1.17].

В процесі застигання смуги на поверхні валка виникають дві зони контакту, що характеризуються коротким часом контакту та високим

коефіцієнтом теплопередачі. Теплопередача в процесі розливання смуги характеризується коефіцієнтом теплообміну між твердою смугою і мідним валком. Цей коефіцієнт зменшується і з часом формується друга зона контакту, яка визначається експериментальним шляхом аналізу широкого спектра процесів лиття [1.15].

1.4 Особливості одновалкового розливання тонкого листа

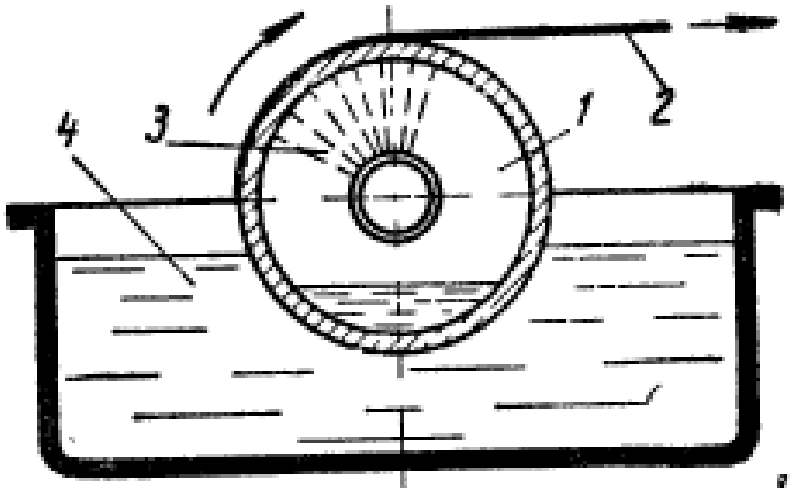
Науково-технічний інтерес представляє спосіб беззлиткової прокатки методом Коолхаса (рис. 1.3), запатентований Англії. Метод Коолхаса не знайшов практичного застосування. Технічне рішення методу передбачає заливку розплаву ковшом, що коливається, в кільцеподібний жолоб горизонтального столу, який обертається навколо похилої осі із закритою кришкою, яка захищає від впливу повітря канал для приймання металу.



1 - круговий формує жолоб; 2 - заливання розплаву металу; 3 — смуга, що кристалізується; 4 - система рідинного охолодження; 5 - система валкової протяжки.

Рисунок1.3 - Беззлиткове розливання за способом Коолхаса

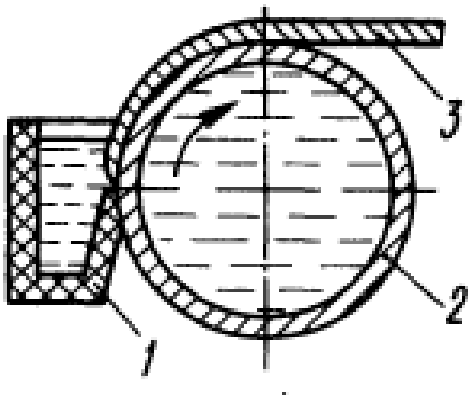
Спосіб Курилова і Шабанова [1.18] (рис. 1.4) передбачає наявність водоохолоджуваного валка, що обертається, який занурений нижньою частиною у ванну з розплавом металу. На робочій поверхні валка, що обертається, наноситься розплав металу з подальшим формуванням скоринки, яка, неприривно витягується з ванни і знімається з валка.



1 - водоохолоджуваний валок; 2 – стрічка, що формується; 3 – система охолодження; 4 – розплав металу

Рисунок 1.4 - Принципова схема формування стрічки з неприривним наносом та кристалізацією на робочій поверхні валка

Запропоновано більш прогресивну схему процесу одновалкового розливання розплаву металу, що подається з бічної ванни, яка розташована вище горизонтальної осі валка (рис. 1.5). для отримання металевих (алюмінієвих, цинкових, свинцевих) стрічок безперервним наморожуванням на валку. Так як міцність алюмінію та цинку поблизу температури кристалізації незначна [1.19], то виливок може легко зруйнуватися відразу після виходу з розплаву під дією власної маси та відцентрових сил при розташуванні ванни знизу під валком.



1 – ванна з боковою подачею розплаву; 2 - валок-кристалізатор, що обертається; 3 – стрічка, що формується.

Рисунок 1.5 - Схема формування стрічки з неприривною подачею розплаву металу з бічної ванни:

При безперервному одновалковому способі формування стрічки її товщина стає функцією параметрів технологічного процесу залежить від умов теплообміну, поверхневого натягу розплаву, нанесення розплаву металу на робочу поверхню валка і ряду інших чинників. Розлив виливки постійної товщини можна створити в умовах сталості довжина зони контакту розплаву з кристалізатором, швидкості обертання валка, температури заливки, умов охолодження валка [1.20].

Спосіб одновалкового розливання має перевагу в порівнянні з іншими методами в тому, що скоринка, яка утворюється на валці не має залишкового розплаву металу після з'єднання скорин, що утворилися. В цьому випадку виходить стрічка без лусочок і спайок, внутрішня поверхня виливка є фронтом кристалізації металу. При цьому виливок кристалізується без усадкової пористості, неметалевих включень та хімічної неоднорідності.

Процес одновалкового лиття передбачає послідовне затвердіння розплаву металу на робочій поверхні валка кристалізатора в умовах значно більшого об'єму рідкої фази ніж твердої. Головною відмінністю від звичайного лиття металу та сплавів є витяжка безперервнолитих виробів з дрібнозернистою структурою, без усадкових раковин, тріщин, неметалевих

включень. Основна вимога при одновалковому литті - точний розрахунок теплообміну між рідким металом і валком, що обертається. Цей метод характеризується відносною простотою, досить низькою ціною установок, низькими витратами на організацію процесу розливання та отримання тонких листів.

Висновки до розділу 1

Валкове розливання-прокатка є перспективним напрямом сучасної металургії.

Для вдосконалення методів валкового розливання-прокатки залучення математичних моделей та методів дозволяє оптимізувати розподіл температурних полів, формування фронту скоринки кристалізації розплаву металу та призначати оптимальні режими охолодження валків-кристалізаторів.

Промислове освоєння одновалкового розливу-прокатки не вимагає додаткових розрахунків, проте іноді виникає необхідність додаткового дослідження процесу теплопередачі між валком-кристалізатором і розплавом металу, впливу швидкості обертання валка-кристалізатора на утворення різнотовщності і нерівностей поверхні, що вільно затвердіває.

2 МЕТОДИ ОЦІНКИ ЗНИЖЕННЯ СИЛОВИХ ЗУСИЛЬ І ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТОНКОЛИСТОВОГО ПРОКАТУ

2.1 Розподіл механічної напруги при прокатуванні тонкого листа з примусовою подачею

Важливим фактором удосконалення якості процесу розливання та прокату тонкого листа є вдосконалення безпосередньо розливання та наступної безперервної прокатки. Важливу роль виконує прокатка, що забезпечує точність геометричних параметрів тонкого аркуша із забезпеченням заданих допусків. Процес розливу-прокатки повинен задовольняти вимогам мінімізації собівартості продукції, що випускається. Мінімальна собівартість передбачає економічне використання енергоресурсів та забезпечення високої якості одержаного продукту.

Зниження використання енергоресурсів базується у тому числі на вдосконаленні процесу прокатки із застосуванням методу примусової подачі відлитої заготівлі до зони двовалкової прокатки. У роботі [2.1] запропоновано варіант розрахунку процесу прокатки із примусовим харчуванням. В умовах безперервного розливу-прокатки з примусовим розливом під надлишковим зовнішнім тиском інертного газу створюються умови примусового подачі відлитої заготовки в зону прокатки. Розрахункова схема двовалкової прокатки з примусовою подачею відлитої заготовки представлена на рис. 2.1 [2.1].

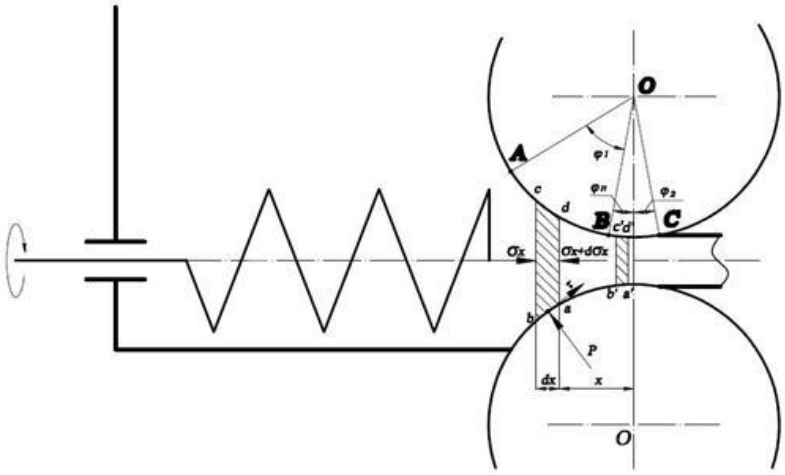


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема процесу деформування розлитої заготівлі

У зоні деформування заготовки можна виділити дві зони деформування. Перша зона, розташована по довжині дуги від точки А до точки, характеризується змінною зоною тертя з прослизанням заготовки щодо валків, при цьому швидкість обертання валків перевищує швидкість деформування заготовки. Друга зона за дугою В-С характеризується збільшеною швидкістю деформування заготовки, яка перевищує швидкість обертання валків.

На диференційно малому відрізку, розташованому на відрізку c-d, умова силової рівноваги є рівнянням першого порядку:

$$d\sigma_x + (P - \sigma_x)\frac{dh}{h} + \tau\frac{dh}{tg\varphi \cdot h} = 0, \qquad (2.1)$$

де σ_x - нормальна напруга стиснення примусової подачі заготовки;

P – питомий тиск на межі заготівля - валкок;

τ -сила тертя заготівля - валок;

φ – кут розташування виділеного елемента,

h – половина товщини виділеного елемента у перерізі координати x.

Враховуючи, що виконується умова $R>>h_0$, можливо отримати формули для визначення половини товщини та кут виділеного елеметнта:

$$h \approx h_0\left(1 + \xi^2\right), \tag{2.2}$$

$$tg\varphi \approx \xi\,\delta. \tag{2.3}$$

де: $\xi = x / \sqrt{2Rh_0}$;

$\delta = \sqrt{2h_0 / R}$;

R – радіус валків;

$2h_0$ – мінімальна товщина осередку деформації.

З урахуванням співвідношень (2.2) і (2.3) дозволяють уявити рівняння (2.1) у вигляді:

$$\frac{d\sigma_x}{d\xi} - \frac{2\xi}{1+\xi^2}\left(P - \sigma_x\right) + \frac{2\tau}{\delta\left(1+\xi^2\right)} = 0. \tag{2.4}$$

При прокатці з тиском підпору на виділений елемент abcd діє двостороннє стиснення: з боку подачі заготовки діє тиск σх, а з боку валків тиск Р. Виходячи з третього закону Ньютона слід співвідношення:

$$\frac{d\sigma_x}{d\xi} + \frac{2\tau}{\delta\left(1+\xi^2\right)} = 0. \tag{2.5}$$

Враховуючи залежність сили тертя від контактного тиску та швидкості прослизання заготівлі, що деформується, по поверхні валка з допустимою інженерною точністю можливо записати

$$\tau = \tau_0 + \mu_B P\left(\frac{\xi - \xi_н}{\xi_1 - \xi_н}\right)^S, \tag{2.6}$$

де ξ1 і ξн -координати перерізу входу та нейтрального перерізу в безрозмірному вигляді;

S – експериментальний коефіцієнт ступеня прослизання заготівлі, що деформується, відносно валка;

τ_0 – складність матеріалу.

Підставляючи співвідношення (2.5), (2.6) до рівняння (2.4), вийде диференціальне рівняння першого порядку щодо змінної ξ: $(\xi_1 \geq \xi \geq \xi_н)$:

$$\frac{dP}{d\xi} + A(\xi)P = B(\xi), \tag{2.7}$$

де

$$A(\xi) = \frac{2\mu_B}{\delta(1+\xi^2)}\left(\frac{\xi - \xi_H}{\xi_1 - \xi_H}\right)^S$$

$$B(\xi) = \frac{2\tau_0}{\delta(1+\xi^2)}.$$

Для вирішення рівняння (2.7) використовується гранична умова у вигляді:

$$P(\xi_1) = P_П, \tag{2.8}$$

де $P_П$ – тиск підпору при вході відлитої заготовки до зони між валками.

У зоні ділянки дуги валка ПС практично процесу прокатки заготівлі не відбувається. У цій зхоні товщина прокату залишається практично незмінною, проте за рахунок гідростатичного натиску деформована заготовка видавлюється в проміжок між валками. У цій зоні рівняння рівноваги елемента a'b'c'd' запишеться у вигляді:

$$d\sigma_x h_0 - \tau R d\varphi = 0 . \quad (2.9)$$

Враховуючи співвідношення (2.2), (2.3) та геометрію зони деформації А – В можна уявити співвідношення для зони В - С:

$$\varphi = \xi\delta . \quad (2.10)$$

Враховуючи (2.10), рівняння (2.9) перепишеться у вигляді:

$$d\sigma_x h_0 - \tau R\delta d\xi = 0 . \quad (2.11)$$

Приймаючи межу плинності заготівлі в зоні В - З постійним, можлива рівність:

$$d\sigma_x = dP . \quad (2.12)$$

Сила тертя у зоні В – З визначиться співвідношенням:

$$\tau = \mu_B P\left(\frac{\xi_н - \xi}{\xi_н - \xi_2}\right)^S . \quad (2.13)$$

Підстановкою рівностей (2.12) і (2.13) до рівняння (2.11), виходить диференціальне рівняння першого порядку для опису розподілу навантажень у зоні В – С в умовах $(\xi_2 \le \xi \le \xi_н)$:

$$\frac{dP}{d\xi} = \frac{2}{\delta}\mu_B P\left(\frac{\xi_н - \xi}{\xi_н - \xi_2}\right)^S . \quad (2.14)$$

Гранична умова рівняння (2.14) задається рівністю:

$$P(\xi_H) = P_{\max}. \tag{2.15}$$

Зі співвідношень теорії пружності випливають співвідношення:

$$\sigma_x = \alpha_2[(\lambda + 2\mu)\varepsilon_x + \lambda\varepsilon_y], \tag{2.16}$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial x}, \tag{2.17}$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial u_y}{\partial y}. \tag{2.18}$$

Виходячи з геометрії задачі (рис. 2.1) деформація по вертикальній координаті визначиться:

$$\varepsilon_y = \frac{h_1 - h}{h_1}, \tag{2.19}$$

де h_1 - половина товщини заготовки на вході в зону прокатки. Зміна половини товщини заготівлі h, що прокатується, в залежності від координати x матиме вигляд:

$$h = h_0 + R\sqrt{1 - (\frac{x}{R})^2}. \tag{2.20}$$

Відповідно до формули (2.2) співвідношення (2.20) перетворюється на вигляд:

$$h = h_0 + R\sqrt{1 - \frac{2h_0}{R}\xi^2}. \tag{2.21}$$

Перетворюючи (2.19) з урахуванням (2.21) деформації εу запишеться у вигляді:

$$\varepsilon_y = 1 - \frac{h_0}{h_1} - \frac{R}{h_1}\sqrt{1 - \frac{2h_0}{R}\xi^2} \quad . \tag{2.22}$$

Підставляючи формули (2.16), (2.18), (2.22) рівняння (2.7) і використовуючи (2.17), вийде диференціальне рівняння для деформації εх:

$$\frac{d\varepsilon_x}{d\xi} + C(\xi)\varepsilon_x + D(\xi) = 0 \quad , \tag{2.23}$$

де

$$C(\xi) = \frac{2\mu_B[(\xi - \xi_н)/(\xi_1 - \xi_н)]^r}{\sqrt{2Rh_0}\,\delta(1+\xi^2)}$$

$$D(\xi) = \frac{2\mu_б\lambda[(\xi - \xi_н)/(\xi_1 - \xi_н)]^r}{\delta(1+\xi^2)}\left(1 - \frac{h_0}{h_1} - \frac{R}{h_1}\sqrt{1 - \frac{2h_0}{R}\xi^2}\right) + \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu}\frac{h_0}{h_1}\frac{2\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \tag{2.25}$$

На вході в зону А – напруга σх дорівнює напрузі підпору РП. У цьому випадку початкова умова для рівняння (2.23) матиме вигляд:

$$x = x_1; \quad \varepsilon_x = \frac{1}{\lambda + 2\mu}P_П \quad . \tag{2.26}$$

Обчисливши деформації εх, εу в зоні А - Порізність сплаву заготовки визначиться:

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_1}{(1-\varepsilon_y)(1-\varepsilon_x)} \quad , \tag{2.27}$$

де α_1 - порізність на вході в зону прокатки.

Для перевірки результатів моделі було проведено експериментальні дослідження на лабораторній установці, принципова схема якої відповідає схемою, представленою на рис.2.1.

В експериментах використовувався в'язкопружний матеріал, виконаний відповідно до рецептури [4]. Пружні характеристики матеріалу та показники тертя визначалися за методиками [3, 5].

Проведено розрахунки розподілу питомих тисків за довжиною наведеної осьової координати ξ. У розрахунку приймалися валки діаметром 200мм. Розрахунки проводилися для швидкостей обертів валків 5, 10 та 20 об/хв. Результати розрахунків представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Розподіл питомого тиску при прокатці смуги в залежності від значення осьової координати активних зон валків

№ п/п	Наведена координата, ξ	Питомий тиск, 10^{-6} Па		
		N = 5	N = 10	N = 20
1	-1,5	0,8	1,0	1,1
2	1,1	1,8	1,9	2,0
3	-0,8	3,0	3,3	3,9
4	-0,2	7,8	8,0	8,1
5	0	8,0	8,0	8,0
6	0,1	7,0	6,3	6,1
7	0,4	3,0	3,4	3,8

Аналіз результатів розрахунку свідчить про вплив примусової подачі відлитої заготовки на розподіл питомого тиску у зонах деформування. Швидкість обертання валків зумовлює підвищення питомого тиску на вході в зону деформування на 25-30%, у зоні виходу з деформаційної зони до 13-26%. Розрахунки показали, що досягається необхідний тиск стиснення заготовки відлитої із застосуванням валків при менших значеннях діаметрів.

2.2 Методи підвищення якості прокату

Прокатні стани є важкими енергоємними системами, які пронкуються та виготовляються за індивідуальними замовленнями.

Більшість станів і їх кліті схильні до ударного характеру застосування навантажень, особливо в момент захоплення заготовки валками. Цей факт спричиняє формування значних динамічних навантажень, які різко знижують довговічність роботи обладнання. Збільшення продуктивності, розширення сортаменту продукції та поліпшення її якості призводить до інтенсифікації роботи прокатних станів.

Інтенсифікація роботи призводить до збільшення статичних і динамічних навантажень, збільшення ступеня зносу деталей, що зчленовуються, зниження довговічності, затримки процесу виробництва. Розрахунковий термін служби багатьох станів становить десятки років. Забезпечення працездатності обладнання прокатних станів базується на проведенні планово-попереджувальних ремонтів та практиці технічного обслуговування. Такий підхід дозволяє збільшити термін експлуатації прокатних станів, при цьому потрібні великі витрати на ремонт.

Протягом останніх 10–15 років велика увага приділяється визначенню технічного стану прокатного обладнання [2.1–2.9] із застосуванням методів вібраційної діагностики. Наголошується на перевагі методів вібраційної діагностики в умовах експлуатації станів з використанням систем контролю: підвищення якості прокату, оптимізація технологічних процесів та роботи обладнання, значне поліпшення системи ремонтів, спрямованої на технічний стан вузлів та елементів станів.

Сучасний розвиток інформаційних технологій, засобів і методів вібровимірювань, комп'ютерного аналізу результатів вимірювань, методів обробки великих масивів інформації став базою для розробки та впровадження систем вібраційної діагностики та моніторингу прокатного обладнання. Використання сучасних методів контролю та діагностики

передбачають широке коло розв'язуваних завдань та базових напрямів у проведенні досліджень:

1. Розробка діагностичного обладнання починаючи від вібраційних датчиків до портативних переносних реєструючих приладів [19–20], запровадження стаціонарних систем діагностики, які обслуговують металургійні агрегати [2.16].

2. Розробка загальних принципів та схем побудови діагностичних систем, їх організація, структура [2.16], обґрунтування необхідності застосування систем діагностики [2.12], аналіз досвіду їх застосування [2.13].

3. Розробка принципів технічного обслуговування та прогнозування термінів ремонтних робіт на підставі даних вібраційної діагностики та моніторингу [2.14].

4. Управління технічним станом обладнання за результатами там моніторингу та діагностики [2.15].

5. Дослідження вібродинамічних процесів у обладнанні прокатних станів, інформативних та діагностичних параметрів [2.15].

6. Дослідження зв'язку інформативних параметрів і діагностичських ознак з ТС вузлів та деталей обладнання, розробка правил ідентифікації ТС.

7. Розробка способів та методів вібраційного діагностування ТС лінії головного приводу та кліті як в цілому, так і окремих вузлів [2.16].

8. Розробка діагностичних моделей для дослідження вібродинамічних процесів, інформативних параметрів та ознак та їх залежність від параметрів ТС устаткування [2.17,2.18].

9. Розробка математичного та програмного забезпечення для обробки великих масивів вимірювальної інформації, пошуку та виділення діагностичних ознак, для візуалізації як власне процесів та його параметрів, і тенденцій у процесі тривалої експлуатації устаткування [2.20].

10. Розробка методів оцінки ефективності застосування вібрації ційної діагностики в частині попередження відмов обладнання та одержуваної економічної вигоди.

11. Розробка методів аналізу та оцінки впливу параметрів ТЗ обладнання клітей на якість прокату та забезпечення якості шляхом контролю стану устаткування [2.20].

Результати досліджень показують велику роль кутових зазорів, обумовлених зносом деталей, що стикаються, у формуванні динамічних навантажень в період захоплення заготовок валками. Такий вид навантажень призводять до втомного характеру руйнувань деталей ліній приводу та клітей. Небезпечними видами пошкоджень станів гарячої прокатки є поломки зубчастих передач редукторів і муфт, виходи з ладу робочих валків по шийках, головок шпинделів зі зіву і руйнування підшипників.

Аварійні простої листопрокатних станів становлять 12-15% від загального числа простоїв внаслідок поломок механічного обладнання станів. Поломки елементів шарнірів складають у незначну частину від кількості відмов із зносу робочих поверхонь. Для обойм зубчастих муфт характерне зминання зубів до їхнього загострення. Однак відмічені поломки порівняно мало зношених зубів втулок. Основною причиною таких поломок є ударний характер навантаження зубів, обумовлений наявністю зазорів в муфті [2.21].

У разі навантаження можливими стають поломки робочих валків, які мають найменший запас міцності [2.22]. Злами хвостовиків та шийок валків реалізуються під кутом 45° до осі валка. При цьому виникають великі навантаження та розпірні зусилля, що зумовлюють вихід із ладу підшипників робочих валків та валків шестерінної кліті.

Руйнування зубчастих передач у редукторах та шестеренних клітях характеризується тривалими простоями [2.23].

Значні ударні навантаження в редукторах зумовлюють появу та розвиток тріщин у корпусі і особливо в різьбових з'єднаннях фундаментних болтів із руйнуванням фундаменту.

З аналізу поломок прокатних станів, що виникають, слід, що найбільш якісно необхідно діагностувати знос, кутові і радіальні зазори дотичних деталей, які впливають на динамічні навантаження і, як наслідок, призводять до поломок обладнання.

Успішне використання методів та систем моніторингу та діагностики працездатності прокатних станів показує перспективність розвитку технічного обслуговування за фактичним станом обладнання на поточний час. Раптова поява вібрацій, що проявляються в «гудінні» табору, проявляється утворенням дефектів на готовому прокаті у вигляді поперечних світлих та темних смуг [2.24].

Зняті вібросигнали з валків кожної кліті піддаються аналізу та класифікуються за такими типами: вібрації – третя гармоніка, високочастотні коливання – п'ята гармоніка, биття валків. При фіксації високочастотних небезпечних коливань проводиться автоматичне зменшення швидкості головного приводу стану. У головному меню системи контролю представлені всі контрольовані вузли із зазначенням місць розташування контрольних датчиків.

Проводиться самоконтроль методом тестування датчиків та ліній зв'язку. Визначення ступеня пошкодження базується як на стандартних оцінках відповідно до нормативів, так і на відповідних показниках з урахуванням вузлів обладнання. У сучасній системі контролю передбачено загальну оцінку стану обладнання за допомогою однієї величини – циклічного діагностичного. Застосування такої системи дозволило зменшити вплив коливань на роботу обладнання та якості прокату.

Така система успішно функціонує в умовах високого рівня перешкод у процесі роботи обладнання та низької кількості обертів валків при високих зусиллях прокатки. Виділення діагностичної ознаки здійснюється за

допомогою відповідних фільтрів. При виявленні дефекту автоматично надсилається сигнал тривоги на пульт оператора.

Особливо важливим є можливість високого ступеня модульності та сумісності вимірювальних систем, програмних засобів та апаратної частини системи. Це дозволяє оптимально пристосовувати систему до окремих вузлів, клітей, груп клітей або багатоклітинних прокатних станів. Стандартні протокольні зв'язки забезпечують можливість підключати систему до різних систем автоматизації. Кожна вимірювальна система оснащена власною ЕОМ та системою реєстрації даних контролю.

У системі MiDaS реалізований контроль за граничними параметрами стосовно конкретного прокату, це дозволяє автоматично розпізнавати рулон, прокатаний з порушенням режиму прокатки з подальшим контролем його якості. Система MiDaS надає можливість накопичення великого досвіду у пошуку причин неполадок та встановити їх пов'язати з якістю прокату та подальшою розробкою заходів щодо усунення поломок.

Система Д-ТЕСТ є самостійною системою контролю та діагностики підшипників кочення та редукторів з можливістю спостереження за великим числом підшипників. Пошкоджений підшипник валка виявляється на ранній стадії, тому надається можливість його заміни на найближчій плановій зупинці стану. Система Д-ТЕСТ розрахована на підключення до 256 детекторів до одного комп'ютера.

Можливість контролю технології та стану обладнання на станах холодної прокатки надають хороші можливості забезпечення якості прокату. Коло завдань системи контролю становлять:

- опис технологічного процесу, обладнання та продукції на поточний момент часу та довжини смуги;

- прогноз станів техпроцесу, обладнання та продукції;

- відпрацювання заходів, що усувають шкідливі наслідки відхилень від заданих параметрів;

- інформаційна підготовка для діагностики несправностей, а також безпосереднє діагностування.

На п'ятиклітинномустан холодної прокатки використовується безперервно діюча система контролю вузлів та елементів обладнання KAUS [2.8]. До комплексу сучасних методів архівування, візуалізації та обробки інформації в системі KAUS використовуються варіанти застосування автоматичних методів визначення параметрів відповідно до довжини смуги, що прокочується, і введення інформації в комп'ютер. Передбачено можливість складання користувачем будь-яких нових сценаріїв та збереження їх для майбутніх випадків застосування. Використання системи KAUS поряд зі зниженням витрат внаслідок швидкого виявлення причин неполадок дозволяє виявити середні та довгострокові взаємозв'язки між основними параметрами процесу, станом обладнання та якості продукції. Крім того, за допомогою системи KAUS можна отримати спільні передумови для економічної оцінки впливу використання системи на якість продукції.

Розроблено систему раннього попередження про поперечну хвилястість з автоматичним втручанням у процес на підставі контролю за процесом прокатки та станом вібрації валків.

Фірма Voest-Alpine Stable Linz спільно з Інститутом промислових досліджень розробила і змонтувала таку систему на стані дресирування. Метою було зниження поперечної хвилястості смуги, яке має призвести до запобігання затримкам з відвантаженням, зниження сортності, шлюбу та рекламацій. Сума збитків від цього становила близько 230 тис. марок на рік. Використання контролю дозволило заощадити близько 170 тис. марок на рік на зміні валків [2.8]. Тут же наводиться приклад ефективності застосування пристрою, що знижує поява такого дефекту, як періодична поздовжня різнотовщинність смуги, що прокочується в безперервній групі клітей стану холодної прокатки – кількість урвищ смуги протягом року знизилося на 10.

За вартості кожного обриву близько 50 тис. марок річний економічний ефект становить близько 500 тис. марок.

На безперервному п'ятиклітьовому стані холодної прокатки зафіксовано акустично чутні коливання типу гудіння з частотою близько 125 Гц [2.7]. З метою тривалого та постійного забезпечення якості на стані встановили систему спостереження за коливаннями Подання виміряного сигналу коливань в координатах частота коливань - частота обертання валків з урахуванням часу прокатки рулона дозволяє знайти та ідентифікувати частоти, що обурюють.

Повідомляється, що один обрив смуги на стані холодної прокатки призводить до витрат близько 100 тис. марок. Якщо прийняти, що за рік внаслідок коливань, що обурюють, відбувається 10 обривів смуги, то розрахунок показує, що система спостереження з попередженням про коливання типу гудіння окупиться за кілька тижнів або місяців.

Система діагностики агрегатів (DIAL) заснована на базі знань і дозволяє операторам прокатних станів швидко та кваліфіковано реагувати на ситуацію у разі несправностей [2.4]. У базу включені знання експертів, операторів та майстрів прокатних станів, керівництва цеху, конструкторів, виробників обладнання), технологічні схеми, математичні моделі, результати раніше виконаних аналізів процесу, протоколи несправностей, експлуатаційна документація та спеціальна технічна література, схильна до відповідної обробки та інтерпретації. Характерно, що знання про процес та досвід, накопичений при експлуатації прокатного стану, викладені та документовані в експертній системі DIAL природною мовою.

У разі виникнення нештатної ситуації або неполадки в мережу посилається відповідний сигнал та консультативна функція експертної системи запускається автоматично. Дані вимірювань про процес, що використовуються в системах автоматики та зареєстровані мережею, приймаються експертною системою в режимі он-лайн для вироблення діапазону на основі бази даних. Показано, що при впровадженні дослідного

зразка вдалося підтвердити функціональну працездатність прийнятого рішення щодо автоматизації для постійного спостереження за якістю та діагностики дефектів під час виробництва безшовних гарячекатаних труб.

Зазначено, що позитивні результати у розглянутій роботі отримані без використання даних вібровимірювань, залучення яких суттєво підвищило б її ефективність.

Фахівцями на початковому етапі роботи системи вібраційної діагностики, встановленої на дротяному стані 150 Макіївського металургійного комбінату, виконано аналіз інформативних параметрів та ознак високочастотного чистового блоку. Отримані результати показали різноманіття та багатоплановий взаємозв'язок вібропараметрів у різних точках блоку та складність побудови правил розпізнавання технічного стану конкретних вузлів блоку.

Висока інформативність має крутний момент в лінії головного приводу. Безперервна його реєстрація та аналіз дозволяють зробити висновок про якість технологічного процесу та стан обладнання. Однак вимірювання моменту за електричними параметрами приводних двигунів не дозволяє достовірно визначати динамічні піки навантаження та складову моменту на частотах своїх коливань механічної системи лінії приводу (10–20 Гц). У зв'язку з цим для діагностичних пелей_пропонується використовувати системи вимірювань крутильних коливань [2.5, 2.22]. При цьому зазначається, що поряд із моментом необхідно отримувати й інші сигнали типу частоти обертання приводу, сили струму електродвигуна, зусилля прокатки.

Дані одночасного запису крутного моменту та температури блюмів у часі в рейкозасобній кліті дозволили встановити, що поломка валків відбулася через поступове зростання навантаження в лінії приводу, обумовленого зниженням температури від блюму до блюму [2.7]. Аварійне відключення не передбачалося, внаслідок чого й сталася аварія. Запис крутного моменту на верхньому і нижньому шпинделі кліті №2

семиклітинного широкосмугового стану гарячої прокатки показало, що причиною поломки зубчастого шпинделя став суттєво нерівномірний розподіл моментів між верхнім та нижнім валками. Показано [2.7], що окупність капіталовкладень у систему для спостереження за агрегатами з вимірюванням крутного моменту була досягнута приблизно за 14 місяців.

Контроль зміни крутного моменту у часі відкриває широкі можливості реєстрації та вдосконалення режимів роботи обладнання та діагностики його стану:

- оптимізація профілів деформаційно-швидкісного режиму між проходами або клітями, при прокатуванні нових профілів або вдосконалення технології;

- реєстрація та аналіз подій, що є причиною аварій;

- встановлення тенденцій виявлення прихованих причин неполадок;

- оцінка залишкової довговічності деталей, небезпечних по втомному руйнування з метою організації ремонтів залежно від пошкодження.

Для вивчення цих можливостей на головних приводах чотирьох клітей рельсобалкового стану №2 фірми ”Ньюкор-Ямато Стіл” на верхньому та нижньому шпинделях встановили вимірювальний пристрій – «електронний перетворювач крутного моменту» [2.22]. Вісім сигналів моменту, що крутить, передаються в автоматизований модуль спостереження за станом клітей. Разом із ними контролюються зусилля прокатки, частота обертання приводу, сила струму в якорі, температура розкату та ін. З моменту пуску в експлуатацію прокатного стану система успішно застосовується для аналізу несправностей, оцінки завантаженості клітей та управління при плануванні оглядів вузлів обладнання та проведення ремонтних заходів.

Висновки до розділу 2

1. Аналіз результатів розрахунку вказує на позитивний вплив примусової подачі відлитої заготовки на розподіл питомого тиску у зонах деформування. Розрахунки показали, що досягається необхідний тиск стиснення заготовки відлитої із застосуванням валків при менших значеннях діаметрів.

2. Представлений аналіз публікацій свідчить про активне винекнення вібраційної діагностики обладнання прокатних станів та ефефективності використовуваних систем.

3. В опублікованих роботах практично не розкриваються використовувані способи діагностування навіть у випадках використання загальновідомих методів кореляційного та спектрального аналізу.

4. В цілому показано, що розвиток вібродіагностики знаходиться на початковому етапі та можливості методів вібродіагностики нині далеко ще не вичерпані.

5. На металургійних підприємствах створюються підрозділи технічної діагностики та моніторингу обладнання. В останні роки активно розвиваються теоретичні питання діагностування та моніторингу обладнання. Водночас необхідне розширення та поглиблення досліджень вібродинамічних процесів у тісному зв'язку з технологічним процесом та моніторингом навантажень.

6. Успішна діагностика не може бути здійснено лише за рахунок придбання сучасної системи. Необхідно мати великі знання в галузі роботи прокатного обладнання та вібродинамічних процесів та висока компетентність фахівців експлуатують та обслуговують прокатні стани.

7. Аналіз відмов обладнання прокатних клітей та економічних втрат дозволяє виділити один з актуальних напрямів подальшого розвитку вітчизняних методів та способів вібраційної діагностики та моніторингу прокатного обладнання.

3 АНАЛІЗ І РОЗРОБКА ПРИНЦИПІАЛЬНИХ СХЕМ РОЗЛИВКИ І ПРОКАТУ ТОНКОГО ЛИСТА

Сучасна металургійна промисловість в Україні потребує реструктуризації та відновлення. Насамперед це стосується необхідності розширення спектра застосування безперервного розливання сталі у поєднанні з ливарно-прокатними комплексами (ЛПК) листового прокату. Дана технологія на сьогоднішній день є однією з найефективніших у металургійній промисловості у всьому світі. Вона дозволяє в середньому знизити витрату сталі на 1 тонну прокату та енерговитратність на проведення всіх необхідних процесів.

Поєднання розливу сталі з прокаткою успішно застосовується у розвинених країнах. Наприклад, у Європі представленатехнологія займає 87% всього металургійного виробництва, у Японії – 94,4%, а Китаї – майже 99%.За даними WorldSteel, у 2017 році частка МНЛЗ у загальному виробництві стали в Україні ледве перевищила 51%.

У 2019 році цей показник в Україні мав суттєво збільшитися. На меткомбінаті м. Маріупіль вже почалися гарячі випробування нової слябової МНЛЗ, завдяки якій виплавка сталі має зрости з 3,1 млн т до 4,3 млн т на рік. Вартість проекту — 150 млн дол. Дві нові МНЛЗ, на яких виготовлятимуть квадратну заготівлю, добудовують на АМКР. Вартість проекту - близько 144 млн дол.

Перспективи запровадження такої технології вивчають на Дніпровському метзаводі. "Планується направити близько 50 млн дол. на будівництво відділення безперервного розливання сталі (дві установки "піч-ківш" і п'ятиручкова машина безперервного лиття заготовок)", - розповіли в прес-службі підприємства. Зараз вся сталь ДМЗ розливається в зливки з подальшою обробкою на обтискному стані блюмінгу [1].

В розвинених країнах витрата на виробництво 1 тонни прокату становить 1,044 тонни сталі, тоді як в Україні цей показник на 30% вищий [2-6].

Вивченням процесів безперервного розливання сталі в різних країнах світу почали ще з 30-40 років минулого століття, але пік розвиток цієї технології припадає на 60-ті роки. Тоді для виготовлення прокатного листа застосовувалася цілком консервативна схема: виробництво сталі в мартенівській печі (конвекторі) > розлив у плоскі зливки > отримання слябів > прокатка листа до товщини, зазначеної в технічному завданні > прокатка на станах холодного прокатки. Для здійснення всього цього ланцюжка процесів була потрібна значна кількість енергії. До того ж, спостерігалася значна втрата металу. В результаті 1 тонна прокату виготовлялася з 1,4-1,5 тонн рідкої сталі.

У наступне десятиліття XX століття (70-80-ті роки) схема розливання стали набула більш ефективного характеру. Вона мала такий вигляд: виплавка сталі в конвекторі > продування сталі в ковші інертним газом > розливання сталі на слябовій МНЛЗ (товщина 200-300 мм) > гаряча прокатка слябів до заданої товщини > прокатка на станах холодної прокатки. Для виготовлення 1 тонни прокату за представленою схемою потрібно в середньому 1,25-1,3 тонни рідкої сталі.

Починаючи з 90-х років минулого століття на модернізованих металургійних підприємствах стали застосовувати найефективнішу технологічну систему отримання тонкого аркуша, яка набула назви ливарно-прокатний модуль (ЛПМ). Розробники інноваційної на той час методики успішно об'єднали процес розливання сталі в заготівлі з наступною гарячою прокаткою. В цілому схема складалася з наступних процесів: виплавка сталі в дуговій печі або конвертері > доведення сталі на установці «ковш-піч» > розливання сталі (товщина слябу 50-70 мм) та його гаряча прокатка на прокат на ЛПМ > прокатка на станах холодної прокатки. Ефективність такого ланцюжка склала 1,1-1,2 тонн сталі на 1 тонну прокату.

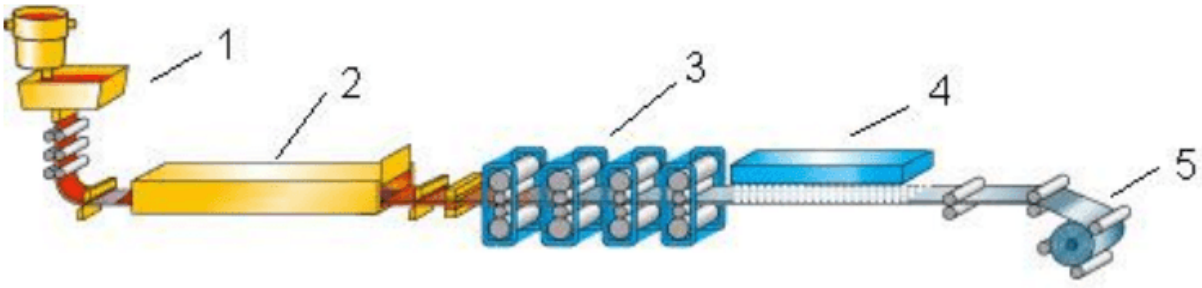
Крім того, вдалося заощадити і енергетичні витрати. Адже технологічний ланцюжок значно скоротився. У 1995 році у світі діяло 1686 МНЛЗ.

За останні роки в розвинених країнах світу удосконалилися не лише схеми безперервного розливання сталі з подальшим отриманням тонкого листа, а й МНЛЗ. Якщо взяти до уваги думку авторів, зазначених нижче джерел, найбільш видатні технічні рішення та промислові результати були досягнуті при розливанні сталі на середній та тонкий сляб, який потім прокочується на тонкий аркуш в єдиному технологічному ланцюзі. Дана технологія успішно застосовується на наступних підприємствах: SMS Demag [CSP (Compact Strip Production — компактне виробництво смуги)], Primetals [ESP (Endless Strip Production — виробництво нескінченної смуги)] і Danieli [fTSC (Flexible Thin Slab Caster) — лиття тонких слябів1 [7]

Перше покоління ЛПМ дозволило видавати підприємствам річний виробничий обсяг у кількості 0,8-0,9 млн т рулонного гарячекатаного листа. Нове покоління машин відомої компанії «Danieli», які діють на південнокорейському підприємстві «Posco» - демонструє продуктивність у 2 млн т/рік на один струмок. Швидкість розливання на ЛПМ нового покоління складає 7 м/хв.

Якщо говорити про найбільш поширені моделі модулів, то варто згадати ЛПМ «SMS Demag (CSP)». Представлене обладнання успішно функціонує як на міні-підприємствах, так і конвертерних цехах. Невеликі заводи набули досить високого рівня популярності у багатьох країнах світу. Так у США міні-заводи становлять 40% металургійних компаній, у Західній Європі – 20%, у країнах, що розвиваються, у тому числі Індії, Китаї – 30%.

ЛПМ CSP (рис. 3.1) виконує наступні технологічні процеси: розливання сталі на тонкослябовій вертикальній МНЛЗ, нагрівання та вирівнювання температури тонкого слябу в спеціальній печі, прокатка тонкого сляба на 6- або 7-струмовому безперервному стані з отриманням гарячекатаного рулону.



1- МНЛЗ; 2-прохідна піч; 3-прокатний стан; 4-дільниця охолодження; 5-моталка

Рисунок 3.1 - Одноручний агрегат CSP прямої прокатки смуги

Під час функціонування ЛПМ CSP виконуються такі завдання:

- поділ процесів розливання та прокатки;
- збільшення продуктивності з допомогою наявності другого струмка;
- розширення асортиментних можливостей продукції, що випускається;
- наявність буферного часу для перевалки робочих валків прокатного стану;
- гнучкі концепції суміщення роботи МНЛЗ та прокатного стану;
- оптимальна технологічна довжина ЛПМ – 380-400 м-коду.

Порівняно з традиційною установкою товстослябової МНЛЗ та широкосмуговим станом гарячої прокатки ЛПМ CSP має низку вагомих переваг. В останньому випадку існує можливість функціонування комплексу як з одного, так і двома тонкослябовими МНЛЗ на один струмок. Крім того, технологічний ланцюжок супутніх процесів зведено до мінімуму, оскільки виключаються проміжні етапи охолодження та нагрівання заготовки. На різних струмках МНЛЗ можуть одночасно випускатися продукція різних геометричних параметрів і відмінна за показниками фізико-хімічних властивостей. Достатньо зручно і те, що ЛПМ CSP можна

зводити поетапно. Оптимальна товщина слябів на представленому модулі становить 60-70 мм при швидкості витяжки заготовки 6 м/хв.

Але при розгляді сучаснішої версії заводу, основна частина виробництва якого здійснюється на ЛПМ, варто звернути увагу на металургійне підприємство «Big River». Він розташований у США, штат Арканзас. У роботі [12] зазначено такі технічні показники американського підприємства:

Місткість сталерозливного ковша, т	150
Місткість проміжного ковша, т	30
Товщина слябу, мм	55-85
Ширина слябу, мм	900-1980
Максимальна температура нагрівання у печі, °С	1250
Температура слябу на виході, °С	1050-1220
Ширина листа, мм	900-1980
Товщина листа, мм	1,55-25,4
Маса рулону максимальна, т	40,3
Річне виробництво (1 лінія), млн т	1,5

Використання ЛПМ ESP фірми Primetals надало виробнику нових технологічних можливостей. Зокрема, вдалося за допомогою модуля вдалося поєднати процеси безперервного розливання та прокатки. Удосконалена конструкція тонкослябового кристалізатора та обладнання для обтиснення слябу з рідким серцевиною дозволяють отримати дрібнозернисту структуру тонкого слябу з рівномірним розподілом температур перерізу.

У ЛПМ ESP є продумана система охолодження. Вона забезпечує раціональне розподілення температур з інверсійним температурним профілем по всій товщині слябу. Система прокатки ЛПМ ESP безперервнолитої заготовки з малою швидкістю (потокової прокатки) з

отриманням тонких слябів, що прокочуються на таборі з високим обтисканням із забезпеченням опуклості проміжного прокату на величину 2%. Крім того, спостерігається гнучкий процес прокатки у чистових клітях.

Варто зазначити, що в агрегат ЛПМ ESP може завантажуватися практично будь-яка сталь: від низьковуглецевої м'яких до легованих і високовуглецевих металів. Товщина листа становить 0,8-12,7 мм. Тонкий прокат із товщиною 0,8-1,0 мм цілком може замінити холоднокатаний лист.

Ознайомитися з ефективністю ЛПМ ESP можна на представленій схемі (рис. 3.2). Як бачимо, експлуатація такого агрегату забезпечує суттєве зниження необхідного рівня інвестицій завдяки компактній конструкції агрегату та ефективному компонування прокатних клітей, а також низькі витрати при виробництві за рахунок раціонального використання тепла.

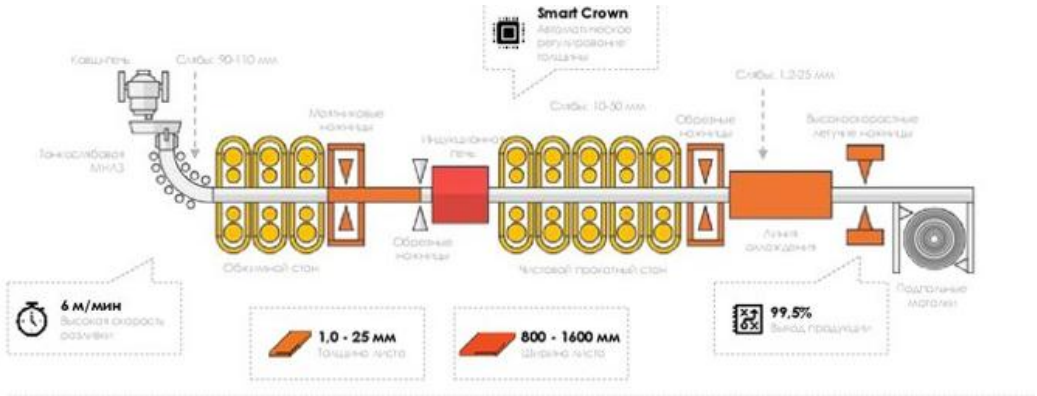


Рисунок 3.2 - Принципова схема ливарно-прокатного модуля ESP

Серед переваг представленої схеми можна назвати отримання однорідної структури готової продукції. Досягати такого результату дозволяє пряме подання слябів на прокатку до групи обтискних клітей. Прокатка нескінченної смуги дозволяє знизити до мінімуму ймовірність похибок під час технологічного процесу, що сприятливо позначається коливаннях фізико-хімічних властивостей готових листів. Однак ЛПМ ESP не дозволяє працювати двома струмками, що веде до відсутності буферного часу для перевалки валків та обмеження продуктивності.

Не можна обійти повз і схему функціонування МНЛЗ, що забезпечує пряме отримання тонкого листа. Застосовуваний агрегат у цій технології – «Castrip». Він розташований на заводі Nucor Steel, м. Кроуфордсвіл, штат Індіана, США. Суть сучасної схеми отримання тонкого листа полягає в розливанні сталі між двома валками, які обертаються в протилежних напрямках і служать для формування твердих скоринок листа, що виготовляється [13]. У точці зіткнення валків відбувайся з'єднання сформованих скорин і з'єднання їх у безперервну смугу (рис. 3.3).

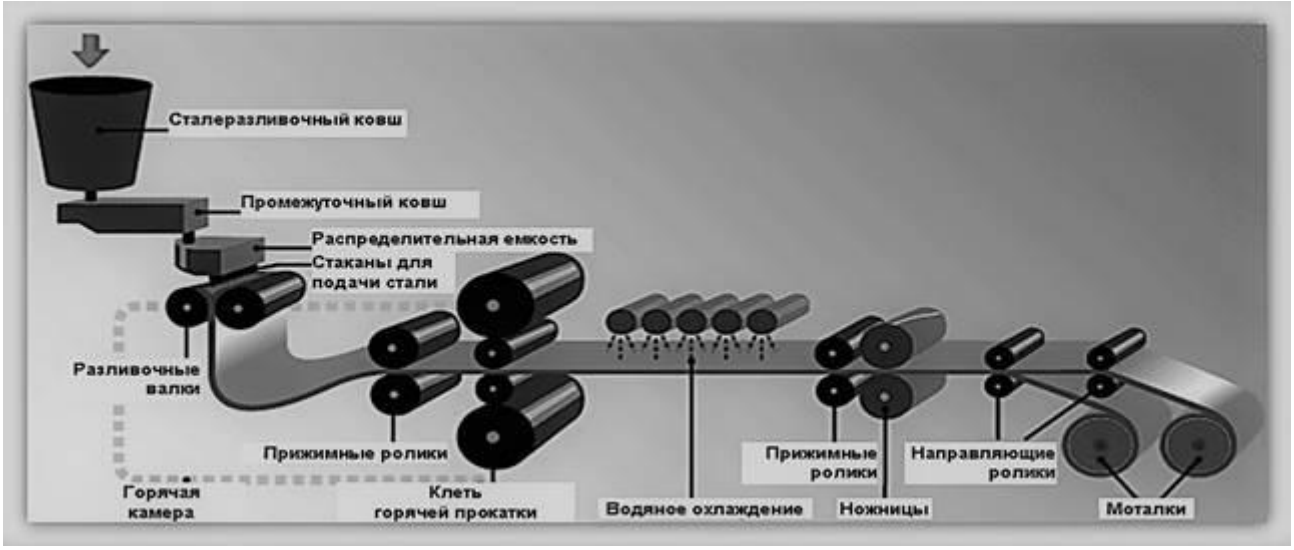


Рисунок 3.3 - Схема ливарно-прокатного агрегату Castrip

Двохухвалі МНЛЗ є економічно вигідними агрегатами і представляють величезний потенціал у галузі економії енергетичних ресурсів. У 40-50 разів знижуються втрати з окалиною, у 5-10 разів збільшується продуктивність роботи персоналу. При суттєвій економії витрат на капітальне будівництво спостерігається зниження викидів парникового газу в 10-20 разів.

Варто відзначити і той факт, що установка Castrip має більш високу швидкість розливання сталі і відповідну швидкість охолодження оболонки заготовки в порівнянні з ЛПМ CSP і ESP. При цьому товщина литої заготовки у 25-30 разів менша.

Розглянуті схеми дозволяють зробити висновок, що безперервне розливання сталі надає всі можливості суттєво модернізувати систему технологічних операцій та видозмінити роботу основних агрегатів стосовно конкретного підприємства. Найбільшу ефективність методу м'якого обтиснення заготовки з рідким серцевиною, а також процес електромагнітного перемішування металу в кристалізаторі ми можемо спостерігати саме в ЛПА.

У майбутньому є ймовірність розширення спектру процесів доведення сталі за ступенем якості, температури, хімічного складу в проміжному ковші ЛПА. Нагадаємо, що традиційна схема розливання металу передбачає проведення всіх цих операцій на установці ковш-піч.

Сьогодні система поєднаних технологій виробництва металопродукції, починаючи з підготовки руди і закінчуючи безперервним розливом сталі, прокатом заготовки, з кожним роком піддається трансформуванню, що не тільки забезпечує ресурсо- та енергозберігаючий результат, а й підвищує конкурентоспроможність продукції на світовому ринку. Для модернізованих важливих схем розливу і прокату тонкого листа характерні такі риси:

1) підвищення продуктивності сталеплавильних агрегатів при завантаженні в них напівпродуктів з низьким вмістом домішок та вуглецю;

2) підвищені вимоги до якості заготівлі, що виготовляється методом безперервного лиття;

3) розливання стали тільки на МНЛЗ нового покоління – ЛПА;

4) комплексне доведення металу в сталерозливному та проміжному ковші;

5) використання методу м'якого обтиснення заготовки з рідкою серцевиною;

6) розширення меж методів електромагнітної обробки сталі в кристалізаторі та підвищення ефективності перемішування металу в ньому. І тому потрібна оптимізація зміни кристалізатора поруч із новими

технічними рішеннями у сфері занурювальних склянок, і навіть збільшення кількості вихідних отворів;

7) посилення вимог до енергозбереження та екологічності виробництва;

8) реалізація цифрових моделей, що дозволяють оптимізувати всі технологічні параметри, важлива ланка для розливання та прокатки сталі.

Таким чином, узагальнюючи розглянуті дані, можна стверджувати, що сталеплавильні міні заводи для отримання листової продукції можуть бути досить привабливими для інвесторів через ряд економічних та технологічних переваг. При цьому дуже широкі перспективи для використання в технологічних системах сучасних міні заводів можуть мати двовалкові МНЛЗ для отримання тонкого листа. При цьому можна стверджувати, що технологія прямого відливання тонкого листа на двовалковій МНЛЗ виключає такі операції традиційного процесу, як виливок та зачистка слябів, їхнє повторне нагрівання та прокатку. Внаслідок цього значно скорочуються капітальні вкладення, пов'язані з обладнанням, та зменшуються енерговитрати.

3.1 Сплави на основі алюмінію длябезперервного лиття

Деформуються сплави, застосовують для неперервного лиття круглих та плоских заготовок, які в подальшому піддають гарячій або холодній обробці тиском. Для підвищення міцності та спеціальних характеристик такі сплави термічно обробляють.

Існують різні види термічної обробки. Гомогенізуючий відпал використовується для усунення дендритної ліквації у заготовках перед пластичною деформацією.

Рекристалізаційний відпал сплавів після їх деформації застосовують для зняття наклепу та отримання дрібного зерна у виробах.

Проводять також гартування та старіння сплавів, які сприяють розпаду пересиченого твердого розчину та коагуляції у ньому зміцнювальних фаз. Внаслідок цього підвищується пластичність та корозійна стійкість сплавів.

Особливістю алюмінієвих сплавів є малий температурний інтервал нагрівання при гартуванні.

Витримка в процесі гартування повинна бути мінімальною і забезпечувати розчинення надлишкових фаз у твердому розчині. Витримка виробів при температурі закалювання складає 2-15 годин. За цю годину повинні диспергуватися грубі інтерметалідні фази у сплавах.

Старіння загартованих сплавів на повітрі за нормальної температури протікає кілька діб (природне старіння). За підвищеної температури (150-200°С) старіння проводять протягом 10-24 годин (штучне старіння). У процесі старіння розпадається перетин твердий розчин, що здобутий при гартуванні сплаву. Внаслідок цього відбувається зміцнення сплавів і виробів з них.

Сплави алюмінію з магнієм (АМг) і марганцем (АМц) термічно не зміцнюються. Сплави АМц, АМг2, АМг3 мають міцність σв, яка складає 150-170 МПа, сплавів АМг6, АМг61 σв = 350-370 МПа.

Сплави АМг гарно зварюються та мають високу пластичність та корозійну стійкість.

Сплави на основі систем: Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu (високоміцні сплави); Al-Cu-Mg (дюралюміній); Al-Cu-Mg-Si (авіаль); Al-Mg-Cu-Si (жароміцні сплави) зміцнюються термічно. В таблиці 3.1 наведений хімічний склад та властивості алюмінієвих сплавів серії Al-Cu-Mg-Si.

У сплавах Al-Zn-Mg сумарний вміст легувальних елементів цинку та магнію (С Zn + С Mg) знаходиться в межах від 5,2 до 8,2%, а співвідношення С Zn/С Mg становить 0,7-4,0.

Для цих сплавів характерні низька швидкість охолодження при гартуванні та широкий інтервал температур (375-500°С), за яких проводять

термічну обробку. Більшість таких сплавів гартуються при охолодженні на повітрі, що дозволяє проводити термообробку напівфабрикатів відразу після гарячої деформації без попереднього нагрівання.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад та властивості алюмієвих сплавів

Марка	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	$\sigma_в$	δ,%
6060	0,3-0,6	0,0,3	0,1	0,1	0,35-0,6	0,05	0,15	190	8
6063	0,2-0,6	0,35	0,1	0,1	0,45-0,9	0,1	0,1	240	11
6061	0,4-0,8	0,7	0,15-0,4	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35	0,25	325	12
6005A	0,5-0,9	0,35	0,3	0,5	0,4-0,7	0,3	0,2	270	8
АД31	0,3-0,7	0,5	0,1	0,1	0,45-0,9	0,1	0,2	250	13
АД31Е	0,3-0,7	0,5	0,1	0,03	0,35-0,8	0,03	0,1	200	8
АД33	0,4-0,8	0,7	0,15-0,4	0,15	0,8-1,2	0,15-0,35	0,25	310	14
АД35	0,3-0,7	0,5	0,10	0,4	0,6-1,2	0,25	0,2	270	13
АВ1340	0,5-1,2	0,5	0,1-0,5	0,35	0,15-0,9	0,25	0,2	300	12
6151	0,6-1,2	1,0	0,35	0,2	0,15-0,8	0,15-0,35	0,25	350	12
6101	0,3-0,7	0,5	0,1	0,03	0,35-0,8	0,03	0,1	200	8
606035	0,4-0,45	0,22	0,02	0,03	0,45-0,5	0,02	0,02	215	10
6082	0,7-1,3	0-0,5	0-0,1	0,4	0,6-1,2	0-0,25	0-0,2	310	10

Зварювальні з'єднання цих сплавів за властивостями не відрізняються від основного металу. Високоміцні сплави системи Al-Zn-Mg-Cu.

Добавка міді в ці сплави (разом із малою кількістю в них Cr, Mn, Zr) дозволила суттєво покращити корозійну стійкість металу при збереженні високої міцності (для сплаву В95 значення σв = 550-600 МПа).

Алюмінієвий сплав В95 широко використовують у конструкціях, які працюють під тиском за температури до 100°С.

Високоміцні сплави здатні до старіння за кімнатної та підвищеної температури.

Штучне старіння проводять за температури 120-125°С протягом 24 годин. Підвищену межу міцності сплаву можна отримати за більш низьких температур старіння, але при цьому зростає схильність сплаву до поверхневого розтріскування.

У сплави системи Al-Cu-Mg додатково вводять марганець для підвищення корозійної стійкості. Найбільш поширеним сплавом цієї системи є дюралюміній Д16, який витримує значні статичні та вібраційні напруження, але має знижену корозійну стійкість. Максимальні механічні властивості цих сплавів досягають шляхом загартовування їх від температури 500±5°С у воді з наступним природним старінням протягом 96 годин. Сплави такого типу після термічної обробки використовують у конструкціях, що працюють за температури до 200°С.

Сплави системи Al-Cu-Mg-Si (авіалі) поступаються дюралюмінією міцністю, але мають кращу пластичність у холодному та гарячому станах, вищу корозійну стійкість та добре зварюються. Авіалі характеризуються тим, що зберігають високу міцність протягом тривалої години.

Сплави типу АВ використовують для виготовлення листів, труб, лопатей гвинтів в авіації, кованих деталей для двигунів, рам та ін.

Ліварні алюмінієві сплави використовують для отримання фасонних виробів і за призначенням їх умовно поділяють на 5 груп. Сплави, які мають високу герметичність, АК12 (АЛ2), АК9ч (АЛ4), АК7ч (АЛ9), АК8М3ч (ВАЛ8), АК8М (АЛ32). Сплави високоміцні та жароміцні АМ5 (АЛ19), АК5М (АЛ5), АК5Мч (Ал5-1), а також корозійностійкі АМг11(АЛ22), АЦ4Мг (АЛ24), АМг10 (АЛ27), АМг10ч (Ал2).

Перша група включає сплави на основі системи Al-Si (силуміні), які містять (6,0-13,0%) Si, Mg до 0,55%, Mn до 0,06%, Ti до 0,3%, решта –

алюміній та домішки. Сплави АК12, АК7ч та АК9 мають гарні ліварні властивості та досить високу міцність.

До другої групи належать сплави системи Al-Si-Cu (мідисті силуміни), що мають такий хімічний склад: (4,0-22,0%) Si, (1,0 - 8,0%) Cu, (0,2-0,3%) Mg, Mn до 0,8%, Ti до 0,3%, решта – алюміній та.

Сплави цієї групи (АК5М, АК7М2) досить міцні, мають гарні ліварні властивості.

Третя група – сплави на основі системи Al-Cu (дюралі), до складу яких входять (4,5-5,3%) Cu, (0,35-1,0%) Mn, (0,15-0,35%) Ti, Cr до 0,25%, решта – алюміній та домішки. Такого типу сплави (АМ5) здатні до термічної обробки, у результаті якої покращуються механічні властивості литого металу. Рідкоплінність цих сплавів нижча, ніж у мідистих силумінів.

Четверта група - сплави на основі системи Al-Mg містять (4,5-13,0%) Mg, Si до 1,7%, Mn до 1,0%, Cu до 1,0%, (0,05-0,25%) Ti, Zr до 0,20%, Be до 0,15%, решта - алюміній та домі. Сплави цієї системи (АМг10 та ін.) мають підвищені механічні властивості. Тому використовують їх для отримання виробів, що працюють в умовах високих статичних та ударних навантажень.

До п'ятої групи належать сплави алюмінію з іншими елементами. Основними легуючими елементами у цих сплавах є цинк і кремній (АК7Ц9, АК9Ц6, АЦ4Мг). Дані сплави мають високу міцність.

Сплави алюмінію з магнієм та міддю піддають термічній обробці. Після термообробки міцнісні та технологічні властивості сплавів змінюються у широких межах. За ГОСТ 2685 – 53 прийняті такі види термічної обробки алюмінієвих ливарних сплавів: Т1 – старіння, Т2 – відпалювання, Т4 – загартовування та часте старіння, Т6 – загартовування та повне старіння до максимальної твердості, Т7 – загартовування та стійкість. Для підвищення міцнісних та пластичних характеристик силуміни модифікують натрієм. Промисловий силумін АК12 складається тільки з алюмінію та кремнію (10-13%).

Доевтектичні сплави, що попередньо леговані магнієм, зміцнюють модифікуванням, а також термічною обробкою. Литі вироби з цих сплавів, що працюють при високих навантаженнях (корпуси компрессорів, картери та блоки циліндрів двигунів) підлягають гартуванню та штучному старінню за режимами Т6. Виливки зі сплаву АК7ч для підвищення пластичності загартовують (Т4), а для збільшення міцності – загартовують і піддають старіння за режимами Т6.

Властивості алюмінієвих ливарних сплавів суттєво залежать від способу лиття. Механічні характеристики виливків, які одержані у піщано-глинистих формах набагато нижчі, ніж при литті в кокіль. Литва під тиском дає змогу одержувати якісні деталі без модифікування сплавів.

Алюмінієві сплави плавлять в електричних печах тигельних або у відбивних полум'яневих та індукційних агрегатах. Як шихтові (вихідні) матеріали використовують чушки та злитки алюмінію різних марок, відходи власного виробництва та легувальні метали. Широко застосовують також лігатури (сплави основного металу з легувальними елементами). Лігатури одержують заздалегідь такого хімічного складу, щоб температура їхнього плавлення була нижчою за температуру рідкого сплаву.

3.2 Алюмінієві сплави леговані рідкісноземельними металами

З літературних даних відомо про легування алюмінію та алюмінієвих сплавів рідкісноземельними металами (РЗМ). Розчинність РЗМ в алюмінії знаходиться в інтервалі [2] від 0001-05% до 8-10%. Розчинність залежить від типу РЗМ, температури розчинення, електронегативності та особливостями кристалографічної структури алюмінію та РЗМ. Наводяться досвідчені дані про вплив РЗМ на магнієві, алюмінієві та мідні сплави [2]. Так досягається модифікація структури (подрібнення зерна), підвищення механічних властивостей, до збільшення рідини, зменшення мікропористості.

У статті Савицького Є.М. та Грибуля В.Б. розглядається питання про прогнозування зв'язку хімічних елементів із рідкісноземельними металами за допомогою ЕОМ [3]. Методика прогнозування полягає внесенням до ЕОМ даних про елементарну будову атомів відомих елементів періодичної системи. Це вказівка розподілу електронів з енергетичних станів кожного хімічного елемента. В результаті отримані дані прогнозування про поєднання трьох типів АВ, А2В, А3В – за участю РЗМ, де А та В – РЗМ або один із елементів періодичної системи. Деякі з даних підтверджені експериментальним шляхом. Що підтверджує існування зв'язку між утворюваними хімічними зв'язками елементів періодичної системи та РЗМ будови атомів, тобто. розташування електронів за енергетичними рівнями.

Іншою статтею [4], що підтверджує вплив РЗМ на властивості алюмінієвих сплавів, що змінює його мікроструктуру. Розглядається питання про модифікування алюмінію та алюмінієвого сплаву АЛ7 перехідними металами. При модифікуванні перехідними металами подрібнюється зерно алюмінію та його сплавів. Існують ефективніші модифікатори і менш ефективні. Це залежить, як зазначалося і в інших статтях від електронної будови модифікатора і металу, що модифікується. Модифікуючий метал сприяє утворенню зародків у формі карбідів або алюмідів в металі, що модифікується. Механізм подрібнення зерна представлений в такий спосіб. При охолодженні металу утворювані угруповання атомів алюмінію і перехідного металу більш стійкі і міцні, ніж у однорідних угруповань атомів алюмінію. Такі угруповання можуть бути зародками, що викликають кристалізацію алюмінієвого сплаву. У статті наводяться досвідчені дані, що підтверджують запропонований механізм зміни мікроструктури (подрібнення зерна).

Найбільшу модифікуючу здатність мають елементи, що починають періоди в періодичній системі і мають найбільшу дефективність d-рівня. З вищевикладеного випливає, що скандій є найкращим модифікатором. Модифікуюча здатність знижується від скандію до нікелю. Показником

модифікуючої здатності є кількість зерен, що припадають на 1 см^2. Так у скандію воно максимально, при легуванні АВ000 воно рівне 1090 на 1 см^2, а АЛ7 - 900; для титану, АВ000 та АЛ7 – 900; V, АВ000 - 400, АЛ7 - 625 і т. д. Дані дослідів підтверджують передбачуваний механізм подрібнення зерна у алюмінію та алюмінієвих сплавів при легуванні РЗМ.

Про позитивний вплив РЗМ на алюмінієві метали відомо вже давно. В основному в літературних джерелах наводяться дані про деякі РЗМ, що впливають на механічні властивості алюмінієвих сплавів, покращуючи їх. Також наводяться дані про можливу сферу їх застосування.Але, на жаль, немає даних про технологію легування, обробки та кінцеве застосування отриманого сплаву в готовій продукції.

3.3 Основні властивості та застосування сплавів на основі алюмінію

Сплави, що деформуються, застосовують для безперервного лиття круглих і плоских заготовок, які в подальшому піддаються гарячій або холодній обробці тиском. Для підвищення міцності та спеціальних характеристик такі сплави обробляються термічно.

Існують різні види термічної обробки. Гомогенізуючий відпал використовується для усунення дендритної ліквації у заготовках перед пластичною деформацією.

Рекристалізаційний відпал сплавів після їх дефорування застосовують для зняття наклепу та отримання дрібного зерна у виробах.

Проводиться також загартування та старіння сплавів, що сприяють розпаду пересиченого твердого розчину та коагуляції в ньому зміцнювальних фаз. В результаті підвищується пластичність та корозійна стійкість сплавів.

Особливістю алюмінієвих сплавів є вузький температурний інтервал нагрівання при загартовуванні. Витримка в процесі загартування має бути

мінімальною і забезпечувати розчинення надлишкових фаз у твердому розчині. Витримка виробів при температурі гарту становить 2-15 годин.

Старіння загартованих сплавів повітря при кімнатній температурі протікає кілька діб (природне старіння). За підвищеної температури (420-470К) старіння проводиться протягом 10-24 годин (штучне старіння). У процесі старіння розпадається твердий пересичений розчин, отриманий при загартовуванні сплаву. Внаслідок чого відбувається зміцнення сплавів та виробів з них.

Сплави алюмінію з магнієм (АМг) та марганцем (АМц) термічно не зміцнюються. Сплави АМц, АМг2, АМг3 мають межу міцності 150-170 МПа, сплави АМг6, АМг61 – 350-370 МПа.

Сплави АМг добре зварюються і мають високу пластичність та корозійну стійкість.

Сплави на основі систем: Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu зміцнюються у процесі термообробки.

У сплавах Al-Zn-Mg сумарний вміст легуючих елементів цинку та магнію (Zn + Mg) знаходиться в межах від 5,2 до 8,2%, а співвідношення C Zn/C Mg зазвичай становить 0,7-4,0.

Для цих сплавів характерні низька швидкість охолодження при гартуванні та широкий інтервал температур (650-760К), при яких виробляють термічну обробку. Більшість таких сплавів загартовується за умов охолодження повітря. Цей факт дозволяє проводити термообробку напівфабрикатів одразу після гарячої обробки тиском без додаткового нагрівання.

Зварювальні з'єднання цих сплавів за властивостями не відрізняються від основного металу.

Високоміцний сплав системи Al-Zn-Mg-Cu.

Добавка міді в ці сплави (разом з малою кількістю в них Cr, Mn, Zr) дозволила суттєво покращити корозійну стійкість металу за збереження високої міцності (сплав В95 має $\sigma_в$ = 550-600 МПа).

Алюмінієвий сплав В95 широко використовується в конструкціях, що працюють під тиском за температури до 100 °С. Високоміцні сплави здатні до старіння при кімнатній та підвищеній температурі.

Штучне старіння проводиться при температурі 390-395 °С протягом 24 годин. Підвищена межа міцності сплаву можна отримати за більш низьких температур старіння, проте при цьому зростає схильність сплаву до поверхневого розтріскування.

У сплави системи Al-Cu-Mg додатково вводять марганець підвищення корозійної стійкості. Найбільш поширеним сплавом цієї системи є дюралюміній Д16, що витримує значні статичні та вібраційні напруги. Максимальні механічні властивості цих сплавів досягаються загартовуванням при температурі 773±5 К у теплій воді з наступним природним старінням протягом 96 годин. Сплави такого типу після термічної обробки використовують у конструкціях, що працюють при температурі до 600К.

Сплави системи Al-Cu-Mg-Si (авіалі) поступаються дюралюмінію за міцністю, але мають кращу пластичність у холодному та гарячому стані, більш високу корозійну стійкість та гарну зварюваність. Авіалі характеризуються тим, що зберігають високу міцність протягом багато часу.

Сплави типу АВ використовують виготовлення листів, труб, лопатей гвинтів в авіації, кованих деталей для двигунів, рам тощо.

Властивості алюмінієвих ливарних сплавів суттєво залежать від способу лиття. Механічні характеристики виливків, отриманих у піщано-глинистих формах, набагато нижчі, ніж при лиття у кокіль. Лиття під тиском дозволяє одержувати якісні деталі без модифікації сплавів.

Алюмінієві сплави плавлять в електричних печах тигельних, в відбивних полум'яних і індукційних агрегатах. Як шихтові (вихідні) матеріали використовуються чушки та зливки алюмінію різних марок, відходи власного виробництва та легуючі сплави.

3.4 Технологічне обладнання для реалізації безперервного лиття сплавів

Комплексне створення нового процесу безперервного лиття стали одночасно з будівництвом високопродуктивних машин стало революційним кроком на шляху розвитку безперервних процесів у кольоровій металургії. Від науково-дослідних робіт, що ведуться в цій галузі, слід очікувати поліпшення однорідності структури по перерізу злитка на основі застосування електромагнітного перемішування сталі в процесі її кристалізації та підвищення швидкості виходу злитка шляхом автоматизації системи форсункового охолодження відразу ж після припинення його контакту з мідними стінками кристалізатора. Електромагнітне перемішування особливо важливе при литті високолегованих і високовуглецевих сталей, у тому числі шарикопідшипникових. Позитивний ефект електромагнітного перемішування пояснюється створенням рідкої фази зливка потоку металу, що призводить до утворення більш рівномірної структури і зменшення осьової пористості.

Дослідження, проведені в останні роки, показали, що можливий безперервний метод лиття сталі, коли кристалізатор розташовується горизонтально. З одного боку цього кристалізатора є проміжна ємність, з якої надходить рідкий метал. Заготівля, що виходить з кристалізатора, потрапляє в зону вторинного охолодження, де піддається додатковому охолодженню водою і після затвердіння розрізається на мірні довжини. Такий метод не вимагає застосування високих будівель і значно знижує капіталовкладення (рис. 3.4).

У цій галузі було проведено великі дослідницькі та конструкторські роботи, які призвели до дуже важливих результатів. Спочатку потрібно усунути дефекти у вигляді кільцевих спаїв на поверхні зливка, що з'являються при його періодичному (для стабілізації процесу) витягуванні. З цією метою був застосований оригінальний метод, що полягає в тому, що

підведення металу було зроблено в середині горизонтального кристалізатора, з якого витягування злитків може здійснюватися безперервно в обидві сторони. Сталь, потрапляючи в такий кристалізатор, отримує два фронти кристалізації. В результаті вдалося усунути дефекти поверхні та внутрішньої структури зливка, що мали місце при односторонньому витягуванні злитків. Крім того, цей принципово новий процес безперервного лиття вдвічі підвищує продуктивність одного кристалізатора.

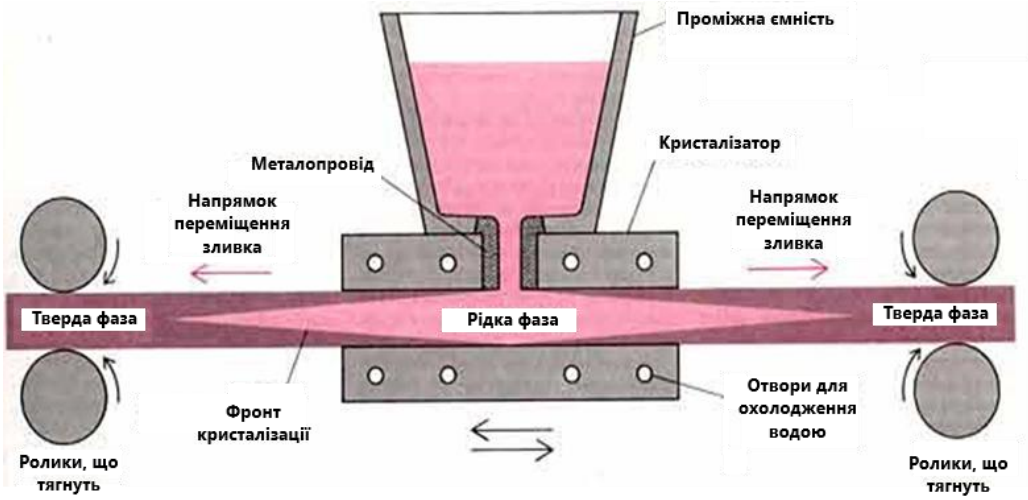


Рисунок 3.4 - Двостороннє витягування злитків із горизонтально розташованого кристалізатора

Двостороннє витягування злитків із горизонтально розташованого кристалізатора є принципово новим способом безперервного лиття сталі. Цей спосіб схематично представлений малюнку. Сталь, потрапляючи по металопроводу з вогнетривкого матеріалу в мідний кристалізатор, що охолоджується водою, отримує два протилежні фронти кристалізації. Початок цих фронтів автоматично утримується точно центром металопроводу. Кристалізатор здійснює зворотно-поступальний рух (показано чорними стрілками), що запобігає прилипанню металу до його стінок. Такий спосіб дозволив усунути дефекти поверхні та внутрішньої структури злитка, що мали місце при горизонтальному литті з одностороннім витягуванням злитків, а також підвищити в 2 рази

продуктивність одного кристалізатора. Перша машина для лиття цим способом блумів перетином до 250 х 250 мм побудована та успішно експлуатується на дослідному заводі ВНДІметмашу.

Результати експериментальних досліджень, проведених у ВНДІ-метмаші, дозволили стабілізувати цей процес. Була створена система автоматичного утримання початку обох фронтів кристалізації точно по центру металопроводу, яким рідка сталь надходить у кристалізатор. Перша машина для лиття цим методом блумів перетином до 250 х х 250 мм побудована та успішно експлуатується. Створення методу безперервного лиття з двостороннім витягуванням злитків, безперечно, є великим винаходом, і в найближчі роки воно має знайти широке застосування. Зважаючи на простоту пристрою безперервноливарної машини, що не вимагає спеціальних високих будівель, вона може бути з успіхом застосована не тільки на металургійних підприємствах, а й на машинобудівних. Це відкриває широкі можливості поєднання процесів безперервного лиття з прокаткою, а також безперервними процесами виготовлення деталей тиском машин.

Об'єднаний модуль включає (рис. 1) проміжний розливний ківш (поз.1) з системою підігріву (2), мідний трубчастий кристалізатор (4), система формуючих фільєр (5.1, 5.2),

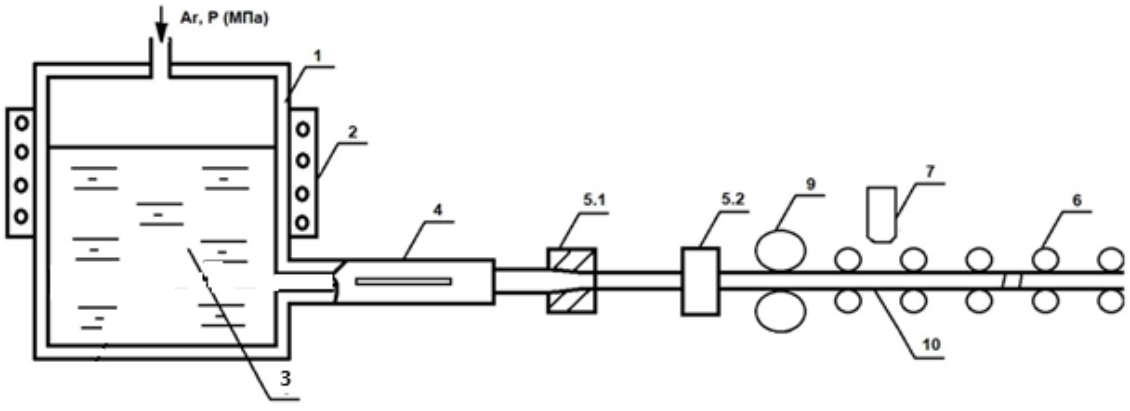


Рисунок 3.5 - Схема комплексного модуля неперервного процесу розливання-волочіння



Рисунок 3.6 - Ротаційна піч з віссю обертання, що нахиляється

Світове виробництво вторинних алюмінієвих сплавів за останнє десятиліття демонструє стабільне зростання. Переробка брухту та відходів алюмінію - ключовий процес в алюмінієвій індустрії, оскільки при цьому економиться до 95% енергії необхідної для виробництва первинного алюмінію.

У переробці алюмінієвого брухту основним процесом є плавлення підготовленої сировини. Вибір плавильного агрегату істотно впливає економічні показники і якість отриманих сплавів. У табл. 3.2 представлені усереднені показники споживання енергії плавильними агрегатами різної конструкції.

Таблиця 3.2 - Витрати енергії на розплавлення алюмінієвого брухту в різних плавильних агрегатах

Тип плавильного агрегату	Кількість енергії необхідна для розплавлення 1 т алюмінієвого брухту
Розрахункова кількість енергії (ККД = 100%)	310 кВт·год
Відбивна піч ванного типу	1280 кВт·год
Шахтна піч	630 кВт·год
Ротаційна піч зі стаціонарною віссю обертання	1000 кВт·год
Ротаційна піч з віссю обертання, що нахиляється	550 кВт·год

На сьогоднішній день у світовій практиці для металургійної переробки брухту алюмінієвих сплавів у вторинні марочні алюмінієві

сплави найбільш затребувані ротаційні печі з віссю обертання, що нахиляється, (tilting rotary furnace), які мають ряд важливих переваг, що сприяють високоефективному.

1. Низьке споживання палива (див. табл. 3.2).
2. Високе вилучення металу.
3. Висока продуктивність.
4. Можливість працювати на сильно засміченій та непідготовленій шихті, включаючи шлаки.
5. Можливість автоматизації процесу.

У Північній Америці, Європі та, зокрема, у Туреччині добре відпрацьовано технологічну схему виробництва, що включає наступний комплекс технологічного обладнання ділянки переробки брухту:

1. Ротаційна газова плавильна пічз віссю обертання, що нахиляється - для переплаву брухту і відходів алюмінієвих сплавів.
2. Копильник (міксер)- Для проведення рафінування виплавленого сплаву (дегазація, видалення неметалевих включень, шкідливих домішок тощо) та мікролегування. Міксер може бути як у газовому, так і електричному виконанні. Сучасні моделі передбачають наявність механічного ротора для перемішування розплаву, що суттєво покращує ефективність рафінування розплаву та швидкість введення легуючих елементів.
3. Розливний конвеєр для розливання марочного сплаву в чушки.

Основний компонет комплексу - газова ротаційна піч (див. рис. 3.6), яка виконує наступні технологічні операції: завантаження печі, плавлення, злив алюмінієвого сплаву, злив шлаку, очищення футерування печі від настилів і шлаку (рис. 3.7). Місткість печей подібного типу зазвичай варіюється в діапазоні від 1 до 21 тонни. У табл. 3.3, як приклад, наведено основні характеристики печі середньої ємності (5000 кг).

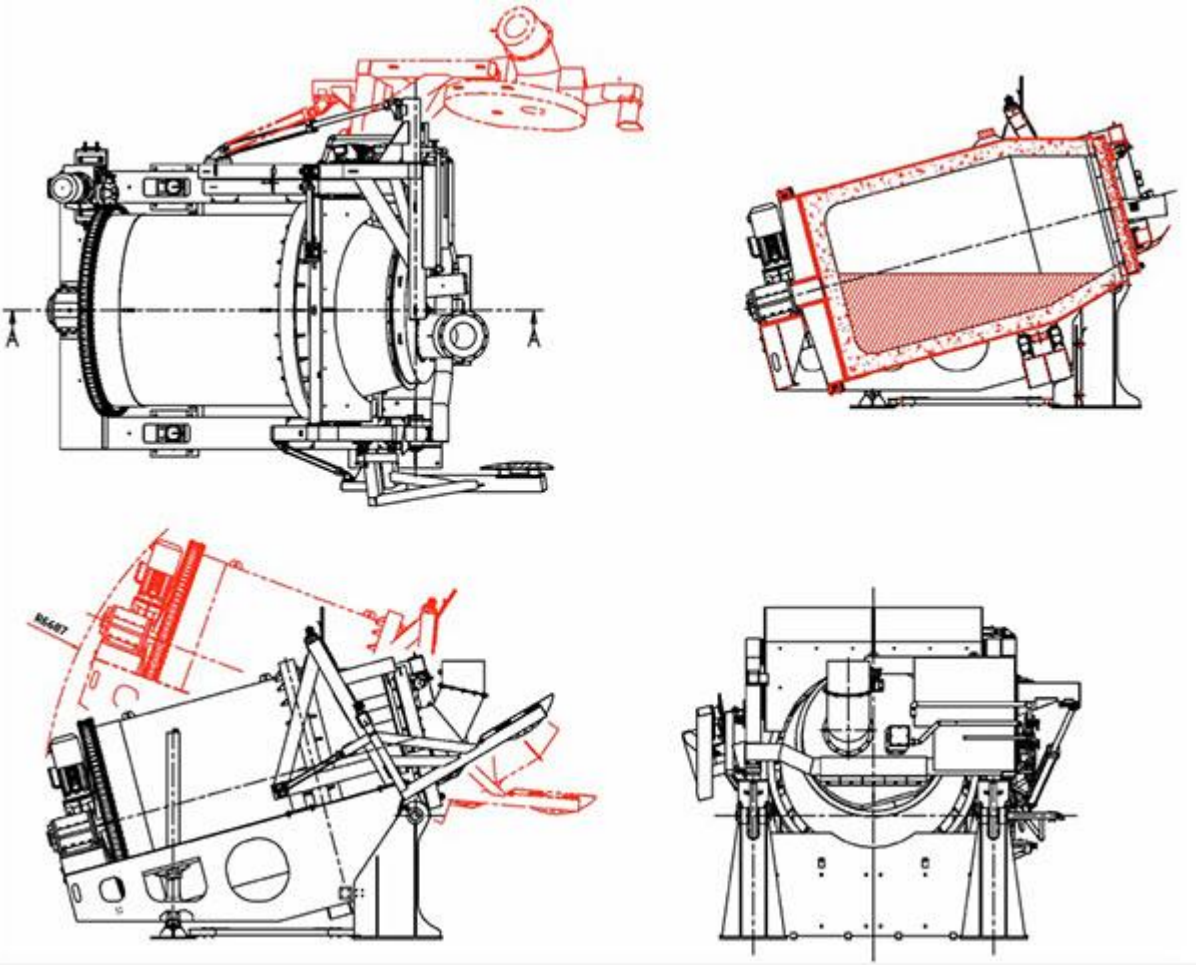


Рисунок 3.7 - Технологічна схема роботи ротаційної печі з віссю, що нахиляється

Таблиця 3.3 - Технічні характеристики роторної печі з віссю мод, що нахиляється. ARTF-5

Найменування показника	Розмір показника
Місткість	
1. Місткість по алюмінію, кг	5000
2. Діаметр завантажувального вікна, мм	1400
3. Робочий об'єм, м3	2,5
4. Максимальна вага завантаження (включаючи флюс), кг	5750
Продуктивність	
5. Швидкість плавки повної садки (п. 1), год	~2

Найменування показника	Розмір показника
6. Час технологічних операцій (завантаження шихти, злив розплаву, вивантаження шлаку), год	~1
7. Тривалість циклу плавки (від випуску розплаву до випуску розплаву), год	~3
8. Кількість циклів плавки на добу	7-8
9. Максимальна продуктивність, т/місяць	800
Пальниковий блок	
10. Мінімальна потужність пальника, кВт	372,1
11. Максимальна потужність пальника, кВт	1860
12. Мінімальне споживання газу, м3/год	38,8
13. Максимальне споживання газу, м3/год	193,9
14. Вентилятор, м3/год	2500
Привід барабана	
15. Потужність приводу обертання, кВт/В	30 / 380
16. Кут нахилу осі обертання, °	0-15
17. Швидкість обертання барабана, про./хв.	0-6
18. Номінальна продуктивність фільтруючого елемента, нм3/год.	30
Гідравлічна система	
19. Потужність приводу гідростанції, кВт/В	11 / 380; 60 Hz - IP-54
20. Нахил барабана печі здійснюється за допомогою	4-х гідроциліндрів

3.5 Особливості виплавки вторинних алюмінієвих сплавів

Вторинним алюмінієм називають алюмінієві сплави, отримані шляхом переплавлення брухту та відходів.

Початок виробництва вторинного алюмінію було покладено в 1928 р., коли на базі невеликого підприємства був організований завод для переробки брухту і відходів кольорових металів, у тому числі і алюмінію.

У період із 1928 по 1932 р. щорічний випуск вторинного алюмінію становив 700-800 т. Тоді рівень технології переробки алюмінієвих відходів був вкрай низьким, всі процеси обробки та плавки виконувались вручну. Внаслідок низької якості вторинного алюмінію його в основному використовували в чорній металургії для розкислення сталі.

З пуском великих спеціалізованих заводів (Подільського, Мценського, Сухоложського та ін.) з високим рівнем автоматизації та механізації технологічних процесів вихід металу в готову продукцію підвищився до 91,0-91,7%, а якість вторинних алюмінієвих сплавів значно покращилася, завдяки чому більша частина їх використовується в них.

Лом та відходи кольорових металів (у тому числі алюмінію) класифікуються за фізичними ознаками на класи, за хімічним складом – на групи та марки, за показниками якості – на сорти.

Маса брухту та шматкових відходів згідно з ГОСТ 1639-93 всіх груп має бути не більше 100 кг, розміри – не більше 600х600х1500 мм, розміри шматків низькоякісного брухту та відходів не повинні перевищувати 1000х1000х2000 мм.

Дріт, обріз труб, листів, стрічок, висікання з листів, фольга, туби, провідники струму повинні поставлятися в пакетах або зв'язках, та їх маса не повинна перевищувати 150 кг.

Лом та відходи алюмінію та алюмінієвих сплавів за ДСТУ 3211:2009 розділені на три класи:

Лом та шматкові відходи (клас А);

Стружка (клас Б);

Інші відходи (клас Г).

Клас А у свою чергу поділяється на 10 груп:

Група I. Алюміній чистий (нелегований): вміст Al - не менше 99%, домішок - не більше 1% (у тому числі Si - 0,5, Fe - 0,5, Zn-0,1, Ci-0,05%); до групи входять метали марок А999, А995, А99, А95, А85, А8, А7, А7Е, А6, А5, А5Е, АТ, АДО, АТ.

Група II. Алюмінієві сплави деформуються з низьким вмістом магнію, не більше (%): Mg - 0,8, Ci - 4,8, Fe - 0,7, Si - 0,7, Zn - 0,3; до групи входять сплави марок Д1, В65, Д18, Д1П, АД31.

Група III. Алюмінієві сплави деформуються з високим вмістом магнію, не більше (%): Mg - 1,8, Ci - 4,9, Fe - 0,7, Si - 0,7, Zn - 0,3; до групи входять сплави марок Д12, Д16, АМг1, Д16П.

Група IV. Алюмінієві сплави ливарні з низьким вмістом міді, не більше (%): Ci - 1,5, Si - 13,0, Fe - 1,5, Mg - 0,6, Zn - 0,5; до групи входять сплави марок АЛ5, АЛ32, АЛ2, АЛ4, АЛ4-1, АЛ9, АЛ9-1, АЛ34 (ВАЛ5), АК9 (АЛ4В), АК7 (АЛ9В), АЛ5-1.

Група V. Алюмінієві сплави ливарні з високим вмістом міді, не більше (%): Si - 8,0, Fe - 1,6, Mg - 0,8, Zn- 0,6; до групи входять сплави марок АЛ3, АЛ6, АК5М2 (АЛ3В), АК7М2 (АЛ14В), АЛ7, АЛ19, АК5М7 (АЛ10В), АЛ33 (ВАЛ1).

Група VI. Алюмінієві сплави деформуються з високим вмістом магнію, не більше (%): Mg - 6,8, Si - 0,8, Fe - 0,5, Ci - 0,2, Zn - 0,2; до групи входять сплави марок АМг2, АМг3, АМг4, АМг5, АМг5п, АМг6.

Група VII. Алюмінієві сплави ливарні з високим вмістом магнію, не більше (%): Mg - 13,0, Fe - 1,5, Si - 1,3, Ci - 0,3, Zn - 0,2; до групи входять сплави марок АЛ8, АЛ27, АЛ27-1, АЛ13, АЛ22, АЛ23, АЛ23-1, АЛ28.

Група VIII. Алюмінієві сплави деформуються з високим вмістом цинку, не більше (%): Zn - 7,0, Mg - 2,8, Ci - 2,0, Fe - 0,7, Si - 0,7; до групи входять сплави марок В95, 1915, 1925.

Група IX. Алюмінієві сплави ливарні з високим вмістом цинку, не більше (%): Zn - 12,0, Si - 8,0, Ci - 5,0, Fe - 1,3, Mg - 0,3; до групи входять сплави марок АЛ11, АК4М4, АК4М2Ц6.

Група X. Низькоякісні брухт та кускові відходи алюмінію та алюмінієвих сплавів, що не відповідають вимогам усіх перерахованих груп.

За наявності понад 100 легуючих елементів, крім дуже рідкісних або сильнотоксичних, можливі мільйони комбінацій складів сплавів.

Практично ж ці можливості сильно обмежені, так як легуючі елементи вводять в сплав в основному для підвищення його міцності, хоча дуже важливо поліпшити й інші властивості.

Легуючі компоненти впливають на властивості алюмінієвих сплавів у трьох напрямках:

утворення твердого розчину, що зберігається за нормальної температури;

формування надлишкових фаз, різних за кількістю, формою та розподілом;

отримання евтектики.

Основні легуючі елементи характером впливу на властивості алюмінієвих сплавів можна розділити на три групи:

1. Cu, Si, Mg та Zn розчиняються в алюмінії у великій кількості та утворюють евтектики з високим вмістом легуючого компонента.

Тому їх можна вводити у сплави у великих кількостях (Cu, Mg та Zn до 15% кожного, а Si – до 20% і більше).

Ці елементи різко впливають на властивості сплавів.

2. Mn, Ni, Cr, C у твердому алюмінії майже не розчиняються і утворюють з ним ряд хімічних сполук, які в невеликій мірі зміцнюють crmав.

Сюди відносять також залізо, яке є шкідливою домішкою для більшості сплавів, але деякі сплави його спеціально вводять для підвищення жароміцності.

Зазначені елементи вводять у сплави у кількості трохи більше 1-3 %.

3. Ti, Na, Ce, B та деякі інші елементи самі по собі помітно не змінюють властивості сплавів, але часто суттєво покращують властивості сплавів алюмінію з іншими компонентами.

Тільки у дев'яти елементів максимальна розчинність у твердому сплаві більше 1%, і вона суттєво зменшується при зниженні температури.

З цих елементів Ag, Ga і Ge – дорогі метали, а літій знаходить обмежене застосування у сплавах зниженої щільності.

Інші п'ять елементів (Zn, Mg, Cu, Mn, Si) становлять основу промислових алюмінієвих сплавів і використовують у різних поєднаннях.

Берилій (Be) у невеликій кількості (0,01-0,05 %) застосовують у ливарних сплавах для поліпшення рідинної текучості та ливарних властивостей при виробництві поршнів та головок циліндрів двигунів.

У модифікованих сплавах він сприяє збереженню натрію як модифікатора і впливає корозійну стійкість алюмінію.

Інтоксикація обслуговуючого персоналу бериллієм проявляється у вигляді алергії, ступінь якої залежить від інтенсивності та тривалості контакту з ним; вдихання п'ю, що містить частинки берилію, може призвести до гострого отруєння.

Берилій не вводять у сплави, які використовуються в контакті з харчовими продуктами та напоями.

Бор (B) застосовують як рафінуючу добавку для підвищення електропровідності алюмінію.

Бор у кількості до 0,1% використовують як рафінуючу добавку при кристалізації, але його дія ефективніша при спільному введенні з титаном, якого має бути в 5 разів більше бору.

Водень (H).

Розчинність водню в рідкому алюмінії за температури плавлення вище, ніж у твердому стані.

Залізо (Fe) - типова домішка, має високу розчинність у рідкому алюмінії.

Розчинність Fe у твердому алюмінії дуже мала (близько 0,04%), і якщо його вміст у сплаві перевищує дане значення, то залізо є у сплаві у вигляді інтерметалевих сполук з алюмінієм, а часто й з іншими металами.

Залізо використовують у електротехнічних сплавах підвищення міцності дроту.

Присутність його в силумінах небажана, оскільки він сприяє утворенню грубих фаз, що знижують пластичність.

Залізо зменшує розмір зерна в напівфабрикатах, що деформуються, і його додають у сплави системи Al-Cu-Ni для збільшення міцності при підвищених температурах.

Кадмій (Cd) - порівняно легкоплавкий елемент, який знаходить обмежене застосування у виробництві алюмінієвих сплавів.

У кількості до 0,3% його вводять у систему AlCu з метою прискорення процесу старіння, підвищення міцності та поліпшення корозійних властивостей.

Для поліпшення обробки різанням додають сплави системи Al-Zn-Mg в кількості до 0,1 %.

З'єднання кадмію високотоксичні, і навіть пари його при плавленні, литті та обробці флюсами становлять небезпеку.

Кальцій (Ca) - у системах Al-Mg-Si зменшує ефект старіння, а сплавах Al-Si збільшує міцність.

Кремній (Si) - найчастіша добавка в ливарних сплавах, а деформованих сплавах його застосовують разом з магнієм у кількості до 1,5% для утворення фази Mg2Si.

Кремній у кількості до 0,5-4,0 % зменшує схильність до тріщин утворення у сплавах системи Al-Cu-Mg.

Ряд ливарних сплавів, що містять кремній з міддю та/або магнієм, знаходить широке промислове застосування.

Механічні властивості ливарних сплавів системи Al-Si покращуються при модифікуванні шляхом добавки натрію в евтектичні та заевтектичні сплави та фосфору - в заевтектичні.

Кремнію сплави, що містять близько 5%, при анодному оксидуванні забарвлюються в чорний колір і використовуються в декоративних цілях.

Магній (Mg) є основним легуючим елементом у багатьох сплавах.

Його максимальна розчинність у твердому алюмінії становить 17,4 %, але в промислових сплавах, що деформуються, його концентрація не перевищує 5,5 %.

Ливарні метали містять від 4 до 10% Mg.

Добавка магнію значно підвищує міцність алюмінію без помітного зниження пластичності.

Невеликі добавки магнію до сплавів системи Al-Si роблять їх термічно зміцнюваними та підвищують міцність без зниження корозійної стійкості.

Сплави Al-Mg мають високу корозійну стійкість і добре зварюються.

Добавка марганцю в кількості до 0,75% у ливарні сплави системи Al-Mg підвищує твердість, знижує пластичність та майже не впливає на корозійну стійкість.

Сплави цієї системи, що деформуються, в нагартованому стані мають високу міцність і корозійну стійкість і добре зварюються.

Основна перевага добавок марганцю в більш однорідному розподілі за обсягом магнієвої фази; крім того, за наявності марганцю потрібний менший вміст магнію.

Деякі сплави, що деформуються, мають до 1,5 % Mg і Si у співвідношенні, відповідному формулі Mg2Si, тобто. 1,73: 1,0.

Присутність Mg2Si зміцнює сплав при старінні за рахунок дрібнодисперсних виділень.

Марганець (Mn) збільшує міцність сплаву за допомогою зміцнення твердого розчину або шляхом утворення дрібнодисперсних інтерметалевих фаз без зниження корозійної стійкості.

При вмісті до 1,25% у цілій групі сплавів марганець є одним з основних легуючих елементів, де він присутній один або разом із магнієм.

Ці сплави використовуються у великих кількостях для виготовлення тари для напоїв.

Навіть у сильно нагартованому вигляді їх виготовляють консервні банки.

Мідь (Cu).

Сплави системи Al-Cu, що мають у своєму складі від 2 до 10% Cu, у поєднанні з іншими добавками утворюють важливе сімейство сплавів.

І ливарні, і деформовані сплави такої системи сприйнятливі до загартування та подальшого старіння, причому їх твердість та міцність зростають, а відносне подовження знижується.

Властивості сплавів цієї системи добре вивчені, але практичне застосування знайшли лише кілька подвійних Al-Cu-сплавів.

Введення магнію в сплави Al-Cu призводить до значного ефекту зміцнення внаслідок старіння після загартування.

У ряду деформованих сплавів цієї групи підвищення міцності при старінні поєднується з високою пластичністю.

Добавка магнію до ливарних сплавів системи Al-Cu також підвищує міцність, але знижує пластичність.

Як у ливарних, так і деформованих сплавах цієї групи невеликий вміст магнію (0,05%) ефективно впливає на процес старіння.

ведення невеликих добавок (Mn, Ti, V, Zr) в сплави системи Al-Cu, що деформуються, підвищує температуру рекристалізації.

Такі сплави зберігають високі властивості при підвищених температурах, мають хороші технологічні, ливарні та зварювальні характеристики.

Нікель (Ni).

Подвійні сплави Al-Ni не мають промислового застосування, але нікель вводять у сплави Al-Cu та Al-Si для підвищення твердості та міцності

при підвищених температурах та для зменшення коефіцієнта лінійного розширення.

Титан (Ti).

Основне призначення титану в алюмінієвих сплавах - зменшення зерна у виливках та зливках.

Ефект модифікування посилюється при сумісному введенні титану з бором.

Хром (Cr) використовують як легуючу добавку в сплавах Al-Mg, Al-Mg-Si та Al-Mg-Zn, де його вміст не перевищує 0,35%.

Він має малу швидкість дифузії і утворює дрібнодисперсні виділення в напівфабрикатах, що деформуються, які перешкоджають зародженню і росту зерен при рекристалізації.

У сплаві хром надає анодній плівці золотавого відтінку.

Цинк (Zn).

Сплави Al-Zn відомі вже багато років, але гарячоломність ливарних сплавів обмежила їх застосування.

У сплавів, що деформуються, цієї системи має місце деяке підвищення міцності в термообробленому стані.

Однак сплави Al-Zn, леговані добавками інших елементів, мають великі переваги по міцності в литому стані і найвищу міцність серед алюмінієвих сплавів, що деформуються; в даний час розширюється промислове застосування ливарних та деформованих сплавів з цинком та магнієм.

3.5.1 Устаткування переробки брухту та виготовлення вторинного алюмінієвого сплаву

З різким розвитком технічного прогресу у світі утворюється дуже багато вторинної сировини кольорових металів, зокрема алюмінію. Сьогодні алюміній є найтехнологічнішим металом для вторинної переробки. Алюміній може бути перероблений знову і знову без втрати його фізичних та механічних властивостей.

У промисловості вторинної переробки алюмінієвих відходів працюють сотні заводів і тисячі дилерів по всьому світу. Алюмінієві відходи збираються підприємствами із заготівлі та переробки відходів.

На першому етапі проводиться сортування, холодна переробка та підготовка відходів для постачання на металургійні заводи, де проводиться переплавлення брухту в алюмінієві сплави із заданими характеристиками.

Головним споживачем вторинного алюмінію є автомобільна промисловість. Сьогодні 60% алюмінію, що використовується в автомобілях, є вторинні алюмінієві сплави.

Алюмінієва промисловість очікує, що за наступні два десятиліття частка вторинних алюмінієвих сплавів неухильно зростатиме. За прогнозами аналітиків, у майбутньому вторинний алюміній становитиме 90 відсотків від алюмінію, що міститься в автомобілі. В останні роки спостерігається тенденція до зростання споживання вторинних алюмінієвих сплавів і всередині нашої країни. Найбільші споживачі сплавів активно впроваджують у своє виробництво вторинні сплави, замінюючи ними дорожчі первинні.

Одним із високотехнологічних рішень щодо переробки вторинного алюмінію є універсальна роторна похила піч (URTF). URTF була розроблена при співпраці LindeAG, Hertwich Engineering Gmb Hand Corus Aluminium Voerde Gmb H.

Принцип роботи цієї печі. У позиції 1 - проводиться завантаження, плавлення та злив металу. У позиції 2 – виробляється злив відходів виробництва.

Грунтуючись на сухому методі висолювання з розплаву алюмінію, піч URTF має істотну перевагу перед традиційними сольовими роторними печами. Киснево-паливний пальник генерує достатньо теплоти, щоб швидко розплавити завантажену шихту. Кисневі форсунки WASTOX® полегшують плавку низькосортних відходів алюмінію. Кисень перетворює забруднюючі домішки на паливо, одночасно знижуючи обсяги викидів в атмосферу. Час одного циклу 2-3 год. Здатність печі до нахилу скорочує виробничі цикли, заощаджуючи цінний час, який зазвичай витрачається на завантаження, випуск алюмінію та очищення.

На підставі багаторічного досвіду експлуатації даного обладнання можна виділити такі переваги його використання:

- високий вихід придатного металу.
- висока продуктивність.
- можливість використання забрудненої неметалевими домішками дешевої сировини.
- зниження енергетичних витрат.
- низький рівень викидів у довкілля.
- зниження витрат на утилізацію відходів.
- низькі витрати на утилізацію димових газів.
- зниження витрат на сіль.

В основу технологічних схем переробки брухту та відходів алюмінію покладено принцип максимального покращення якості вихідної сировини та кінцевої продукції шляхом механізації та автоматизації процесів виробництва з метою найбільш раціонального використання цих ресурсів.

Схеми первинної обробки брухту та відходів та металургійного циклу виконуються з урахуванням застосування машин та механізмів, що знаходяться в даний час в експлуатації, але одночасно передбачається можливість використання нових обладнання та процесів.

До таких процесів можна віднести технології та переробки ливарного та деформованого брухту у важких середовищах, використання обертових печей для переробки різних видів брухту та відходів, у тому числі застосування плазмотронів для переробки шлаків у цих печах тощо.

При створенні технологічних схем необхідно приділяти підвищену увагу піротехнічному та радіаційному контролю, що особливо важливо у сучасних умовах переробки великої кількості військової техніки.

Внаслідок високої трудомісткості первинної обробки брухту та відходів слід передбачати механізацію складських, вантажорозвантажувальних та внутрішньоцехових транспортних операцій шляхом широкого використання мостових та козлових кранів, електро- та автонавантажувачів, автомобільних кранів, тельферів та ін.

На технологічній схемі первинної обробки брухту та відходів алюмінію та алюмінієвих сплавів існує практично вся номенклатура вторинної алюмінієвої сировини, що надходить на переробку. Надходять на підприємство брухт і відходи піддаються піротехнічному та радіаційному контролю. У процесі сортування сировина поділяється на дві основні групи: алюміній і алюмінієві сплави. Алюмінієві відходи та брухт становлять значний інтерес, оскільки дозволяють виробляти всю застосовувану в промисловості гаму сплавів. У процесі сортування виділяються ті види брухту і відходів, які є готовою продукцією для металургійної переробки, інші направляються на обробку. Значна частина алюмінієвого брухту після оброблення піддається пакетуванню з метою його ущільнення та зменшення чаду при зберіганні та переплавленні.

Виділені в процесі сортування брухт та відходи з алюмінієвих сплавів підрозділяються на види: деформовані та ливарні сплави, сплави з

підвищеним вмістом магнію, цинку; решта сировини класифікується як змішаний лом.

Лом та відходи з усіх видів алюмінієвих сплавів обробляють за допомогою машин та апаратів, придатних для даного виду сировини.

Однак змішаний брухт і деякі види промислового та побутового брухту з ливарних сплавів піддають поділу у важких середовищах, а інші відходи (шлаки, шлами та ін.) обробляють і сортують відповідно до рекомендацій. Значна частина вторинної алюмінієвої сировини є стружкою, технологічна схема первинної обробки якої представлена нижче. Після гуркіту кручена стружка піддається дробленню, а недрібні предмети викидаються і надходять на сортування. Якщо немає можливості зробити дроблення кручений стружки, її сортують, яка полягає у відділенні брухту, шматкових відходів, сторонніх предметів та ін. Після сортування стружку брикетують і спрямовують на переплавлення.

Дроблення сипуча стружка надходить на сушіння для видалення вологи та масел. Суха знежирена стружка прямує на гуркіт з метою відсіву землістої фракції, яка потім відправляється заводам чорної металургії за спеціальними технічними умовами. Очищена від дрібної фракції стружка надходить на магнітну сепарацію, в процесі якої виділяється магнітна фракція, що переробляється за спеціальними схемами. Немагнітна фракція йде на переплавку або брикетування.

Після попередньої підготовки брухт та відходи піддаються переробці у відповідних плавильних агрегатах.

Усі існуючі плавильні печі, що використовуються для переробки брухту та відходів алюмінію, за методом нагрівання можна поділити на дві основні групи:

1. Паливні,

2. Електричні.

До першої групи відносяться печі, що обігріваються газом або мазутом, до другої - обігріваються електроенергією.

Плавильний агрегат вибирають з урахуванням економічних розрахунків з урахуванням конкретних умов виробництва. Практично брухт та відходи алюмінію та його сплавів можна плавити у будь-якій печі, так як температура їх плавлення невисока. Однак внаслідок специфіки плавки вторинної сировини доцільніше використовувати той тип печі, який дозволяє переплавляти сировину з найменшими втратами, високим ступенем вилучення та найменшими матеріальними та енергетичними витратами.

Практичний досвід із переробки вторинної алюмінієвої сировини, накопичений у світовій практиці, дозволив визначити основні тенденції у розвитку та вдосконаленні теплових агрегатів та їх умовну класифікацію.

Паливні печі в залежності від виду робочого простору поділяються на ванни та тиглі. Останні, у свою чергу, можуть бути стаціонарні, поворотні та обертові.

Електричні печі за способом перетворення електричної енергії на теплову діляться на печі опору та індукційні.

Печі опору формою робочого простору поділяються на тигельные і камерні, а індукційні печі залежно від наявності сердечника поділяються на тигельные і канальні.

Основними показниками, що характеризують ефективність роботи плавильних агрегатів, є:

- ступінь вилучення металу в готову продукцію та величина безповоротних втрат його;
- питома витрата енергії на 1т сплаву, що виплавляється;
- продуктивність;
- капітальні витрати на спорудження плавильного комплексу;
- можливість механізації та автоматизації плавки.

Незважаючи на велику різноманітність обладнання, що використовується для переробки вторинної сировини, є спільні питання, які є предметом їх розгляду.

Основи плавлення алюмінію

Металургійні процеси в плавильній печі, пов'язані з плавкою шихтових матеріалів, розчиненням лігатур, усередненням хімічного складу розплаву та доведенням його температури до заданого значення, як правило, полягають у перенесенні тепла та речовини. Цим головним процесам у ванні супроводжують і інші, пов'язані із взаємодією металу з атмосферою, флюсами та футеруванням печі, забрудненням металу неметалевими домішками та воднем. Основні процеси у печі за своєю природою можна віднести до теплофізичних, а супутні - до фізико-хімічних.

Теплові явища

Температура плавлення чистого алюмінію дорівнює 660,37 ºС, яке сплавів значно нижче й у евтектичного силуміну становить лише 562 ºС.

При порівняно низькій температурі плавлення алюміній має високі значення прихованої теплоти плавлення (391,2 кДж/кг, або 93,3 ккал/кг) і теплоємності (у твердому стані 1,033 кДж/(кг С).

Кількість тепла, що витрачається на нагрівання, плавлення та перегрів розплавленого металу до заданої температури, можна визначити за допомогою діаграми як різницю ентальпій у заданому діапазоні температур.

Процес теплообміну в печі полягає у передачі тепла від джерела енергії до металу для його нагрівання та плавлення шляхом радіації, конвекції та теплопровідності.

Як правило, ці три види діють спільно, але роль кожної складової суттєво змінюється в залежності від конструкції печі.

У відбивній полум'яній печі (широко використовується для переплавлення брухту і відходів алюмінію, рис. 1.а) шихта нагрівається при променевиділення від розжарених стін і склепіння печі, а також при безпосередньому зіткненні металу з пічними газами.

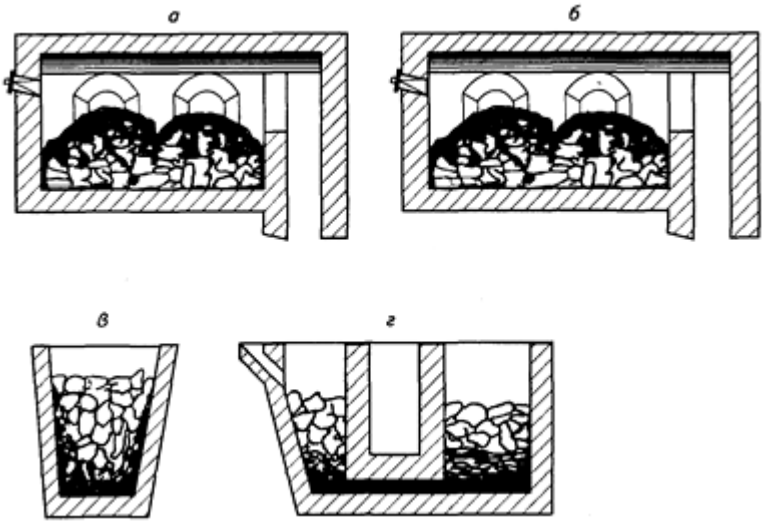


Рисунок 3.9 – Схеми металургійних печей

Тому метал, завантажений на суху подину, нагрівається тільки зовні і, незважаючи на високу теплопровідність алюмінію, шихта печі прогрівається вкрай нерівномірно.

Після утворення на подіні шару рідкого металу (рис. 1.б) процес плавлення прискорюється і знизу за рахунок передачі тепла.

Досвід роботи відбивних печей, обладнаних пристроями для перемішування розплаву, показує, що продуктивність плавки зростає на 10-30%.

Слід зазначити, що висока відбивна здатність алюмінію (він поглинає всього 10% променистої енергії, тоді як мідь - 30, а залізо - 42%) робить малоефективним радіаційне нагрівання при плавленні сплавів у печі, що відбивають.

Рідкий метал нагрівається через відкриту поверхню, причому тепло від верхніх шарів металу до нижніх передається тільки завдяки теплопровідності металу, оскільки верхні шари металу, що мають меншу щільність, не можуть опуститися донизу, так що конвекційних потоків металу у ванні не утворюється.

Наявність на поверхні металу оксидної плівки або шару флюсу різко уповільнює процес плавки, внаслідок чого відбуваються додаткові втрати металу за рахунок його окиснення.

Тому при плавці дрібних відходів (стружка, дрібний шлак) практикують їхнє завантаження у ванну з попередньо наплавленим металом.

При плавленні металу в печі тигельної умови нагрівання металу значно краще, ніж у відбивній печі, так як він нагрівається через дно і стінки тигля. Швидкість підведення тепла до металу H залежить від поверхні S, віднесеної до його обсягу V: H= S0.5 / V0.33

Для печей тигельних воно становить 2 - 3, а для полум'яних - 1,5 - 3,0.

Сприятливі умови нагріву створюються при конвекційному русі металу, що нагрівається знизу та з боків.

Процес плавлення алюмінієвих сплавів істотно прискорюється при зануренні шихти в розплав, коли одночасно з прогріванням шихти йде її розчинення в металі.

Особливо добре плавиться метал в індукційних електричних печах - за рахунок тепла, що створюється в самому металі, і за рахунок тепла перегрітого рідкого металу. У ньому рідкий метал добре перемішується як завдяки конвекції, а й унаслідок взаємодії магнітного поля з наведеним у металі струмом.

Якщо плавка ведеться із застосуванням флюсів, то на їх нагрівання та розплавлення також витрачається велика кількість тепла.

Наприклад, для нагрівання та розплавлення флюсу, що складається з рівних частин хлористого калію і хлористого натрію, потрібно стільки ж тепла, скільки потрібно для розплавлення рівного їм за масою кількості алюмінію.

Слід мати на увазі, що при переплаві алюмінію його випаровування незначне, але флюси, що застосовуються при цьому, випаровуються інтенсивно, що крім витрати енергії і матеріалів створює ряд екологічних проблем.

Втрати від випаровування при плавці залежать від тиску насиченої пари даного елемента: що воно вище, то більше втрат від випаровування.

3.5.1 Процес виплавки виливків з алюмінієвих сплавів.

Технологічний процес виробництва виливків із алюмінієвих сплавів традиційно передбачає проведення металургійної обробки розплаву перед заливкою форм. В даний час на ринку України присутня значна кількість флюсів для металургійної обробки розплаву у вигляді порошкових композицій, що складаються з механічної суміші солей натрію, калію, алюмінію, кальцію та ін. (хлориди, фториди, карбонати).

Практика показує, що використання розроблених провідними світовими компаніями, зокрема. “Fondermat” та “FOSECO”, сучасних гранульованих флюсів, одержуваних за новими технологіями, більш ефективніші, ніж використання традиційних порошкових флюсів. Так, після рафінування розплаву алюмінієвого сплаву гранулами вміст оксидів алюмінію в литому матеріалі виливків зменшується в три рази в порівнянні з обробкою порошковими флюсами, а екологічні показники покращуються в два рази.

Аналогічні дані отримані нашою компанією в результаті багаторічних тестувань флюсів різних виробників у порошкоподібному та гранульованому вигляді. При тестуванні флюсів оцінювали металургійну відшлаковку розплаву алюмінію, а також пластичність і міцність литого матеріалу після обробки флюсами.

Було встановлено, що гранульовані флюси значно перевершують порошкові аналогічного хімічного складу (табл. 3.6). Також виявлено закономірність: гранульовані флюси порівняно з порошковими плавляться при нижчій температурі у вузькому температурному інтервалі та швидкість реакції з розплавом алюмінію набагато вища.

Таблиця 3.6 - Деякі дані обробки розплаву алюмінію марки АД31 різними флюсами

Обробка розплаву	Норма витрати флюсу, %	Вміст алюмінієвих включень у шлаку, %	Механічні властивості		Флюс
			Подовження, %	Межа міцності на розтягування, МПа	
Без обробки	0	3,4	5,0	79,4	Без флюсу
Флюс європейського виробництва	0,2	2,6	13,2	105,6	Порошок
		0,9	14,6	153,8	Гранули
Флюс виробництва РБ	0,2	6,8	7,2	100,1	Порошок
		0,6	10,4	121,2	Гранули

Основні перевагисучасних гранульованих флюсів: гранульований люс має більшу ефективність у порівнянні з порошкоподібними аналогами (до 100%). При витраті гранульованого в 0,1% порівняно з порошкоподібним норма 0,3%, якість розплаву значно вища; перехід від порошкоподібного флюсу до гранульованого дозволяє значно покращити екологічну обстановку виробництва за рахунок зниження кількості шкідливих виділень; можливість дозованої подачі гранул в струмінь при переливі в транспортний ківш або тигель, а також під ротор, що обертається; досягається економічна ефективність виробництва, за рахунок зниження питомої витрати гранульованого флюсу порівняно з порошковим (див. табл. 3.8)

Таблиця 3.7 - Розрахунок економічної ефективності використання гранульованого флюсу

Найменування параметра	Порошковий флюс	Гранульований флюс
Закупівельна ціна, кг	1 одиниця	1,5 одиниці
Витрата, %	0,3	0,1

Найменування параметра	Порошковий флюс	Гранульований флюс
Вартість обробки 1 т розплаву	3 одиниці	1,5 одиниці

Для технологій, які поки не перейшли на гранульовані флюси розроблено та виготовлено бюджетні порошкові флюси, що демонструють прийнятну ефективність за низькою ціною. Загальна номенклатура флюсів для обробки розплавів алюмінієвих сплавів представлена табл. 3.8.

Таблиця 3.8 - Флюси для обробки розплавів алюмінієвих сплавів представлені в Україні

Найменування флюсу	Виробник	Відфлюса	Призначення	Нормарасходу, %
Fondal H600 GRФлюс рафінуючий для силумінів	Fondermat, Італія	гранули	Видалення оксидів, зменшення вмісту водню, зменшення вмісту металу у шлаку	0,1
Fondal N1120 GRФлюс рафінуючий для деформованих сплавів (не містить Na та Ca)	Fondermat, Італія	гранули	Видалення оксидів, зменшення вмісту водню, зменшення вмісту металу у шлаку	0,1
Fondal M-Na GRФлюс модифікуючий для силумінів	Fondermat, Італія	гранули	Модифікація (подрібнення Al-Si евтектики)	0,2 - 0,3
Fondal TiB GRФлюс для подрібнення зерна алюмінієвих сплавів усіх марок	Fondermat, Італія	гранули	Подрібнення макроструктури (зерна алюмінію)	0,1 - 0,2

Найменування флюсу	Виробник	Відфлюса	Призначення	Нормарасходу, %
Дегазатор ТА 250Флюс таблетований дегазуючий	Evtektika,Білорусь	таблетки по 250 г	Дегазація розплавів алюмінію	0,1 - 0,2
Флюс, що рафінує для силумінів.	Evtektika,Білорусь	порошок	Видалення оксидів, зменшення вмісту металу у шлаку	0,2
Флюс рафінуючий для деформованих сплавів	Evtektika,Білорусь	порошок	Видалення оксидів, зменшення вмісту металу у шлаку	0,2
Флюс для видалення магнію з алюмінієвих сплавів	Evtektika,Білорусь	порошок	Видалення магнію з алюмінієвих сплавів	Залежно від концентрації Mg
Концентрат для плавки у роторних печах	Evtektika,Білорусь	концентрат флюсу (порошок)	Концентрат калію фтористого та фториду для використання в роторних печах із похилою віссю	5 - 7% готового флюсу

Особливої важливості набувають проблеми антропогенного впливу людини на природу. Одними із найважливіших проблем є проблеми переробки та утилізації відходів споживання.

Зокрема, до них належать питання переробки вторинного алюмінію. Саме вони сьогодні є актуальними та вимагають невідкладного рішення. По-перше, на даний у світі алюміній є одним із найбільш затребуваних металів. (Кожен день у світі утворюється брухт придатний для рециклінгу). По-друге, нині існує дефіцит підприємств з переробки промислових відходів

алюмінієвого виробництва, що відповідає санітарним нормам та запобігає погіршенню екологічної обстановки.

До того ж виробництво вторинного алюмінію має переваги в порівнянні з виробництвом первинного металу, до них відносяться економія рудних та енергетичних ресурсів, суттєве зниження шкідливого впливу на екологію та утилізація відходів споживання.

Незважаючи на те, що рециклінг алюмінію є дуже актуальним і органічно вписується в державну екологічну політику, середній рівень використання промислових відходів становить приблизно 36%.

У Україні діють близько 80 підприємств, що переробляють алюмінієвий скрап, які можна поділити на три групи. Незалежно від кількості підприємств із виробництва вторинного алюмінію, не вдається скоротити кількість алюмінієвого брухту. Це можна пояснити недоліком сучасного обладнання, що застосовується при виробництві металу. Звичайно, розвиток галузі з рециклінгу алюмінію призвело до скорочення обсягів утворення брухту. Водночас виникла проблема, пов'язана з нестачею якісної сировини (брухту, з низьким вмістом інших металів сплавів та неметалічних домішок). Сьогодні підприємства починають переробляти алюмінієвий брухт із вищим вмістом домішок, що ускладнює технології виробництва вторинного алюмінію. У результаті переробників з'являється проблема раціонального використання ресурсів свого підприємства. Саме тому сьогодні особливо гострою є необхідність розробки ефективніших методів переробки вторинного алюмінію та модернізації обладнання даного виробництва. Все це необхідно для скорочення витрат на технологічні процеси, зниження негативного впливу на навколишнє середовище, а також для розширення номенклатури сплавів, що випускаються, і забезпечення високої якості продукції.

Актуальні напрями розвитку рециклінгу алюмінію

1. Використання раціональної кожному за підприємства схеми поводження з алюмінієвими шлаками.

Зниження втрат металу зі шлаками визначаються умовами шлакоутворення при плавленні алюмінієвого брухту:

а) наявністю забруднень на амортизаційному брухті, його вологістю та ступенем корозії, швидкість нагрівання брухту в печі під час плавки;

б) теплопередачею в шар шихти у просторі печі;

в) наявністю у складі шихти фрагментів брухту з підвищеним вмістом магнію.

2. Удосконалення технології підготовки алюмінієвого брухту до плавки.

Зниження виходу шлаку і втрат металу з ними визначають наступні етапи з підготовки шихти до плавки, а також проведення самого процесу плавлення брухту в печі.

До них відносяться в першу чергу застосування технології дроблення, сепарації (пневматичної та магнітної), що дозволяє:

а) очистити брухт від механічних забруднень та оксидів

б) висушити брухт за рахунок тепла брухту, що виділяється при дробленні.

3. Зниження витрат на рафінування від магнію під час виробництва сплавів з Mg < 0,1 % з одночасним вирішенням питань зниження викидів солей у довкілля.

Реалізація цього напряму пов'язана з:

а) Використання нового флюсу з найменшою витратою. Це дозволить скоротити утворення хлоридів та фторидів.

б) Використання поза пічною обробкою.

4. Удосконалення технології переробки брухту.

Цей напрямок пов'язане з модернізацією старих і проектуванням нових промислових установок для виробництва вторинного алюмінію.

Удосконалення технології переробки брухтів

Одним із перспективних сьогодні є напрямок з удосконалення технологій переробки брухтів.

Прикладом розвитку цього напряму є реконструкція відбивної печі для плавлення алюмінієвих відходів із заміною рекуперативних пальників на регенеративні блоки.

Суть модернізації печі у тому, що відбувається заміна системи опалення печі. Регенеративна система опалення складається як мінімум із двох регенеративних пальників. В даний час використовуються пальники з виносною насадкою рекуператора, щоб спростити ремонт під час засмічення насадки продуктами горіння.

Після реконструкції печі вдається досягти підвищення температури під склепінням печі до 1200 ºС, що дозволяє скоротити час плавки брухту. Через війну підвищується рівень вилучення алюмінію на 1,5%.

Дана система опалення за рахунок регенерації тепла димових газів дозволяє підвищити температуру повітря до 900 ºС, дозволить скоротити на 25-30% витрату палива і знизити температури відпрацьованих газів до 200 - 260 ºС.

Останній факт суттєво полегшить роботу системи пиловловлення та значно скоротить викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Висновки

На сьогодні вирішення проблем виробництво вторинного алюмінію є важливим аспектом для розвитку усієї алюмінієвої промисловості.

Справа в тому, що при їх вирішенні вирішуються завдання раціонального природокористування, а також питання переозброєння промислових агрегатів. Останнє дають можливість зростання та розвитку галузі загалом, що у своє чергу благо приємно впливає в розвитку всієї промисловості Росії.

3.5.2 Безвідходна технологія переробки вторинної алюмінієвої сировини

Зростання споживання алюмінієвих виробів призводить до накопичення відходів, які використовують для вторинних алюмінієвих

сплавів. Порівняно з первинним металом витрати на їх одержання у кілька разів нижчі. Утилізацію шлаків і стружки, що утворюються в процесі лиття та обробки деталей з алюмінієвих сплавів, успішно здійснюють на багатьох підприємствах, в результаті чого утворюються шлаки, які містять близько 7% алюмінію металевого, 70-75% оксиду алюмінію, хлориди та оксиди натрію та калію, оксиди. Подальша металургійна переробка цих відходів є економічно недоцільною, і тому їх видаляють на промислові полігони. У той же час після певної підготовки – дроблення та механічного змішування з алюмінієвою стружкою – цей матеріал можна використовувати для розкислення сталеплавильних шлаків.

На РУП «Білоруський металургійний завод» проведено дослідні випробування алюмосодержащей розкислювальної суміші (АРС) на основі відходів металургійної переробки вторинного алюмінію. Матеріал використовували при внепечной обробці всього сортаменту сталі, за винятком кордових марок, для розкислення шлаку замість штатного розкислювача на основі алюмінію. Присадку АРС здійснювали відразу після випуску розплаву з дугової сталеплавильної печі ємністю 100 т на встановлення доведення металу або піч-ківш. Вуглерожувач і феросплави подавали після розкислення шлаку. АРС додавали порціями по 20-40 кг при загальних витратах 60-120 кг на плавку. В ході обробки в залежності від окисленості (суми оксидів FeO і MnO) колір шлаку сталь-ковша змінювався з чорного до світло-сірого та білого. Відразу після присадки АРС вміст оксиду алюмінію в шлаку було порівняно високим (в середньому 17,27%), але при подальшій обробці розплаву, в ході присадки шлакоутворюючих, знижувалося в середньому до 13,38%. Одночасно зменшувалося і вміст оксидів заліза та марганцю з 2,25% на початку обробки до 1,37% наприкінці. Після присадки АРС візуально відзначали підвищення рідини шлаку, що досягала максимуму при введенні 100 кг і більше досвідченого матеріалу. При цьому розливання сталі на дослідних плавках не погіршувалося. Ступінь десульфурації сталі, обробленої з використанням АРС, знаходилася

в межах 23,9-61,1% і в середньому склала 38,7%. Ступінь десульфурації порівняльних плавок з використанням штатного розкислювача змінювалася в діапазоні 17,0-57,1% і в середньому склала 35,5%. При присадці АРС спостерігалося помірне газовиділення, пиловиділення не було. В результаті випробувань встановлено, що технологічні показники плавок з використанням АРС (ступінь десульфурації сталі, рідина плинність шлаку, розливу металу) можна порівняти з плавками, обробленими стандартним розкислювачем.

Застосування відходів вторинної металургійної переробки алюмінію для розкислення сталеплавильних шлаків дозволить:

- створити безвідходне виробництво з утилізації алюмінієвих шлаків та стружки;

- уникнути поховання відходів III-IV класу небезпеки, що сприятливо позначиться на стані довкілля;

- зменшити витрати на виробництво сталі, оскільки вартість сумішей, що розкислюють, на основі відходів менша, ніж штатних розкислювачів.

Висновок до розділу 3

В основу технологічних схем переробки брухту та відходів алюмінію покладено принцип максимального поліпшення якості вихідної сировини та кінцевої продукції. Одним із підходів передбачає захист розплаву алюмінію від окиснення із застосуванням флюсів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Характеристика ступеня безпеки технологічного процесу виплавки та розливання алюмінієвих сплавів

Проблема охорони праці та раціонального використання природних ресурсів віднесена до найважливіших технологічних завдань.

Основні завдання з охорони навколишнього середовища, що стоять перед металургією, характеризуються такими етапами:

1. Постійний контроль за станом навколишнього середовища та комплексом джерел її забруднення із застосуванням нових науково – технічних засобів та розробки необхідних заходів для охорони праці.

2. Зниження шкідливого впливу техногенних відходів металургійного виробництва на довкілля. Для реалізації поставленого завдання виникає необхідність розробки та впровадження технологічних процесів, що забезпечують зменшення відходів, їх використання у власному металургійному виробництві, суміжних виробництвах та галузях промисловості.

3. Створення сучасних методів контролю та засобів боротьби зі шкідливими викидами промислових відходів в атмосферу, впливом електричних, магнітних полів та випромінювань, вібраціями та шумом.

4. Запобігання родючих ґрунтів від забруднення промисловими техногенними відходами у вигляді шлаків, стоків брудних рідин та ін.

Постійним завданням техніки безпеки є вивчення, контроль та усунення небезпечних ситуацій, які можуть виникнути у процесі роботи та призвести до пошкодження організму. Розробка комплексу заходів та створення умов, що забезпечують повну безпеку та максимальну продуктивність праці робітника.

Досить часто нещасні випадки зумовлюються не випадковими явищами, а наявністю причин, які необхідно передбачити та заздалегідь усунути. З метою попередження нещасних випадків на кожному підприємстві проводиться вступний інструктаж для всіх, хто знову надходить на роботу і періодично перевіряються знання з техніки безпеки у всіх працюючих.

Важливе значення зниження виробничого травматизму надає ступінь механізації і автоматизації виробничого процесу. Ступінь механізації та автоматизації виробничого процесу визначається шляхом встановлення числа робітників, зайнятих обслуговуванням машин, механізмів, до загального числа спискових робітників. Достатньо повне уявлення про рівень механізації праці можна визначити за такою формулою:

$$B = \frac{M}{M + R} \cdot 100, \%$$

де: В – ступінь механізації праці;

М – сума людино-годин механізованої праці,

R – сума людино-годин ручної праці.

4.2 Небезпечні та шкідливі фактори виробничого середовища

Пічний проліт виплавки та розливу сплавів алюмінію є ділянкою підвищеної небезпеки. Він оснащений технологічним обладнанням та вантажопідйомними механізмами, що працюють в інтенсивному режимі.

До шкідливих факторів, присутніх у пічному прольоті, належать: пил, гази, шум, теплове та інфрачервоне випромінювання, вібрація, наявність шкідливих домішок, газів з концентрацією вище ГДК.

У процесі транспортування та завантаження шихтових матеріалів у плавильні печі відбувається утворення пилу, ангідриду хрому, оксидів нікелю, марганцю, оксиду азоту, хрому та хлоридів алюмінію, цинку.

При вдиханні повітря, насиченого пилом, у легені потрапляють завислі частки розміром від 0,1 до 10 мкм. Частинки більше 5 мкм осідають у носоглотці, частинки розміром менше 5 мкм вдихаються разом із повітрям і накопичуються у легенях. Вплив пилу та інших шкідливих речовин полягає у подразненні шкіри, очей, вух, накопичення пилу у легенях спричиняє специфічні профзахворювання.

Експлуатація мостових кранів, завалочних машин, вентиляції, газових фурм, характеризується шумом, вібрацією, що значно погіршує умови праці. Шум знижує чутливість зору, знижує рівень уваги. Шум збільшує напругу нервової системи, впливає на стійкість психіки людини, серцево-судинної системи, порушує умови нормального сну. Постійна дія шуму призводить до стійких уражень функцій органів слуху.

В умовах виробництва алюмінієвих сплавів та їх розливання теплове випромінювання небезпечно впливає на працюючих. Потоки теплових випромінювань включають інфрачервоні промені. Тепловий вплив залежить від довжини хвилі і щільності потоку випромінювання, площі ділянки тіла, що опромінюється, тривалості опромінення і кута падіння інфрачервоних променів, типу одягу. Теплова дія є причиною швидкої втоми, зниження працездатності, розвитку різноманітних захворювань: теплового виснаження, теплового удару, катаракти очей.

Обслуговуючий технологічний персонал характеризується високими енергетичними витратами. Зайве фізичне навантаження викликає стомлення організму, зниження працездатності. Втома послаблює опір організму шкідливим впливам, заважає зосередитись і може стати причиною нещасного випадку.

Для чинників негативного на організм людини розроблені гранично допустимі концентрації (ГДК). Впливи на людину шкідливих чинників,

перевищують норми ГДК, зумовлюють виникнення професійних захворювань. Перелік небезпечних виробничих факторів подано у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Оцінка факторів виробничого та трудового процесу

№ п/п	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	норм. зн. (ГДК, ПДУ)	Фактич. знач.	III клас – шкідливі та небезпечні умови та характер праці, ступеня			Час дії фактора, % за зміну
				1	2	3	
1.	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м3	6	19,1		3,2		100
2.	Вібрація (загальна та локальна), дБ	92	97	5			
3.	Шум, дБА	80	89	9			
4.	Мікроклімат у приміщенні: - температура повітря, ^{0}C - швидкість руху повітря, м/сек - відносна вологість повітря, % - інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	26-15 0,1-0,2 55 140	28 □0,3 32 3500	2		3500	90 100
5.	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3 1 клас небезпеки - ангідрид хромовий - бензапірен - нікель, оксиди нікелю - оксиди марганцю, аерозоль конденсації 2 клас небезпеки - мідь 3-4 класи небезпеки - ангідрид сірчаний (SO_2) - оксиди азоту (NO_2) - хлорид цинку - оксиди хрому	 0,01 0,00015 0,05 0,05 1 10 5 2 1	 0,059 0,0002 0,15 0,27 2,2 28,5 35,5 7,4 5,7	 1,3 3,7	3 2,2 2,85	5,9 5,4 7,1 5,7	94 94 94 94 94 94 94 94 94
6.	Атмосферний тиск	760	740				
7.	Тяжкість і напруженість праці	97000	156660				

Надмірний шум погіршує здоров'я працюючих, зумовлює збільшення травматизму, призводить до зниження працездатності, підвищує рівень стомлюваності. Тривале вплив шуму може призвести до послаблення або повної втрати слуху.

Струм є головним фактором людини при електротравмі. Встановлено гранично допустимі значення струмів, що проходять через людину в умовах електротравми. Збільшення тривалості перебігу струму через людину збільшує тяжкість ураження. Електричний струм, що протікає в тілі людини, зумовлює перетворення електричної енергії в інші види та справляє термічну та біологічну дії.

Ступінь складності електротравми визначається величиною робочої напруги електроустановки, опору тіла людини, шляху проходження струму по тілу людини, тривалості проходження електричного струму, умов довкілля та фізичного стану людини.

4.3 Основні вимоги виробничої санітарії

4.3.1 Опалення та вентиляція

Враховуючи категорії робіт з тяжкості, характеристику виробничих приміщень, з урахуванням періодів року, потрібно встановити параметри повітряного середовища для робочої зони виробничих приміщень відповідно до вимог санітарних норм. Відповідно до ГОСТу працю робітників на печі можна охарактеризувати як середньої тяжкості (категорія II б, таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 - Оптимальні параметри мікроклімату

Сезон	Категорія робіт	Температура повітря, ^{0}C	Оптимальна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря м/с
Холодний та перехідний, температура < +10^{0}C	Середньої тяжкості II б	17-19	60…40	0,3
Теплий, температура + 10 ^{0}C та вище	Середньої тяжкості II б	20-22	60-40	0,4

Забезпечення допустимих параметрів навколишнього повітряного середовища у робочій зоні є обов'язковим завданням, дозвіл якого реалізується за такими напрямками: раціональне розміщення технологічного обладнання, застосування раціональних технологічних процесів, достатня теплова ізоляція обладнання, оптимальна вентиляція та опалення, застосування сучасних засобів індивідуального захисту.

4.3.2 Виробниче освітлення

Висвітлення у виробничих будинках може здійснюватися за двома варіантами: природного та штучного світла. При недостатності природного освітлення використовується спільне освітлення з обох варіантів.

Для нормального природного освітлення проводиться очищення скла від пилу, бруду та кіптяви не рідше 4 разів на рік.

Застосовується штучне освітлення на основі ламп розжарювання та газорозрядних ламп (люмінесцентні, ртутні високого тиску). Штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне та евакуаційне. Наявність аварійного висвітлення зумовлює проведення технологічного процесу за умов відключення робочого висвітлення. Евакуаційне освітлення забезпечує безпечну евакуацію людей, що працюють.

4.3.3 Санітарно-побутові приміщення

Для забезпечення санітарних та побутових потреб працюючих співробітників передбачається наявність санітарно-побутових приміщень та пристроїв, до яких належать: вбиральні, курильні кімнати, умивальники, приміщення для прийому їжі, здравпункти, а також деякі додаткові приміщення з пристроями для сушіння, знепилювання та знешкодження спецодягу та прання та прання.

Вибір та кількість загальних та спеціальних побутових приміщень та пристроїв спирається на санітарну характеристику виробничого процесу. Залежно від характеру та ступеня впливу на працюючих усі виробничі процеси поділяються на чотири групи.

У цеху виплавки та розливання алюмінієвих сплавів виробничий процес можна віднести доII групі, тобто. до процесів, що протікають за несприятливих метеорологічних умов із виділенням вологи, пилу, променистого тепла, використання струму високої напруги.

Гардеробні приміщення використовуються для зберігання вуличного, домашнього та робочого одягу. У металургійному цеху вбиральні обладнані шафами, кількість яких дорівнює кількості працюючих у всіх змінах з урахуванням тимчасових працюючих та практикантів. Ширина походів між шафами не менше ніж 1,5 м.

Умивальні розміщують в окремих приміщеннях, суміжних з вбиральнями, або в вбиральні. Кількість умивальників встановлюється із розрахунку 1 на 15 осіб. Передбачені додаткові умивальники з душовими сітками та підведенням теплої води (напівдуші): один напівдуш на кожних 15 працюючих за зміну. Туалети розміщують на відстані, що не перевищує 75 м від найбільш віддаленого робочого місця.

Курильні приміщення визначають із розрахунку 0,03 $м^2$на одного працюючого в найбільш численній зміні, але не менше ніж 9 м2.

Здравпункт розміщується у цеху, як особливо небезпечному щодо травматизму, з відривом 100 м.

Пункти живлення розміщуються у будинках побутових приміщень.

4.3.4 Вимоги пожежної безпеки

Пожежа є неконтрольованим процесом горіння, що супроводжується знищенням матеріальних цінностей і створює небезпеку для життя людей.

Безпосередньо на виробничій ділянці пожежна безпека забезпечується розробкою шляхів евакуації персоналу, наявністю засобів сповіщення про пожежу, засобів пожежогасіння (сокири, багри, лопати, ящики з піском, вогнегасники).

У металургійному цеху встановлюються протипожежні перешкоди, які являють собою перекриття, що не згорають, стіни, вікна та двері виконані з матеріалів, які згоряють за час не менше 1,2 години.

Пожежний зв'язок реалізується в телефонному та електричному режимі. Найбільш надійно працює ЕПС, яка буває автоматична і не автоматична. Не автоматична встановлюється у місцях постійного перебування людей. У разі виникнення пожежі цей зв'язок наводиться вручну.

Автоматичний зв'язок встановлюється у тих місцях, де не завжди присутні робітники.

Аналіз пожеж показує, що основними причинами виникнення пожеж є використання несправних теплових агрегатів, технологічного обладнання, електричних установок, розряди статичної електрики.

Процес гасіння речовин, що горять, зводиться до активного впливу на процес горіння в зоні реакцій і досягається застосуванням вогнегасних засобів: пари, піни, твердих порошків, вогнегасників.

Для гасіння пожежі застосовуються:

- порошкові вогнегасники ОП-5 – призначені для гасіння загоряння легкозаймистих та горючих рідин, електроустановок, що знаходяться під напругою.

- вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 – призначені для загоряння різних речовин та матеріалів, за винятком тих, що можуть горіти без доступу повітря. Їх можна застосовувати для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою не більше 1000 В.

4.3.5 Заходи захисту навколишнього середовища

Шкідливі викиди великих промислових міст призводять до зміни складу атмосферного повітря, що є одним з найважливіших факторів довкілля і надає великий вплив на умови життя та здоров'я населення. Великими джерелами забруднення повітряного середовища є підприємства чорної металургії. А викиди мартенівського цеху у загальному балансі викидів шкідливі речовини становлять 20 – 25 %. Але незважаючи на це, основна кількість сталі, яку виробляють у нашій країні, виплавляється у мартенівських агрегатах. Тому проблема захисту довкілля від викидів мартенівського виробництва має одне з першорядних значень.

Мартенівське виробництво має одні з найгірших екологічних показників у порівнянні з іншими переділами. Особливо це стосується викидів пилу за умов інтенсифікації плавки за допомогою продування ванни киснем.

Основними джерелами димоутворення в мартенівській печі є згоряння палива, газовиділення з сипких матеріалів при нагріванні та розкладанні, а також утворення CO та CO2 при окисленні вуглецю шихти.

Висновки до розділу 4

Основними потенційно небезпечними та шкідливими факторами виробничого середовища: теплові виділення, шум, вібрація, електричний струм, електромагнітне поле.

Висвітлення у виробничих будівлях може здійснюватися природним та штучним світлом. При недостатності природного висвітлення використовується спільне висвітлення. Для нормального природного освітлення в мартенівському цеху очищають скла від пилу та бруду, кіптяви не рідше 4 разів на рік.

.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Валкове розливання-прокатка є перспективним напрямом сучасної металургії.

Для вдосконалення методів валкового розливання-прокатки залучення математичних моделей та методів дозволяє оптимізувати розподіл температурних полів, формування фронту скоринки кристалізації розплаву металу та призначати оптимальні режими охолодження валків-кристалізаторів.

Промислове освоєння одновалкового розливу-прокатки не вимагає додаткових розрахунків, проте іноді виникає необхідність додаткового дослідження процесу теплопередачі між валком-кристалізатором і розплавом металу, впливу швидкості обертання валка-кристалізатора на утворення різнотовщності і нерівностей поверхні, що вільно затвердіває.

1. Аналіз результатів розрахунку вказує на позитивний вплив примусової подачі відлитої заготовки на розподіл питомого тиску у зонах деформування. Розрахунки показали, що досягається необхідний тиск стиснення заготовки відлитої із застосуванням валків при менших значеннях діаметрів.

2. Представлений аналіз публікацій свідчить про активне винекнення вібраційної діагностики обладнання прокатних станів та ефефективності використовуваних систем.

3. В опублікованих роботах практично не розкриваються використовувані способи діагностування навіть у випадках використання загальновідомих методів кореляційного та спектрального аналізу.

4. В цілому показано, що розвиток вібродіагностики знаходиться на початковому етапі та можливості методів вібродіагностики нині далеко ще не вичерпані.

5. На металургійних підприємствах створюються підрозділи технічної діагностики та моніторингу обладнання. В останні роки активно

розвиваються теоретичні питання діагностування та моніторингу обладнання. Водночас необхідне розширення та поглиблення досліджень вібродинамічних процесів у тісному зв'язку з технологічним процесом та моніторингом навантажень.

6. Успішна діагностика не може бути здійснено лише за рахунок придбання сучасної системи. Необхідно мати великі знання в галузі роботи прокатного обладнання та вібродинамічних процесів та висока компетентність фахівців експлуатують та обслуговують прокатні стани.

7. Аналіз відмов обладнання прокатних клітей та економічних втрат дозволяє виділити один з актуальних напрямів подальшого розвитку вітчизняних методів та способів вібраційної діагностики та моніторингу прокатного обладнання.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННННЯ

1. Паршин В.С., Фотов А.А., Алешин В.А. Холодное волочение труб. Металлургия, 1979. С. 239 с.

2. Nippon Steel and Sumitomo Metal (2015) *Rails*. http://www. nssmc.com/product/catalog_download/pdf/K003en.pdf.

3. Цирульников В.А. Новые процессы в трубном производстве. *Прокатное и волочильное производство*, 1973. Т.6. С. 72-85.

4. Kayda P., Medovar L., Polishko G., Stovpchenko G. ESR Possibilities to improve railroad rail steel performance. Procesing of 9th Intern. Conf. on Clean Steel, Budapest, Hungary, September 8–10, 2015. С. 123-127.

5. Минаков В. С. Моделиювание, разработка технологии и расчет параметюв установки непрерьюного литья и деформации для получения листа из алюминия. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2006. С. 22.

6. Северденко В.П., Петренко В.В. Изменение внешнего трения при свободной осадке стали в ультразвуковом поле. БССР, 1970, XIV. № 6. С. 514-516.

7. Северденко В.П., Клубович В.В. Деформация металла в ультразвуковом поле. БССР. 1961. № 1. С.15-17.

8. Медовар Л. Б, Стовпченко А.П., Сибирь А. В., Волченков Е. А. Моделирование непрерывной розливки комбинированным процессом МНЛЗ + ЭШП. *Металл и литье Украины*, 2017. № 4 (129). С.3-7 .

9. Смирнов А. Н. 50 лет непрерывной разливке стали в Украине. *Металл и литье Украины*, 2010. №7. С.3-8.

10. Медовар Л. Б., Стовпченко А. П., Кайда П. Н. и др. Новый подход к улучшению качества заготовки для производства высокопрочных рельсов. *Современная электрометаллургия*, 2016. №1, С.7–15.

11. Рябов Д.К.Изменение механических свойств листов из сплава 1913 при введении скандия / Д.К. Рябов, Н.И. Колобнев, А.Я. Кочубей, А.В. Заводов. *Авиационные материалы и технологии*, 2014. №4. С.3-8.

12.Рохлин Л.Л., Добаткина Т.В., Королькова И.Г., Болотова М.Н. Исследование совместного влияния скандия и хрома на структуру и механические свойства алюминия и его сплавов с магнием. *Материаловедение и термическая обработка*, 2008. №3. С. 115–119.

13. Григорьев М.В., Антипов В.В., Вахромов Р.О. Структура и свойства слитков из сплава системы Al–Cu–Mg с микродобавками серебра . *Авиационные материалы и технологии*, 2013. №3. С. 3–6.

14. Медовар Л. Б., Стовпченко А. П., Кайда П. Н. та ін. Новий підхід до поліпшення якості заготовки для виробництва високоміцних рейок. *Сучасна електрометалургія*, 2016, № 1. С. 7-15.

15. Kayda P., Medovar L., Polishko G., Stovpchenko G. ESR Possibilities to improve the rail steel performance. Procesing of 9th Intern. Конф. on Clean Steel, Budapest, Hungary, September 8-10, 2015.

16. Смирнов А. Н. 50 років безперервного розливання сталі в Україні. *Металл і литво України*, 2010. № 7. С.3-8.

17. Хахалин Ст. Д. Труболитейное виробництво / В. Д. Хахалин, в. І. Семко, А. Н. Смоляков, А. С. Черезов, Н.М. Бічний. *Металургія*, 1977. С. 224.

18. Виробництво сталевих труб на заводах об'єднання «Сосьєте Валлурек» (Франція) // Бюлл. ЦНІІЧМ. 1973. № 19. С. 18-32.

19. Ячменьов А. Н., Толстіков Р. М., Альошин Ст. А. Перспективи розвитку виробництва труб малого діаметру на ПНТЗ. *Сталь*, 1994. №4. С. 48 - 50.

20. Минтаханов М. А., Виноградів Ю. В., Романцев Б. А. Малий трубопрокатний агрегат. *Сталь*, 1996. №5. С. 45 – 48.

21. Бондаренко С. В. Дослідження залежності температури і ступеня деформації тонких ділянок профільованих смуг при валковою розливанні-

прокатці з додатковим тепловим опором / С. В. Бондаренко, А. Ю. Грідін, М. Шапер // *Обробка матеріалів тиском: збірник наукових праць*, 2017. Краматорськ: ДДМА. № 1(44). С. 89-95.

22. Гун Р. Я. Математичне моделювання процесів обробки металів тиском. *Металургія*, 1983. 382 с.

23. Собачкин В. О. Моделювання тертя при волочінні труби на самоустановлювальні оправці / С. С. Собачкин, В. М. Душкін. *Чорна металургія*, 2006. №2. С. 17-19.

24. Палтиевич, АР. Отримання виробів із заданим комплексом механічних свійств в процессах обробки металів тиском з застосуванням методів математичного моделювання / АР. Палтиевич // *Технологія машинобудування*, 2008. №8. С. 60-63.

25. Ісаченко В. П., Осипова Ст. А., Сукомел А. С. *Тепловіддача. Енергія*, 1981. С. 416.

26. Адамеску Р. А., Гельд П. В., Митюшов Е. А. Анізотропія фізичних властивостей металів. *Металургія*, 1985. С. 235.

27. Скачков В.А. Деформационная анизотропия и разрушение при сложном нагружении композиционных материалов триботехнического типа. *Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов*, 2013. Краматорск: ДГМА.№ 1(34). С.165-169.

28. Патент № 113368 Україна, МПК (2006.01) B22D 11/06, B22D 11/10 Пристрій для валкової розливкі- прокатки профільованих штаб / Гридін О. Ю. (UA), Огінський Й.До. (UA), Бондаренко С. В. (UA), Шапер М. (DE); заявник та патентовласник Національна Металургійна Академія України. – № 201600100; Заявл. 04.01.16. Опубл. 10.01.17, Бюл. №1. 5с.

29. Троїцький Ст. А., Железнов Ст. А. Металургія алюмінію. Металургія, 1984. 400 с.

30. Романцев Б. А., Шаманаев в. І., Высокосов А. Р. Дослідження технології одержання гарячекатаних труб малого діаметра . *Сталь*,1991. № 11. С. 53-55.

31. Авторське свідоцтво № 537726. Данилов Ф. А., Фотов А. А., Дуев В. Н., Паршин В. С., Моїсеєв Р. П. Відкриття. Винаходи. Промислові зразки. Товарні знаки, 1976. 24 с.

32. Смирнов В.Г., Аляев Р. А., Гун Р. Я. Осесиметрична задача теорії пластичної течії при обтисненні, роздачі і волочінні труб. Известия Вузів, 1961. С. 89-98.

33. Паршин В. С., Фотов А. А., Альошин Ст. А. Холодне волочіння труб. *Металургія*, 1979. 239 с.

34. Гордєєв В. П., Ковалевський М.Р. Авторське свідоцтво № 486831. Відкриття. Винаходи. Промислові зразки. Товарні знаки, 1975, № 37. 30 с.

35. Біск М. Б., Швейкин С. С. Волочіння труб на самоустановлювальні оправці. Металлургіздат. 1963. 120 с.

36. Біск М. Б. Гріхів Ї.А., Славін В. Б. Холодна деформація сталевих труб. Частина І. Металлургіздат. 1976. 230 с.

37. Колмогоров Р. Л. , Бояркін в. І., Мишунин В. М. Волочіння капілярних труб в режимі гідродинамічного тертя. *Цветные метали,* 1974. № 9. С. 51 – 53.

38. Степаненко А. В., Запорожченко В. С. Розрахунку напруження волочіння труб на рухомій оправці з ультразвуком. Повідомлення 2. *Известия Вузів,* 1979. № 2. С. 84-88.

39. Шевакин Ю. Ф., Чернявський А. А., Ламін А. Б. Інженерний метод розрахунку зміни товщини стінки при безоправочном волочінні труб. *Известия Вузів*, 1964. № 5. С. 104-108.

40. Алиева С.Г., Альтман М.Б., Амбарцумян С.М. и др. Промышленные алюминиевые сплавы: Справочник.Металлургия. 1984. 527 с.

41. Елагин В.И. Легирование деформированных алюми-ниевых сплавов переходными металлами. Металлургия. 1975. 435 с.

42. Рябов Д.К., Колобнев Н.И., Самохвалов С.В., Вахро-мов О.В. Изменение механических и коррозионных свойств сплава 1913 при

искусственном старении // *Вопросы материаловедения*, 2013. №4 (76). С. 24–29.

43. Рябов Д.К., Колобнев Н.И., Махсидов В.В., Фомина М.А. О стабильности пересыщенного твердого раствора листов сплава 1913 при закалке. *Металлургия машиностроения*, 2012. №3. С. 30–33.

44. Рябов Д.К., Колобнев Н.И., Самохвалов С.В., Махсидов В.В. Влияние предварительного естественно-го старения на свойства сплава 1913 в искусственно состаренном состоянии. *Авиационные материалы и технологии*, 2013. №2. С. 8–11.