

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

кафедра менеджменту

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

дружби (Могістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему «Аналіз міжовчих процесів при розширенні  
можливостей

Виконав: студент II курсу, групи ф.1369-МЗМ  
спеціальності 136 менеджменту

(код і назва спеціальності)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми МЗМ

(назва освітньої програми)

Григорів М.О.

(ініціали та прізвище)

Керівник ф.т.н. проф. Сютков В.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доцент, к.т.н. доц. Валер. Р.М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут \_\_\_\_\_

Кафедра металургія

Рівень вищої освіти другий магістрський

Спеціальність 136 - металургія  
(код та назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)

Освітня програма металургія горних металів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри [підпис]

« 2 » вересня 2020 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Григорієву Максиму Олеговичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) "Аналіз металургічних процесів при розробці мартеніту"

керівник роботи д.т.н. проф. Сидоров В.О.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «25» 05 2020 року № 596-С

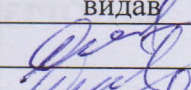
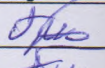
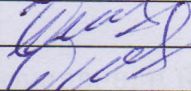
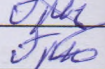
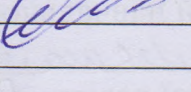
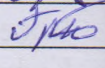
2 Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3 Вихідні дані до роботи двухвалова МБЛЗ, деформована в мартеніту металургічні процеси

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) технологічний розрахунок розробки мартеніту. Ефективність процесу розробки

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Розрахунок температури розробки. Другий етап виробництва крокшми. Технологічний схематичний виробничий процес мартеніту. Схема безперервного мартеніту на розробку МБЛЗ. Різні види пилки у безперервному мартеніту сферах.

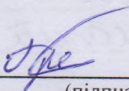
## 6 Консультанти розділів роботи

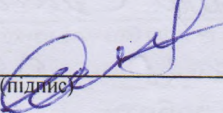
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	проф. Сногшов В.О.		
2	проф. Сногшов В.О.		
3	проф. Сногшов В.О.		

7 Дата видачі завдання 02 вересня 2020 р

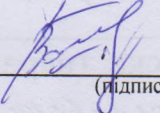
## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна розписка	20.09.2020	
2	Технологічні розробки розробки машинопису	15.10.2020	
3	Ефективність машинопису розробки	01.11.2020	
4	Оформлення графічного матеріалу	30.11.2020	

Студент  М.О. Трушов  
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  В.О. Сногшов  
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  Д.М. Волер та \_\_\_\_\_ прізвище  
(підпис) (ініціали)

## РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 79 сторінок, 29 рисунків, 4 таблиці, 25 джерел літератури.

БЕЗПЕРЕРВНЕ РОЗЛИВАННЯ МЕТАЛУ, ДВОХВАЛКОВА МБЛЗ, МЕТАЛ, ПРОКАТКА, РОЗЛИВКА, ТОНКИЙ ЛИСТ, ШВИДКІСТЬ ПРОКАТКИ.

Тема магістерської роботи: Аналіз теплових процесів при розливанні тонкого листа.

У Загальній частині розглянуто різновиди тонколистової сталі та особливості розливки тонколистової сталі на двохвалковому МБЛЗ.

У другому розділі визначена температура металу при розливанні на МБЛЗ та розраховано швидкість розливки.

У третьому розділі надана оцінка технологічних параметрів розливання тонкого сталевого листа на двохвалковій МБЛЗ, розглянуті основні дефекти при розливанні, а також особливості практичного застосування тонколистової розливки.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Різновиди та використання тонколистової сталі.....	9
1.2 Різновиди розливки.....	21
1.3 Особливості розливу тонколистової сталі на двохвалковому МБЛЗ.....	28
1.4 Особливості одновалкової розливки тонкого листа.....	31
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ РОЗЛИВАННЯ ТОНКОГО ЛИСТА.....	35
2.1 Визначення температури металу при розливанні на МБЛЗ.....	35
2.2 Розрахунок швидкості розливання.....	37
3 ЕФЕКТИВНІСТЬ ТОНКОЛИСТОВОЇ РОЗЛИВКИ.....	39
3.1 Оцінка технологічних параметрів розливання тонкого сталевого листа на двохвалковій МБЛЗ.....	39
3.2 Система управління безперервного розливання тонколистової сталі на двохвалковому МБЛЗ.....	49
3.3 Дефекти при розливанні.....	56
3.4 Особливості практичного застосування тонколистової розливки.....	69
3.5 Технологія розливки та оцінка якості тонкого листа.....	70
ВИСНОВКИ.....	76
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	77

## ВСТУП

У всіх промислово-розвинених країнах металургія є однією з найважливіших галузей народного господарства, від рівня її розвитку залежить прогрес в розвитку промисловості і сільського господарства. Більш за 90% конструкційних матеріалів для промисловості і житлобудівництва, виготовлення устаткування, судів, інструменту, транспортних конструкцій, енергетичних систем та ін. виготовляються металургійними підприємствами.

За останні 50 років світове виробництво сталі збільшилося з 200 до більше 900 млн. т. Найбільш суттєві зміни сталися в якісному вдосконаленні металопродукції. За рахунок підвищення хімічних, фізичних, механічних властивостей сталі вдалося понизити металоємність готових виробів у 2,5 рази. Таке стало можливим завдяки впровадженню в чорну металургію прогресивних ресурсозберігаючих технологій, таких як безперервне розливання, позапічна обробка, заміна мартенівських печей конвертерами і електропечами нової конструкції.

*Мета роботи:* надати аналіз і оцінити технологічні параметри тонколистового розливання сталі, класифікувати дефекти сталі при тонколистовому розливанні.

*Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:*

1. Провести всебічний аналіз тонколистової сталі.
2. Надати оцінку особливостям одно- та двовалковому розливанні сталі.
3. Провести розрахунки швидкості розливання сталі.
4. Надати оцінку якості тонколистові розливній сталі.

*Об'єкт дослідження:* фізико – механічні закономірності в процесі тонколистового розливання сталі.

*Предмет дослідження:* технологія та якість сталі в умовах двовалкового розливання.

*Методи дослідження:* розрахунки технологічних параметрів тонколистового розливання, оцінка впливу технологічних параметрів на формування дефектів та їх вплив на властивості сталі.

*Наукова новизна:*

1. Запропоновано варіант методики розрахунку технологічних параметрів сталі.
2. Проведена чисельна оцінка швидкості розливання сталі в умовах тонкого листа.
3. Досліджено умови керування тонколистовим розливанням на двовалковій МБЛЗ.

*Практичне значення:*

1. Запропоновано варіант тонколистового розливання сталі на двовалковій МБЛЗ.
2. Встановлено умови практичного використання тонколистового розливання.
3. Запропоновано механізми оцінки якості тонкого листа.

*Апробація результатів роботи:* результати досліджень, які включено до кваліфікаційної магістерської роботи, доповіли на конференції кафедри металургії.

*Відомості про публікації:*

Гриньков М.О. Аналіз теплових процесів при розливанні тонкого листа / М.О. Гриньков, О.Р. Бережна, В.О. Скачков / Матеріали XXV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. ІННІ ЗНУ. – Запоріжжя:ЗНУ. – 2020 р. С.35.

*Структура і об'єм роботи.* Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 25 найменувань, викладена на 79 сторінках машинописного тексту, включаючи 29 рисунків, 4 таблиці.



## 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Різновиди та використання тонколистової сталі

Тонколистову сталь (завтовшки не більше 3,9 мм) зазвичай прокатують на безперервних широкосмугових станах при заданих параметрах (температури початку, кінця плющення і змотування, швидкості охолодження смуг після плющення і т. д. ). Змотані в рулони смуги передають в цех холодного прокату, де їх заздалегідь піддають травленню (в розчинах HCl або H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, причому для кращого видалення окалини з поверхні металу його нерідко піддають дресируванню (тобто плющенню з обтисканнями не більше 3%) в спеціальній кліті, встановленій в лінії безперервного травильного агрегату (БТА).

Відомий спосіб виробництва високоміцних гарячекатаних сталевих листів, при якому сталь, що містить 0,02-0,15% вуглецю і 1-2% марганцю, прокатують і змотують при температурі нижче 250°C. Відомий також спосіб виробництва гарячекатаної листової сталі з високою адгезійною міцністю, що містить 0,03-0,30% C, 1,0-2,5% Si і 0,6-3,0 Mn, що відрізняється тим, що метал охолоджують перед змотуванням зі швидкістю 50°C/с, змотують при температурі 500-650°C, а потім піддають травлінню в HCl при 65-95°C.

Недоліком відомих способів є неможливість отримання гарячекатаної листової сталі з низькими міцносними характеристиками і високою штампуемістю, тобто близькій за властивостями низьковуглецевій холоднокатаній сталі категорій витягів "Г" і "Н" (по ГОСТу 16523).

Відоме виробництво тонколистової гарячекатаної сталі, описаної в книзі під ред. П.І. Напівхіна. Ця технологія включає гаряче плющення смуг, їх охолодження і подальше травлення і характеризується тим, що перед поданням смуг в травильні ванни метал пропускають через дрессировочну кліть, встановлену в лінії НТА, де піддають дресируванню, що сприяє швидшому видаленню окалини з поверхні металу[4].

Недоліком такої технології також є неможливість отримання гарячекатаної сталі з низькими міцнісними характеристиками і високою штампуемістю..

Найбільш близьким аналогом до заявленого винаходу є спосіб виробництва тонколистової гарячекатаної сталі, що включає гаряче прокату смуг, охолодження до температури змотування, травлення.

Технічним завданням винаходу є розширення технологічних можливостей способу гарячого прокату тонких сталевих смуг і зниження трудовитрат при виробництві листової сталі з поліпшеною штампуемістю..

Для вирішення вказаного завдання в способі, що включає гарячий прокат смуг, охолодження до температури змотування, травлення при змісті в сталі 0,01-0,10% вуглецю, температуру кінця плющення приймають рівною 780-800°C, охолодження ведуть із швидкістю 9-13 град/с, травлення ведуть при температурі 60-80°C, а дресирування проводять з відносним обтисканням 0,5-1,0%.

Суть технічного рішення полягає в поєднанні певних параметрів гарячого прокату (температури її кінця і швидкості охолодження смуг) з деякими параметрами процесу травлення гарячекатаного металу (температурою завдання його на БГА і величиною відносного обтискання при дресируванні). Це забезпечує отримання тонколистової сталі з необхідними механічними властивостями, необхідними для високої її штампуемості.

Така властивість характерна для низьколегованої сталі, що має межу плинності  $\sigma_T = 160...180$  МПа, тимчасовий опір розриву  $\sigma_B = 290...310$  (при величині  $\sigma_T/\sigma_B = 0,55...0,58$ ), відносне подовження  $\delta_4 = 38...40\%$  і твердістю  $HR_B = 30...35$ . Зазвичай такі механічні характеристики властиві холоднокатаній сталі, для отримання якої потрібно додатковий (після травлення гарячекатаного металу) цикл операцій: холодний прокат, відпал рекристалізації і дресирування, що значно здорожує прокат.

Як показали металографічні дослідження, проведені в Центральній лабораторії контролю після дослідного прокату і травлення з вищезгаданими параметрами, їх поєднання дає для ст. 08кп, пс товщиною 1,8...3,9 мм гарантію переважної появи "оладеообразной" мікроструктури зерен з орієнтацією, найбільш сприятливою для сталі, глибокому штампуванню, що піддається надалі.

З цією метою при гарячому прокаті на стані смугової сталі завтовшки 1,8...3,9 мм з вмістом вуглецю в межах 0,01...0,10% варіювали температуру кінця прокату ( $t_k$ ), швидкість охолодження смуг ( $V_o$ ) перед змотуванням, а на БТА - температуру завдання рулонних смуг на травлення ( $t_t$ ) і величину відносного їх обтискання  $\epsilon$  при проходженні через дресировочну кліть. Результати дослідів оцінювали за механічними властивостями  $\sigma_T$ ,  $\sigma_B$ ,  $\delta_4$  і  $HR_B$ ) зразків, відібраних від смуг після травлення.

Найкращі результати отримані для сталі, обробленої за вищезгаданими параметрами прокату і травлення: до 98% зразків мали  $\sigma_T = 160...180$  МПа,  $\sigma_B = 290...310$  МПа,  $\delta_4 = 38...40\%$  і  $HR_B = 30...35$ . Випробування зразків на витяг показали, що близько 99% їх відповідає категорії "Г" (по Госту 16523), а інші - категорії "Н". Відхилення від оптимальних параметрів процесу у будь-яку сторону викликали погіршення штампуємости стали.

Наприклад, при  $t_k < 780^\circ\text{C}$  погіршувалися пластичні властивості металу із-за збільшення балу зерна (до 10-11), а при  $t_k >$  виходило занадто велике зерно (5-й бал), що погіршувало штампуємость листів (поява ліній зрушення). Зниження швидкості охолодження смуг  $V_o < 9$  град/с було аналогічно збільшенню  $t_k$ , а при  $V_o > 13$  град/с спостерігалася "подрібнення" зерен, що підвищувало величину  $\sigma_T$  з негативними наслідками.

При  $t_t < 60^\circ\text{C}$  сповільнювався процес травлення, що погіршувало поверхню смуг і негативно позначалося на подальше холодний прокат. При  $t_t > 80^\circ\text{C}$  спостерігалася "воднева крихкість" (поява тріщин на металі) із-за збільшення насичення стали воднем і підвищення твердості. Зниження  $\epsilon$  (до 0,2... 0,4%) призводило до появи ліній зрушення при штампуванні, а при  $\epsilon >$

1,0% - погіршувалася пластичність через зростання  $\sigma_T/\sigma_B$  і зменшення  $\delta_4$ . Було відмічено, що величина  $\epsilon$  при дресировуванні має бути обернено пропорційною до вмісту вуглецю в сталі, тобто чим вище цей вміст, тим менше  $\epsilon$  і навпаки.

Досліди з параметрами процесу, відмінними від оптимальних (і заявлюваних), побічно підтвердили непридатність відомої технології, вибраної в якості найближчого аналога, для отримання гарячекатаної тонколистової сталі з властивостями, що наближаються до властивостей холоднокатаної сталі.

Таким чином, досвідчена перевірка підтвердила прийнятність пропонованого способу для вирішення поставленого завдання і його переваги перед відомим об'єктом.

Приклад конкретного виконання Низьковуглецева сталь марки 08 ПС товщиною 2,5 мм з вмістом вуглецю 0,05% виходить після гарячого прокату з температурою її кінця  $790^\circ\text{C}$  і охолодженні смуг перед змотуванням із швидкістю 11 град до  $700^\circ\text{C}$ . Рулонні смуги задають на БТА при  $70^\circ\text{C}$  і перед проходженням через травильні ванни піддають обтисканню в дресировочной кліті агрегату с  $\epsilon = 0,75\%$ .

Після травлення гарячекатана сталь має  $\sigma_T = 170$  Мпа,  $\sigma_B = 300$  МПа,  $\sigma_T/\sigma_B = 0,565$ ,  $\delta_4 = 39\%$  и твердість  $HR_B = 32$  ед.

Спосіб виробництва тонколистової гарячекатаної сталі, що включає гарячий прокат смуг, охолодження до температури змотування, змотування, травлення з дресировуванням, відрізняється тим, що при змісті в сталі вуглецю в межах 0,01 - 0,1% температуру кінця прокату приймають рівною  $780 - 800^\circ\text{C}$ , охолодження до температури змотування ведуть із швидкістю 9 - 13 град/с, травлення ведуть при  $60 - 80^\circ\text{C}$ , а дресировування проводять з відносним обтисканням 0,5 - 1,0% [5].

Холодний прокат в порівнянні з гарячим має дві великі переваги: по-перше, він дозволяє робити листи і смуги завтовшки менше 0,8-1 мм, аж до декількох мікрон, що гарячим плющенням недосяжно; по-друге, вона забезпечує отримання продукції більш високої якості за усіма показниками -

точністю розмірів, обробкою поверхні, фізико-механичними властивостями. Ці переваги холодного плющення зумовили її широке використання як в чорній, так і в кольоровій металургії.

В той же час необхідно відмітити, що процеси холодного прокату є енергоємнішими, ніж процеси гарячого. При холодній деформації метал зміцнюється (наклепує), у зв'язку з цим для відновлення пластичних властивостей доводиться проводити відпал. Технологія виробництва холоднокатаних листів включає велике число переділів, вимагає застосування складного і різноманітного устаткування.

Нині доля холоднокатаних листів в загальній масі тонколистового прокату складає близько 50 %. Виробництво холоднокатаних листів, смуг і стрічок продовжує інтенсивно розвиватися. Основну масу (приблизно 80%) холоднокатаних листів складає низьковуглецева конструкційна сталь завтовшки 0,5-2,5 мм, шириною до 2300 мм. Таку тонколистову сталь широко використовують в автомобілебудуванні, тому часто її називають автолистом. Методом холодного прокату роблять майже усю жерсть - продукцію, що йде у великих кількостях для виготовлення харчової тари, зокрема консервних банок.

Матеріалом для жерсті також служить низьковуглецева сталь, але у більшості випадків жерсть випускають із захисним покриттям, найчастіше - олов'яним. Жерсть прокатують у вигляді смуг завтовшки 0,07-0,5 мм, шириною до 1300 мм поширених видів холоднокатаної продукції також належать: декапир (травлена і відпалююча сталь, вживана при виробництві емальованого посуду і інших виробів з покриттями), покрівельний лист (часто випускається оцинкованим), низьколеговані конструкційні сталі. Особливо слід зазначити дві важливі групи легованих сталей - корозійностійку (нержавіючу) і електротехнічну (динамну і трансформаторну).

Початковим матеріалом для виробництва холоднокатаних смуг і листів служать гарячекатані смуги завтовшки 1,8-6,0 мм, що поступають в цех холодного плющення в рулонах [6].

Кінцевою продукцією цехів холодного прокату даного типу є листи і смуги завтовшки 0,3-3,0 мм, шириною до 2350 мм, з вуглецевої сталі звичайної і підвищеної якості, а також з низьколегованих сталей. Значна частина листів і смуг випускається із захисними антикорозійними покриттями - цинковим, алюмінієвим, полімерними і ін.

Поверхня початкових гарячекатаних смуг покрита окалиною (оксидами). Якщо проводити холодний прокат заготівель в такому стані, то окалина вдавлюватиметься в метал, різко погіршуючи якість його поверхні. Крім того, окалина, маючи відносно високу твердість, сприяє зносу прокатних валків. Тому першою необхідною технологічною операцією є видалення окалини з поверхні гарячекатаних смуг.

Існує ряд способів видалення окалини, проте широке, практичне застосування отримали два: хімічний і механічний. Хімічний спосіб полягає в розчиненні оксидів в кислотах; механічний - в здійсненні пластичної деформації, сприяючої отлущенню окалини з поверхні смуги, або дробеметной (дробеструйной) обробці. Нині обидва ці способи чисто застосовуються спільно, причому хімічний, такий, що називається травленням є основним, а механічний - попереднім.

Перед вступом смуги в травильні ванни робиться додаткове механічне руйнування окалини. Для цього застосовується дрессировочная кліть або машина пластичного розтягування.

Травлення ведеться у водному розчині сірчаної або соляної кислоти.

Використання соляної кислоти як травильного середовища має ряд істотних переваг. Передусім, соляна кислота є активнішою, ніж сірчана, особливо по відношенню до оксидів, що дозволяє скоротити час травлення. Якість поверхні смуг після обробки в соляній кислоті краще, ніж після робітки в сірчаній. Скорочується виділення водню, у зв'язку з чим

зменшується небезпека виникнення водневої крихкості. Соляна кислота легше і повніше віддаляється з поверхні смуг в промивних ваннах.

Протравлені і промаслені смуги в рулонах поступають на стан холодного прокату. Найчастіше це чотирьох- або п'ятиклітьовий безперервний стан.

Рулони ланцюговим транспортером подаються в розмотувач стану. Передній кінець смуги відгинається спеціальним пристроєм і задається в ролики, що тягнуть, які підводять смугу до валянь першої кліті.

Пройшовши через усі кліті (із заданим обтисканням), передній кінець смуги потрапляє на барабан моталки. За допомогою зашмагувача, починається намотування смуги на барабан. Усі вказані початкові операції виконуються на малій, заправній швидкості (0,5-2,0 м/с). Після намотування на барабан 3-4 витків смуги стан перекладається на робочу швидкість (25-30 м/с). Коли плющення рулону завершується і в розмотувачі залишається 2-3 витки смуги, швидкість стану знову знижується до заправної. Якщо рулони, що поступають на стан, складені (зварені) з декількох смуг, то плющення зварних швів також здійснюється на зниженій швидкості (близько 5 м/с).

Наступною основною технологічною операцією - після прокатки-являється відпал, який потрібний для усунення наклепання, отриманого при холодній деформації, і відновлення пластичних властивостей металу. Температура нагріву металу (низьковуглецевій сталі) 650-720 °С. З точки зору структурних перетворень цей відпал є рекристалізацією.

Відпал здійснюється в колпакових печах в рулонах (іноді в пачках) або у безперервних агрегатах з протяжними печами.

Після відпалу тонколистова сталь піддається дресируванню. Цим терміном позначається процес обробного холодного прокату з дуже невеликим обтисканням, зазвичай в межах 0,8-1,5%. Дресирування смуг завтовшки більше 0,3 мм ведеться в один пропуск.

В процесі дресирування тонкі приконтатні шари металу обтискаються у валках і згодом при штампуванні лінії зрушення на поверхні не

проступають. Окрім сказаного, дресирування дає і інші позитивні ефекти; зменшується хвилястість і коробоватість смуг, дещо покращуються механічні властивості металу (межа плинності трохи знижується, міцність збільшується), формується необхідний мікрорельєф поверхні продукції.

Іноді дресирування є останньою технологічною операцією в цеху холодного прокату. Після дресирування частина рулонів може відвантажуватися споживачам в неподіленому виді, але велика частина їх поступає на обробні агрегати для поперечного і подовжнього різання на листи і вузькі смуги по замовленнях.

Важливо відмітити, що нині значна і зростаюча кількість тонколистової холоднокатаної сталі випускається із захисними антикорозійними покриттями, в першу чергу - цинковим і полімерними. Нанесення цинкового покриття здійснюється методом занурення в розплав цинку (гаряче цинкування) або електролітичним методом. При гарячому цинкуванні товщина покриття досягає 50 мкм, при електролітичному - до 10 мкм. Найбільше застосування отримав спосіб гарячого цинкування.

Дефекти холоднокатаних листів і смуг дуже численні. Деякі з них специфічні, тобто відносяться тільки до якого-небудь конкретного виду продукції. Недотримання точності розмірів і форми листів і смуг.

Оскільки холоднокатані листи в основній масі значно тонші, ніж гарячекатані, на перший план виходять такі дефекти, як поперечна і подовжня разнотолщинність, хвилястість, коробоватість.

Причиною утворення разнотолщинности прокату є непостійність умов деформації:

- зміна температури заготівлі;
- зміна діаметру валків внаслідок їх нагріву;
- ексцентриситет і неоднорідність структури робочих валків;
- прокат кінця смуги без натягнення.

Для отримання продукції з мінімальною разнотолщинністю передусім мають бути використані усі заходи, спрямовані на стабілізацію умов прокату.



Велике значення має виконання наступних вимог : мінімальна початкова разнотолщинність заготівлі (підкату), мінімальний температурний перепад по довжині смуги при гарячому прокаті, постійність коефіцієнта тертя і натягнень та ін. При виготовленні і підготовці валків до прокату необхідно домагатися мінімального їх биття при обертанні в підшипниках робочої кліті.

Попередження їх досягається оптимальною профілізацією валків, застосуванням противигину, введенням автоматичного управління процесом прокату. Порушення суцільності металу.

Головною причиною виникнення дефектів такого роду (діри, тріщини, рвана кромка, плени, розшарування та ін.) є погана якість металу початкової гарячекатаної заготівлі.

При травленні гарячекатаних смуг можливі недотрав і перетрав. У першому випадку на поверхні смуги залишаються темні смуги або плями непідбуреної окалини; у другому - поверхня металу виходить грубо шорсткою, роз'їденою кислотним розчином. Поширеним видом ушкодження холоднокатаних листів і смуг є вкатання металева крихта. Дефект виникає в результаті попадання шматочків металу на поверхню прокатуваної смуги.

Відхилення по структурі і фізико-механічним властивостям металу залежать головним чином від виконання наказаних режимів термічної обробки. В той же час слід мати на увазі великий вплив режимів деформації, які мають бути вибрані з урахуванням кінцевих властивостей металу[7].

Холоднокатаний листовий прокат належить до категорії високоякісної металопродукції. Використання його в різних галузях промисловості надзвичайно ефективно. Це є стимулом інтенсивного науково-технічного прогресу в області виробництва холоднокатаних листів. Йде безперервне вдосконалення існуючих технологій, пропонуються принципово нові технічні рішення.

У цехах з великим обсягом виробництва споруджуються нові безперервні стани, в основному 5-клітьові для прокату смуг завтовшки не менше 0,3- 0,4 мм і 6-клітьові для плющення тонших смуг.

У зв'язку з постійним посиленням вимог по мінімальній поперечній разнотолщинності листів, а також їх повною планшетністю, тривають роботи по вдосконаленню профілізацій валків.

Тенденція до поступового зменшення товщини прокатуваних листів викликає необхідність застосування ефективніших технологічних мастил (емульсій). Проте введення додаткових кількостей жирових компонентів в мастило призводить до підвищеної зажиренности металу після плющення, що небажано. Для усунення вказаного протиріччя сучасні мастильні системи на безперервних станах повинні передбачати можливість роздільного подання мастила по клітках, дозволяючи варіювати склад і концентрацію мастила. В цьому випадку на валки останнього, чистовій кліті подається низько концентрована емульсія або навіть миючий розчин.

Сучасні мастильні системи також повинні забезпечувати достатнє охолодження і ретельне очищення емульсії від металевих часток і інших забруднень.

Ультразвукові виміри товщини з використанням контактного датчика - це один з простих способів вимірів, який може бути використаний для реалізації більшості прикладних завдань.

Вибір відповідного датчика ґрунтується на необхідному діапазоні і дозволі вимірів, акустичних властивостях матеріалу і геометрії деталі. При виборі датчика слід поекспериментувати з тестовими зразками, що представляють потрібний діапазон товщини. В цілому, для отримання прийнятних результатів рекомендується використати датчик з більшою частотою і меншим діаметром. Датчик з невеликим діаметром легше кріпиться до матеріалу і вимагає меншого шару контактної рідини. Більше того, висока частота датчика призводить до скорочення часу встановлення ехосигналу і, теоретично, до збільшення міри точності вимірів. З іншого боку, із-за акустичних властивостей матеріалу і особливостей його поверхні може знадобитися більший низькочастотний датчик для подолання поганого зчеплення з матеріалом і випадків втрати сигналу, що виникають із-за

розсіювання або слабшання сигналу. Іноді досягнення кращого дозволу здійснюється за рахунок зниження проникаючої здатності[8]. Таким чином, для покриття діапазону товщини, що вимагається, можуть використовуватися два або більше за датчик.

Конструкційне оформлення МБЛЗ постійно розвивається і удосконалюється впродовж усього періоду їх застосування в промисловості. Основні конструктивні і технологічні рішення зазвичай спрямовані на підвищення продуктивності МБЛЗ, її компактності, забезпечення високої якості заготівлі, зниження трудомісткості процесу, зменшення енерговитрат і підвищення забезпеченості автоматичними системами управління. Найбільш важливими питаннями при цьому є раціональна конфігурація, розташування і протяжність головної технологічної осі, профіль поперечного перерізу заготівлі, поєднання дискретного характеру подання стали від плавильного агрегату з безперервною роботою МБЛЗ.

Листовий прокат є найбільш економічним видом металопрокату. Доля листового прокату в загальному обсязі виробництва прокатної продукції постійно збільшується і в таких країнах, як США, Японія, Німеччина, Франція досягла 60-70%.

Найважливішою складовою листового прокату є тонкі листи. Традиційно листи і штаби завтовшки 2мм і більше прокатують в гарячому стані, а менше 2мм - в холодному. Проте останнім часом отримала розвиток тенденція виробництва особливо тонких гарячекатаних штаб завтовшки 0,6 - 1,2 мм. Вже в 1969-1972 г.г. широко практикувалося плющення смуг 0,8-1 мм на широкоштабових станах Японії. В цей же час на широкоштабових станах гарячого плющення СРСР штаби завтовшки менше 2 мм в масовому порядку не прокатували навіть на нових станах 2000, де була технічна можливість. Обумовлено це тим, що в 70-х роках вартість сировини, енергоносіїв і праці в СРСР була дуже мала, а потреба металу дуже висока.

Зараз в Японії, США, Мексики, Іспанії освоєно гаряче плющення штаб завтовшки 0,8-1,0 мм, що практично не поступаються по точності і механічним властивостям холоднокатаного металу.

Аналіз виробництва холоднокатаного листа за кордоном показав, що близько 60% холоднокатаних штаб має товщину 0,6-1,2 мм Завдяки розвитку технології і устаткування широкоштабових станів, усе більш збільшується доля гарячекатаних штаб цього сортаменту для використання замість холоднокатаних. Прогнозовані обсяги виробництва особливо тонких штаб щорічно збільшуються на 8,3% в США, 6,7% в ЄС і 6,6% в Японії.

Заміна холоднокатаних листів на гарячекатані, собівартість яких нижча, як мінімум, на 20 доларів США на тонні прокату, а також тенденція зростання цін на холоднокатаний лист обумовлюють доцільність освоєння виробництво особливо тонкого гарячекатаного листа в Україні. Крім того, внутрішній ринок металопродукції України зараз малоемок, а перспективи збереження існуючих об'ємів експорту такі малі, що дешевше гарячекатані смуги і листи напевно знайдуть збут у вітчизняному машинобудуванні і будівництві.

Зарубіжний досвід показує, що виробництво особливо тонких гарячекатаних штаб можна здійснити на традиційних широкоштабових станах, на ливарному - прокатних агрегатах (ЛПА) і на станах з пічними моталки (Стеккеля). При цьому застосовується підігрівання, проміжне змотування підкату в рулон на ППУ або технологія "нескінченного" прокату.

Цей винахід відноситься до обробки металів тиском, зокрема до виробництва тонколистової гарячекатаної сталі. Основне завдання, що вирішується винаходом, - розширення технологічних можливостей станів гарячого прокату тонких сталевих смуг (не більше 3,9 мм) і зниження трудовитрат при виробництві листової сталі з поліпшеною штампуемостью. Спосіб включає гарячий прокат смуг, їх охолодження і травлення з дресируванням і відрізняється тим, що при змісті в сталі вуглецю в межах 0,01...0,10 % температуру кінця плющення приймають рівною 780...800°C,

охолодження ведуть із швидкістю 9...13 град/с, а смуги задають на те, що труїть при 60...80°C, приймаючи величину відносного обтискання при дресируванні в межах 0,5...1,0 %.

Винахід відноситься до прокатного виробництва і може бути використане при виготовленні гарячекатаної сталі.

## 1.2 Різновиди розливки

Спочатку (50-і і 60-і роки минулого століття) МБЛЗ мали вертикальну архітектуру (вертикальна МБЛЗ) (рис. 1.1.а, б), включаючи ділянку різання заготівлі на мірні довжини..

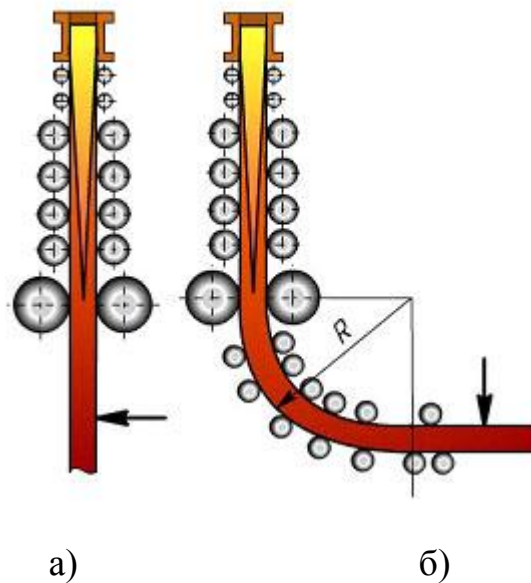


Рисунок 1.1 – Схема вертикальної (а) і вертикальної с загибом (б) МБЛЗ

Переваги таких МБЛЗ полягають в тому, що усі процеси формування заготівлі відбуваються у вертикальній площині (так само як і у зливка). Це забезпечує отримання високої якості внутрішньої структури заготівлі і спрощує конструкцію машини в цілому.

Між тим вертикальні МБЛЗ мають досить серйозні обмеження за швидкістю розливання (а, отже, продуктивності), оскільки її підвищення припускає збільшення технологічної довжини машини і істотне дорожчання устаткування. Проте розвиток киснево-конвертерного процесу, що бурхливо відбувався саме в 60-і і 70-і роки минулого століття, зумовив істотне збільшення питомої продуктивності конвертерів як за рахунок зменшення циклу плавки, так і за рахунок підвищення її маси. Тому розвиток конструкції МБЛЗ в цей період характеризується прагненням підвищити їх продуктивність за рахунок збільшення швидкості розливання і кількості струмків. Це зумовило той факт, що пізніші конструкції вертикальних МБЛЗ передбачали загин заготівлі після її твердіння (рис. 1.1 б) і різання заготівлі при її розташуванні в горизонтальній площині. Загин заготівлі при цьому здійснювався як за одноточечною, так і по багатоточною схемами. Істотною перевагою таких машин є поліпшення умов видачі заготівлі на холодильник. Нині вертикальні МБЛЗ використовуються досить рідко і в основному для отримання високоякісного блюма і сляба [1].

У 70-і і 80-і роки минулого століття найбільше поширення при розливанні сталі отримали МБЛЗ радіального типу (рис. 1.2) Конструктивною особливістю таких машин є наявність кристалізатора певного радіусу (відповідає базовому радіусу МБЛЗ  $R_0$ ), що забезпечує отримання радіальної технологічної лінії.

Після затвердіння заготівлі здійснюється її розгин і видача готової заготівлі на холодильник в горизонтальній площині.

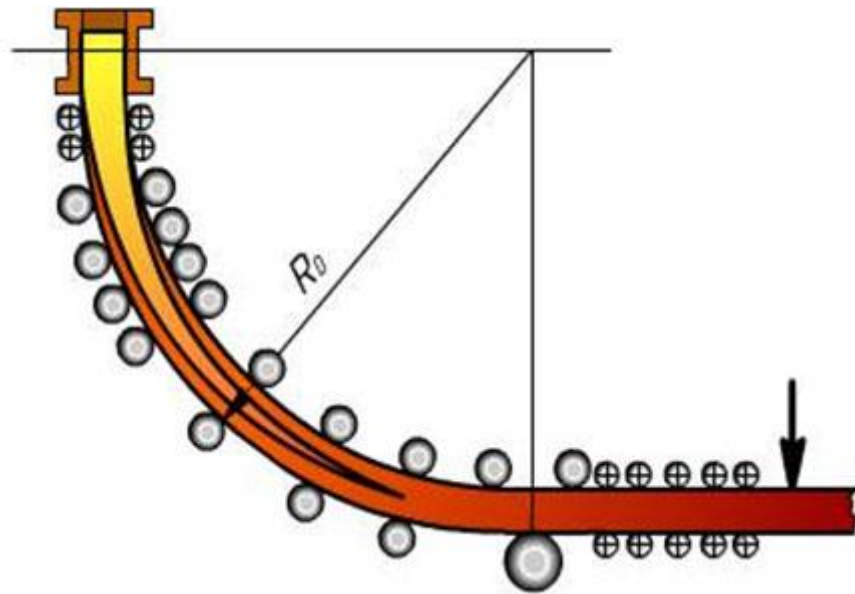


Рисунок 1.2 - Схема МБЛЗ радіального типу ( $R_0$  - базовий радіус)

Переваги радіальних МБЛЗ перед вертикальними полягають в тому, що металургійна довжина машини при тому ж ферростатическом тиску збільшується приблизно в 1,5 разу, внаслідок чого зменшується висота машини, зростає швидкість розливання і продуктивність агрегату. Крім того, видача заготівлі на холодильник здійснюється в горизонтальній площині. Недоліки таких МБЛЗ відносяться, головним чином, до якості заготівлі, яка, як правило, дещо нижче, ніж у заготівель, відлитої на вертикальній машині. Це пояснюється спливанням неметалічних включення в кристалізатор до стінки малого радіусу і можливою появою внутрішніх тріщин, що виникають при розгині заготівлі. Останній недолік значною мірою усувається шляхом застосування системи багатоточкового розгину. Нині радіальні МБЛЗ використовуються переважно для получения сортовой і блюмовой заготівлі.

Розвитком концепції високопродуктивних МБЛЗ слід вважати так звані криволінійні МБЛЗ з радіальним і вертикальним кристалізатором (рис. 1.3).

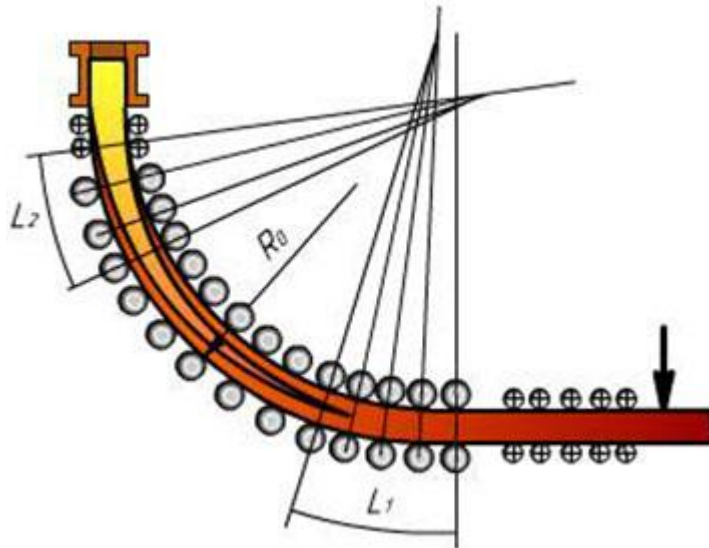


Рисунок 1.3 - Схема МБЛЗ криволінійного типу ( $L_1$   $L_2$  -участки розгину і загину заготівки;  $R_0$  - базовий радіус)

Криволінійні МБЛЗ з радіальним кристалізатором мають кристалізатор і частину зони вторинного охолодження з постійною кривизною (базовий радіус) і ділянку змінної кривизни, де відбувається плавне випрямлення заготівлі з рідкою серцевиною. Такі машини при такій же загальній висоті як вертикальні або радіальні можуть мати значно велику технологічну довжину (до 40 м) і, відповідно, більш високу продуктивність[2].

Криволінійні МБЛЗ з вертикальним кристалізатором мають невелику вертикальну ділянку (завдовжки 1,5-2,5 м), розташовану в зоні вторинного охолодження (ЗВО) безпосередньо під кристалізатором, а потім ділянку багатоточкового загину заготівлі, що переходить в радіальну ділянку з базовим радіусом, аналогічним як у радіальних машин. Випрямлення заготівлі здійснюється після її повного або часткового твердіння за багатоточковою схемою. Така схема дозволяє забезпечити найбільш сприятливі умови для формування заготівлі в початковий період твердіння, у тому числі для спливання неметалічних включень (рис.1.4).



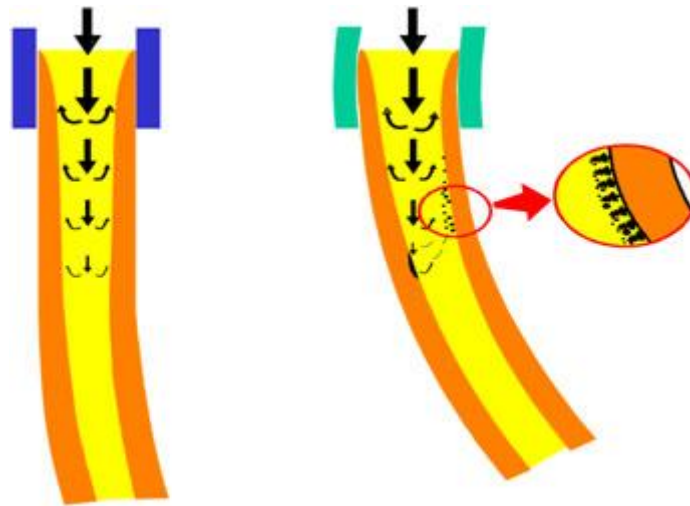


Рисунок 1.4 - Порівняння умов формування заготовки у вертикальному (а) і радіальному (б) кристалізаторі

Загин заготівлі, що твердіє, здійснюється, як правило, в 5-8 і більше точках, що запобігає можливості утворення тріщин і проривів металу в твердій кірочці. Подальші ділянки криволінійної МБЛЗ (рис. 1.3) в цілому аналогічні дизайну радіальних МБЛЗ.

Основні переваги криволінійних МБЛЗ знаходяться в площині підвищення якості заготівлі (в першу чергу, поверхневих і підповерхневих шарів) і збільшення компактності машини. Основні переваги криволінійних МБЛЗ знаходяться в площині підвищення якості заготівлі (в першу чергу, поверхневих і підповерхневих шарів) і збільшення компактності машини.

Найбільш важливими функціональними моментами при цьому є зона загину і розгину заготівлі, де жорстко регламентується величина деформації твердої кірочки. Найбільше застосування криволінійні машини отримали при розливанні слябової заготівлі.

У останнє десятиліття все більшого поширення набувають криволінійні МБЛЗ для відливання тонких слябів завтовшки близько 40-70 мм і менш. Відмітною особливістю таких машин є принципово нова конфігурація внутрішньої порожнини кристалізатора, що має так звану "сочевицеподібну" форму. Конструкція такого кристалізатора припускає збільшення товщини заготівлі в області підведення в нього металу.

Серед основних переваг тонкослябових МБЛЗ можна назвати можливість отримання слябів шириною понад 3000 мм, зменшення втрат енергії і металу в ході подальшого прокатного переділу, який поєднується з розливанням в єдиному агрегаті, що називається "ливарно-прокатний модуль" (ЛПМ).

На рубежі тисячоліть в сталеливарній практиці з'явилися перші промислові МБЛЗ для прямого отримання листа, в яких вдається виключити з технологічної схеми цикл гарячого плющення заготівлі. У агрегатах прямого відливання тонкого листа кристалізатор складається з двох валків, що розташованих безпосередньо під проковшом і обертаються в протилежних напрямках (рис.1. 5).

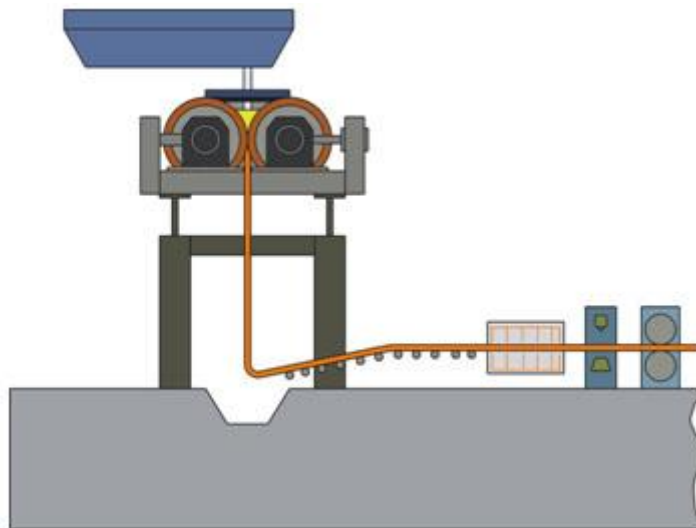


Рисунок 1.5 - Схема МБЛЗ для прямого відливання листа

Рідка сталь при розливанні поступає в простір між валяннями і при контакті з поверхнею валків кристалізується, утворюючи кірочки, які рухаються разом з поверхнею і виходять з валків у формі листа, товщина якого визначається відстанню між валяннями, а ширина - бічними стінками кристалізатора. Для відведення тепла, що виділяється, валяння, виготовлені, як правило, із сплаву міді з хромом, охолоджуються водою.

Технологічна схема отримання тонкого листа із застосуванням двохвалкових МБЛЗ має величезний потенціал в частині економії енергетичних ресурсів (у 8 - 10 разів), зниження втрат з окалиною (у 40 - 50 разів), підвищення продуктивності роботи персоналу (у 5 - 10 разів), зниження викидів парникового газу (у 10 - 20 разів) при істотному зниженні витрат на капітальне будівництво, що забезпечує економічну мотивацію в частині його подальшого розвитку і вдосконалення.

У металургійній практиці відомі також МБЛЗ, технологічна лінія яких розташована горизонтально. Горизонтальні МБЛЗ представляються дуже перспективними в частині зниження витрат на будівництво машини (рис. 1.6)

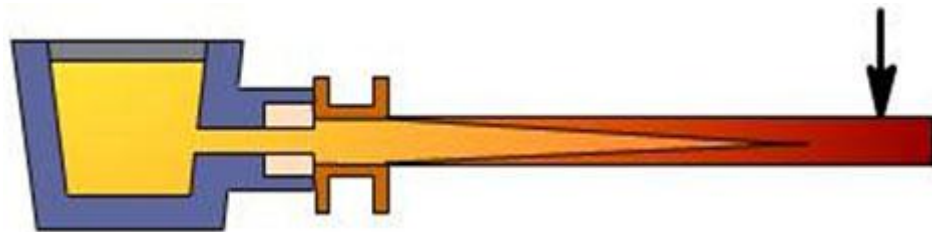


Рисунок 1.6 — Схема горизонтальної МБЛЗ

Вони компактні і їх зручно розміщувати в діючих цехах. При цьому немає необхідності збільшувати висоту будівлі або формувати глибокий колодязь. Обслуговування такої машини, ремонт і заміна основних вузлів дуже зручні і прості. Між тим, відсутність деформації заготовлі в процесі твердіння дає можливість лити горизонтальним способом крихкі і тріщиночутливі сталі і сплави, які не витримують деформації в процесі литва. Проте досить очевидним видається і той факт, що якість заготовлі при цьому буде значно нижча, внаслідок того, що неметалічні включення і бульбашки газу спливатимуть до верхньої грані. Така фізична неоднорідність істотно знижує кондиції продукції із заготовлі. Крім того, до теперішнього часу на практиці не вирішені повністю питання успішного поєднання роботи металоприймача

і кристалізатора (для умов розливання сталі). Тому в чорній металургії такі МБЛЗ практично не використовуються[3].

### 1.3 Особливості розливу тонколистової сталі на двошвалковій МБЛЗ

Ще в 1856 році сер Генрі Бессемер запатентував просту машину для отримання тонких сталевих смуг безпосередньо з рідкої сталі (рис. 1.7). Відтоді металурги у всьому світі прагнули реалізувати цей процес.

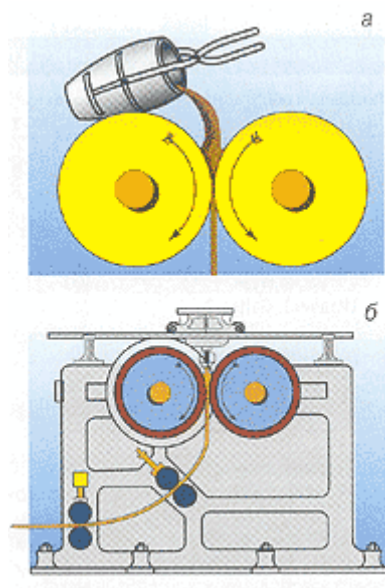


Рисунок 1.7 - Ескиз, зроблений Генрі Бессемером (а), і установка, запатентована їм в 1865 році (б)

Проте довести ідею литва смуги до промислового впровадження вдалося тільки завдяки сучасним розробкам - застосуванню комп'ютерних технологій, сучасної техніки вимірів, управління і регулювання, а також створенню необхідних охолоджуваних роликів, спеціальних видів кераміки, систем заливки і захисту металу. Тільки після цього почалися серйозні експерименти по реалізації ідеї безперервного розливання тонких сталевих смуг. Перевага способу литва заготівель, близьких по розмірах до готової продукції, полягає в можливості контролю твердіння обох поверхонь смуги.

Останні 15 років багато дослідницьких колективів розробляли ідею розливання смуги і створили лабораторні і досвідчені установки для литва сталі в двохвалковому кристалізаторі, реалізувавши їх з різними технічними і фінансовими витратами.

Більшість цих установок призначалися переважно для виготовлення невеликих партій металу (від декількох сотень грамів до приблизно 100 кг), щоб можна було провести металознавські і матеріалознавчі дослідження. Проте на лабораторних установках можна було також розробити основні принципи дії агрегату і технології литва смуги.

Конструктивний принцип литва смуги в двохвалковому кристалізаторі полягає в тому, що два ролики з водоохолоджуваними мідними сорочками розташовані горизонтально на деякій відстані один від одного (проміжок між ними визначає товщину відливої смуги), і між ними, завдяки торцевим ущільненням з обох боків, розміщується ванна рідкого металу, що поповнюється через погрузной сталеразливочный склянку. При обертанні роликів один назустріч одному, рідкий метал втягується в проміжок між ними і кристалізується на мідній водоохолоджуючій поверхні, як в звичайному кристалізаторі МБЛЗ, утворюючи смугу, яка витягується вниз і швидко затвердіває (рис. 1.8).

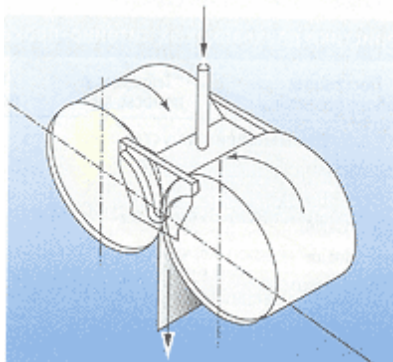


Рисунок 1.8 - Принцип литва смуги

У Європі основи литва смуги в двохвалковому кристалізаторі були розроблені фірмою Usinor Sacilor за участю Французького інституту чорної металургії і фірмою Thyssen Stahl за участю Інституту обробки тиском Рейн-Вестфальського вищого технічного училища (RWTH, м. Аахен, Німеччина) на малих дослідних установках. Ці установки, на яких можна розливати на смугу плавки масою до 200 кг (RWTH) і до 1,5 тонни, із самого початку були розраховані на подальше доопрацювання з метою промислового застосування [9].

На установках можна було в широкому діапазоні змінювати параметри розливання для вивчення їх впливу на властивості сталевих смуги. Крім того, установки можна було використати і для детальних досліджень, наприклад вивчення параметрів охолодження різних марок сталі, а також для розробки і удосконалення конструкцій самих установок.

Після декількох років інтенсивних дослідницьких робіт на експериментальних установках були отримані настільки багатообіцяючі результати, що фірми Thyssen Stahl і Usinor Sacilor в жовтні 1989 року прийняли рішення здійснити спільну промислову реалізацію проекту і провести випробування на великомасштабній дослідно-промисловій установці. Проект дістав назву "Myosotis".

Після проектування і будівництва в 1991 році установки на заводі в м. Ісберг фірми Ugine (Франція) були розпочаті перші дослідження по розливанню сталі

У травні 1992 року були прокатані 10-тонні смуги, а в 1993 році - смуги масою до 25 т. В 1995 році маса плавки складала 92 тонни, плавка розливалася впродовж 100 хв.

В результаті тривалих напружених досліджень, що проводилися у багатьох країнах провідними металургійними і машинобудівними компаніями, була створена промислова технологія безперервного розливання тонкої смуги на вертикальному двохвалковому модулі. Компанії, що займалися цією проблемою, спочатку діяли незалежно, потім почали

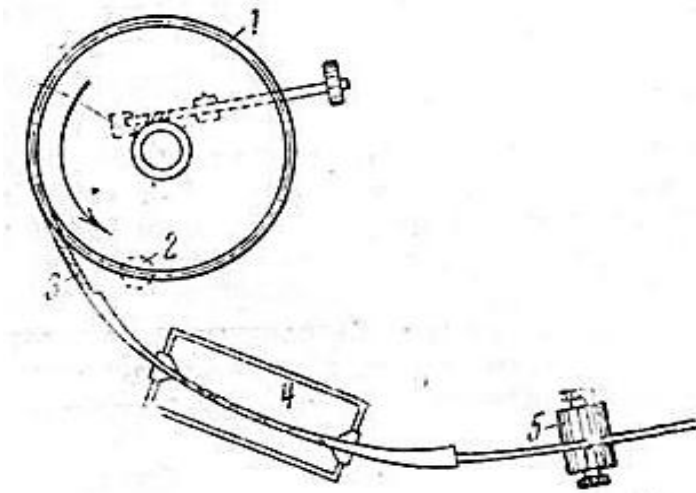
виробляти загальні програми і вступати у партнерські відносини, об'єднуючи свої виробничі потужності, інженерно-технічні розробки і ноу-хау.

У Європі результати досліджень фірм Thyssen Krupp Stahl AG і Usinor за проектом Myosotis були об'єднані з даними фірм Acciai Speciali Terni S. p. A. і CSM (Італія), Voest - Alpine Industrieanlagenbau GmbH (Австрія) в один європейський проект.

Мета цього проекту полягала в споруді в м. Крефельд на заводі фірми Krupp Thyssen Nirosta GmbH (КТН) першої в Європі промислової установки для прямого литва смуги, а також розширенні об'ємів робіт на дослідно-промисловій установці в м. Терни (фірма Acciai Speciali Terni AST). Партнери заснували суспільство, яке почало розробляти проект під назвою "Eurostrip"(європейська смуга) [10].

#### 1.4. Особливості одновалкової розливки тонкого листа

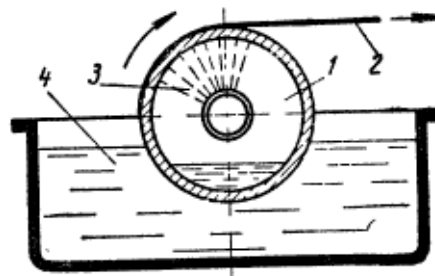
Спосіб беззливкового плющення по методу Коолхаса (рис. 1.9), запатентовано в Англії, але не впроваджений у виробництво. Суть методу полягає в тому, що ківш, що коливається, з направляючим жолобом заливає метал в кільцеподібний жолоб горизонтального столу, що обертається навколо злегка нахиленої осі і накритего кришкою, яка захищає від повітря канал, що сформувався, для приймання металу.



1 - круговий жолоб; 2 - введення металу; 3 - затверділа смуга; 4 - резервуар з охолоджувальною рідиною; 5 - натяжні валяння.

Рисунко – 1.9 Спосіб беззливкового плющення по методу Коолхаса

Спосіб, запропоновано В. В. Куриловим і А.Н. Шабановим [23] (рис. 1.10) має на увазі, що на водоохолоджуваний валок занурений нижньою частиною у ванну з рідким металом. На поверхні валка наморожується кірочка, яка при обертанні виливниці, безперервно витягується з ванни.



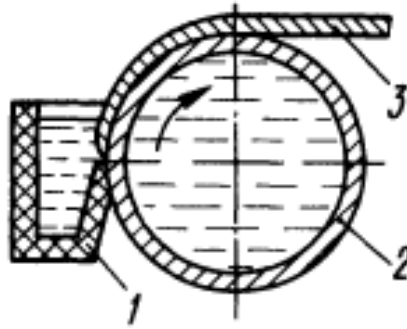
1 - охолоджуваний валок; 2 - стрічка; 3 - охолодження; 4 - розплав

Рисунок 1.10 - Схема лиття стрічки безперервним наморожуванням

Пізніше була запропонована схема процесу наморожування з бічною ванною, тобто з розташуванням ванни вище за горизонтальну вісь валка (рис. 1.11). для отримання металевих (алюмінієвих, цинкових, свинцевих) стрічок безперервним наморожуванням на валянні. Оскільки міцність алюмінію і



цинку поблизу температури кристалізації незначна [24], те відливання може легко зруйнуватися відразу після виходу з розплаву під дією власної маси і відцентрових сил при розташуванні ванни знизу під валком.



1 - металоприймач (розподільник розплаву); 2 - валок-кристалізатор; 3 - стрічка

Рисунок 1.11 - Схема лиття стрічки безперервним наморожуванням з розташуванням металоприймача вище за вісь валка

Товщина відливання в традиційних способах лиття визначається порожниною, в яку заливають метал. При безперервному наморожуванні товщина відливання є функцією параметрів технологічного процесу і істотно залежить не лише від умов теплообміну, але і від поверхневого натягнення розплаву, явища наносу при витяганні і ряду інших чинників. Отримання відливання постійної товщини можна забезпечити, якщо в процесі литва незмінними будуть довжина зони контакту розплаву з кристалізатором, швидкість обертання валка, температура заливки, умови охолодження валка [25].

Спосіб наморожування на один валок має перевагу в тому, що кірочка, яка утворюється на валянні не має залишкового рідкого металу після з'єднання кірочок, що утворилися, на двох валяннях, відповідно отримуємо стрічку без лусочок і спайок, одна з поверхонь відливання є фронтом кристалізації металу. В результаті відливка твердне без усадкової пористості, неметалічних включення і хімічної неоднорідності.

Процес лиття наморожуванням полягає в послідовному твердінні металу на кристалізаторі (робочому валку) за наявності більшого об'єму рідкої фази чим твердою. Відмінністю від звичайного лиття металу і сплавів є отримання безперервно литих виробів з дрібнозернистою структурою, що не мають усадкових раковин, тріщин, неметалічних включень. Основне завдання при литті наморожуванням - строгий розрахунок теплообміну між рідким металом і валком, що обертається. Лиття наморожуванням цікаве відносною простотою і низькою ціною установок, що дозволяє зменшити витрати на організацію розливання і отримання тонких листів.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ РОЗЛИВАННЯ ТОНКОГО ЛИСТА

### 2.1 Визначення температури металу при розливанні на МБЛЗ

Виплавка сталі марки 10ХНДП ведеться в 250-тонному конвертері. Хімічний склад сталі приведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Химический состав стали марки 10ХНДП

C	Si	Mn	≤ P	≤ S	Cr	Cu	Ni
0,10	0,27	0,45	0,012	0,01	0,65	0,40	0,45

При безперервному розливанні сталі дуже важлива підтримка оптимального рівня температури розливаного металу.

Точний розрахунок і підтримка температури металу при розливанні необхідно для забезпечення високої якості НЛЗ і стабільності процесу розливання.

Температура металу перед початком обробки на УКП має бути на 30 – 40°C вище за температуру ліквідус. Впродовж 38 - 40 хвилин позапічної обробки забезпечуються: однорідність металу по складу і температурі (продуванням аргону через донні пористі пробки); доведення металу по хімічному складу; глибока десульфуратія сталі; оптимальний нагрів металу.

Підвищене перегрівання металу над температурою ліквідуса сприяє збільшенню тріщиночутливості заготівель, розвитку стовпчастої структури зливка і таких дефектів макроструктури, як осьова ліквація і центральна пористість. Крім того, надмірно висока температура розливаного металу може привести до проривів НЛЗ по тріщинах. При збільшенні температури металу в проміжному ковші вище за оптимальну величину потрібно зниження рівня швидкостей витягування НЛЗ (орієнтовно, перевищення оптимальної температури розливання на 10 °С вимагає зниження швидкості розливання на 5 %).

Необхідна температура металу в проміжному ковші розраховується виходячи з температури ліквідуса для кожної марки сталі.

Визначимо температуру ліквідус сталі марки 10ХНДП для наступного хімічного складу, %: [C]-0,10; [Mn]-0,45; [Si]-0,27; [Ni]-0,45; [S]-0,01; [P]-0,012; [Cu]-0,40; [Cr]-0,65.

Розрахунок температури ліквідус сталі, робиться по формулі:

$$t_{\text{лик}} = t_{\text{плFe}} - t_{\text{сн}}$$

де  $t_{\text{сн}}$  – зниження температури плавлення заліза із-за присутності в ній домішок, яке визначається по формулі:

$$t_{\text{сн}} = \sum(K_L \cdot [\text{Эл}, \%])$$

де  $K$  – коефіцієнт для різних хімічних елементів в сталі; (Задані значення коефіцієнта  $K_L$  для різних хімічних елементів в сталі для розрахунку температури ліквідус представлені в таблиці 2.2 ).

[Эл,%;] – вміст хімічного елементу в сталі.

Таблиця 2.2– Коефіцієнт  $K_L$  різних хімічних елементів в сталі для розрахунку температури ліквідус.

Хімічний елемент	C	Si	Mn	Ni	Cu	S	P	Cr
Коефіцієнт $K_L$	86	8	5	4	5	25	30	1,5

$$t_{\text{лик}} = t_{\text{пл Fe}} - 86 \cdot [\text{C}] - 8 \cdot [\text{Si}] - 5 \cdot [\text{Mn}] - 4 \cdot [\text{Ni}] - 5 \cdot [\text{Cu}] - 25 \cdot [\text{S}] - 30 \cdot [\text{P}] - 1,5 \cdot [\text{Cr}] = 1536 - 86 \cdot 0,1 - 8 \cdot 0,27 - 5 \cdot 0,65 - 4 \cdot 0,45 - 5 \cdot 0,40 - 25 \cdot 0,01 - 30 \cdot 0,012 = 1518 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахункова температура ліквідус складає 1518°C.

Рекомендована величина перегрівання металу в проміжному ковші над температурою ліквідуса під час розливання на МБЛЗ для низько - і середньовуглецевих марок сталі складає  $30 \div 35$  °С.

Передбачувані втрати температури металу в ході розливання:

- в промковші за час розливання однієї плавки –  $5 \div 10$  °С;
- при переливанні металу із сталерозливного в проміжний ківш –  $30 \div 40$ °С (залежно від типу футерування промковша і номери плавки в серії).

Рекомендоване перевищення температури металу в сталерозливному ковші перед розливанням на МБЛЗ для низько - і середньовуглецевих марок сталі повинно складати  $65 \div 85$  °С.

Таким чином, температура сталі в кристалізаторі складе  $1523-1528$ °С, у проміжному ковші  $1558-1568$  °С, у сталерозливочному ковші перед розливанням  $1593-1598$  °С.

## 2.2 Розрахунок швидкості розливання

При визначенні швидкості розливання металу на машинах безперервного литва заготівель (МБЛЗ) виходячи з того, що в кристалізаторі повинна виходити кірочка такої товщини, щоб після виходу з кристалізатора вона б не порвалася під дією рідкого металу.

Швидкість розливання залежить від цілого ряду чинників: переріз, марка, тип УНРС і впливає на продуктивність, якість, масу устаткування - вартість МБЛЗ.

Попередня оцінка швидкості може бути зроблена по формулі:

$$\omega = k \cdot \frac{1 + b/a}{b}$$

$k$  – коефіцієнт, залежний від марки сталі і призначення готової продукції,  $k = 0,18-0,30$ .

Після підстановки відповідних значень в рівняння отримаємо діапазон швидкостей розливання:

$$\omega_{\min} = 0,18 \cdot \sqrt{1 + 1,00 / 0,12} \cdot 1,00 = 1,68 \text{ м/хв};$$

$$\omega_{\max} = 0,30 \cdot \sqrt{1 + 1,00 / 0,12} \cdot 1,00 = 2,24 \text{ м/хв};$$

$$\omega_{\text{cp}} = 0,24 \cdot \sqrt{1 + 1,00 / 0,12} \cdot 1,00 = 1,80 \text{ м/хв}.$$

Проте ці швидкості можуть бути рекомендовані для випадку, коли розливання плавки на МНЛЗ робиться поодинокими плавками. У разі серійного розливання методом плавка на плавку час розливання на МНЛЗ необхідно погоджувати з тривалістю плавки в сталеплавильному агрегаті і ритмом подачі ковшів з металом у відділення безперервного розливання.

Для подальших розрахунків вибираємо швидкість розливання 2,24 м/хв.

## 3 ЕФЕКТИВНІСТЬ ТОНКОЛИСТОВОЇ РОЗЛИВКИ

### 3.1 Оцінка технологічних параметрів розливання тонкого сталевого листа на двошвалковій МБЛЗ

Основна перевага прямого відливання тонкого листа - виключення з технологічної схеми операції гарячого прокату з відповідним скороченням енерго- і трудовитрат. У агрегатах прямого відливання тонкого листа Рідка сталь при розливанні поступає в простір між валками і при контакті з поверхнею валків кристалізується, утворюючи кірочки, які рухаються разом з поверхнею і виходять з валків у формі листа, товщина якого визначається відстанню між валками, а товщина - бічними стінками кристалізатора. Для відведення тепла, що виділяється, валки, виготовлені, як правило, із сплаву міді з хромом, охолоджуються водою. Як покриття валків використовують різні матеріали на основі нікелю, хрому або кераміки.

Технологічна схема отримання тонкого листа із застосуванням двошвалкових МБЛЗ має величезний потенціал в частині економії енергетичних ресурсів (у 8-10 разів) (рис.3.1), зниження втрат з окалиною (у 40-50 разів), підвищення продуктивності роботи персоналу (5-10 разів), зниження викидів парникового газу (у 10-20 разів) при істотному зниженні витрат на капітальне будівництво, що забезпечує економічну мотивацію в частині його подальшого розвитку і вдосконалення[11].

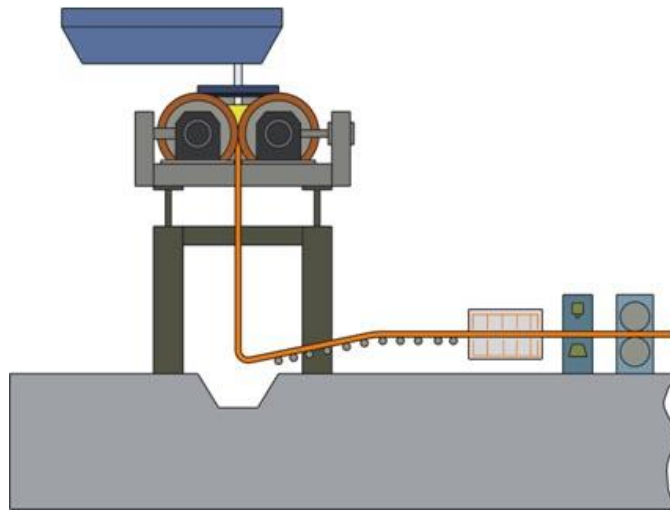
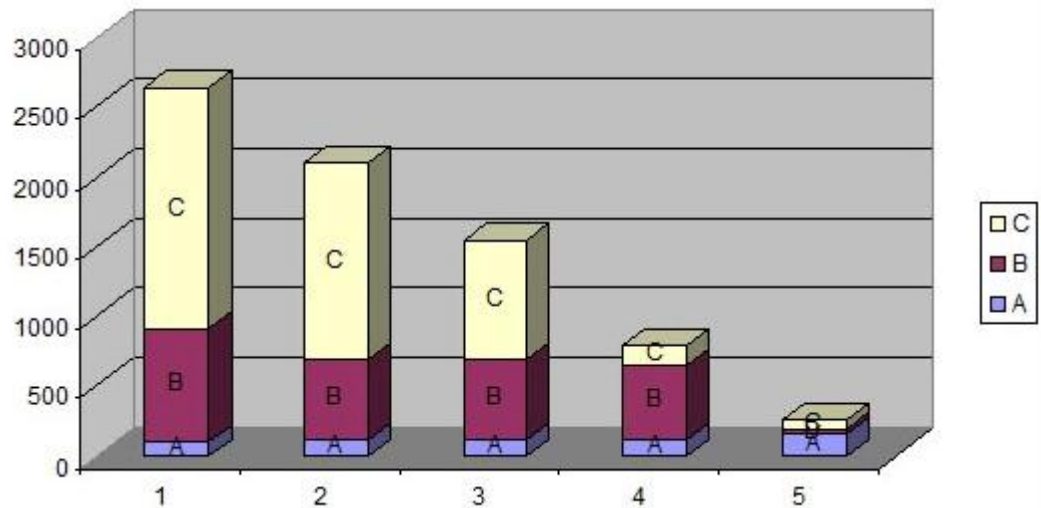


Рисунок 3.1 - Схема непрерывного литья листа на двухвалковой МБЛЗ

Велика увага в дослідженнях приділяється безпосередньо якості отримуваної продукції і можливостям забезпечення її конкурентоспроможності з традиційним листом. Найбільш глибокі дослідження в цій області виконані фірмою "Castrip LLC" (США) на металургійному заводі "Nucor Steel" (США), де в 2004 р. відлило 150 тис. тонни продукції на двохвалковій МБЛЗ. В цілому можна констатувати, що отримуваний за допомогою двохвалкової МБЛЗ лист відповідає стандарту ASTM A1011 (для гарячекатаного листа). Проте прагнення забезпечити цю відповідність призводить до істотних обмежень в частині розвитку технології литва на двохвалкових МБЛЗ. Тому відповідним комітетом в США вже розроблений і затверджений новий стандарт ASTM A1039, що регламентує якість листа, отриманого безпосередньо на двохвалкових МБЛЗ.





- 1 – при розливанні сталі в злитки з подальшим плющенням;
- 2 – при розливанні сталі на слябової МБЛЗ з охолодженням злитків до нормальної температури і з подальшою прокаткою;
- 3 - при розливанні сталі на слябової МБЛЗ і передачі слябів гарячими для подальшої прокатки;
- 4 – при розливанню сталі на тонкослябової МБЛЗ (ЛПМ);
- 5 – при розливанні сталі безпосередньо на тонкий лист на двохвалковій МБЛЗ і холодному прокаті.

Рисунок 3.2 - Витрата енергії (МДж/т) при виробництві тонкого листа за різними технологічними схемами:

Для забезпечення високої якості листа розробники концепції двохвалкової МБЛЗ "MAINSTRIP", виконуваною швейцарською фірмою "MTAG Marti - Technology AG" і німецькою фірмою "SMS Demag AG". вважають за доцільне здійснювати очищення поверхні валків безпосередньо в процесі литва. Для цього пропонується збільшити діаметр валків до 1,5 м. В цьому випадку на їх тильній стороні розташовується усе необхідне для очищення поверхні валків устаткування. Крім того великий діаметр валків забезпечує глибшу ванну металу в просторі міжвалка, що покращує умови розподілу і підтримки його рівня. Також вважається, що при більшому діаметрі робочих валків буде істотно понижена напруга на оболонку валка і

його викривлення. Додатково розробники розглядають можливість вирішення проблеми зміни ширини листа безпосередньо в процесі розливання.

Одній з найважливіших проблем в литві тонкого листа представляє формування бічних стінок заготівлі, оскільки конструкція бічних стінок повинна забезпечувати утримання рідкої сталі в кристалізаторі, запобігаючи її проривам, а також підтримувати однакову температуру металу біля стінок і середньої частини кристалізатора, щоб виключити деформацію кромek листа. В якості матеріалу бічних стінок зазвичай використовують нітрид бору і нітрид кремнію. Італійська фірма AST запропонувала використати композиційний матеріал, в якому ділянка стінки, дотична до рідкої сталі, виготовляється з низкотеплопроводного матеріалу, а ділянка стінки, прилегла до торців валків, - з матеріалу, що має високу ударну стійкість і малозмочуваного рідкою сталлю.

Проте, нині не існує єдиної думки відносно раціонального діаметру валків для розливання смуги (фірма Castrip використовує валяння діаметром 0,5 м, фірма Nippon - 1,2 м, а фірма Eurostrip - 1,5м). На перший погляд, збільшення діаметру валків обумовлює наявність більшої рідкої ванни металу, розташованого між валяннями, і відповідно розширення зони деформації заготівлі. В сукупності з можливістю відведення більшої кількості тепла і підвищенням продуктивності МБЛЗ це забезпечує велику стабільність процесу литва. Проте при збільшенні діаметру валків підвищується витрата дорогих матеріалів на виготовлення бічних стінок і нанесення спеціальних покриттів на робочу поверхню валків. В цілому діаметру валків надалі визначатиметься як технологічними (забезпечення стабільного литва смуги заданої якості), так і комерційними міркуваннями [12].

Доцільність створення агрегатів для прямого литва тонкого листа і смуги в цілому стимулюється досить високими показниками, що забезпечує їм конкурентоспроможність з точки зору високого рівня енергозбереження,

низького рівня капітальних вкладень і високою адаптивністю до різних обсягів виробництва сталі (тобто можливістю реалізації в умовах міні і мікро заводів).

Між тим створення двохвалкових МБЛЗ представляється складним комплексним завданням, рішення якого вимагає нових конструкційних матеріалів, а також розвитку теоретичних положень в частині забезпечення твердіння сталі в умовах розливання зі швидкостями 50-100 м/хв при підвищених вимогах до якості поверхні неперервнолитої заготівлі (листа).

Створення промислових і дослідно-промислових агрегатів для литва тонкого листа і смуги здійснюється відповідно до декількох конкуруючих проектів. Так, в Європі кілька років тому німецька фірма KTS, італійська фірма AST і австрійська VAI створили об'єднання для розробки і впровадження установки і технології для отримання тонкого листа на двохвалковій МБЛЗ (проект Eurostrip). У грудні 1999 р. на заводі в Крефельде була розлита перша промислова плавка масою 36 тонни з отриманням листа шириною 1100 мм і завтовшки 3 мм, 3 березня 2000 р. на цьому заводі стійко розливається повний ківш місткістю 90 т. МБЛЗ має наступні характеристики: діаметр валка - 1500 мм, швидкість розливання - 60-100 м/мін (макс. 150 м/мін), товщина листа - 1,5-4,5 мм, товщина листа 1100 мм, місткість промківша - 16 тонна, продуктивність - 400 тис. тонн в рік.

У січні 2000 р. було оголошено про підписання угоди між американською фірмою "Nucor", австралійською фірмою ВНР і японською фірмою ІНІ про створення спільного проекту Castrip. Згідно проекту базова установка для литва тонкого листа встановлена на заводі фірми "Nucor" в Кроуфордсвилле.

Основні характеристики проекту :

- маса плавки, тонна : 110
- діаметр валків МБЛЗ, мм : 500
- швидкість розливання, м/хв : 80 (номінал) - 150 (максимально)

- товщина відливої заготівлі, мм : 0,7-2,0
- ширина заготівлі, мм : 2000 (максимально)
- загальна швидкість кристалізації, с: 0,15
- середня швидкість охолодження смуги, °C/с: 1700
- маса рулону, т : 25
- кліть в лінії процесу: одна чотиривалкова з гідравлічним регулюванням товщини
- розміри робочих валків, мм : 475x2050
- розміри опорних валків, мм : 1550x2050
- зусилля плющення, МН : 30 (максимально)
- головний привід, кВт : 3500
- рольганг охолодження : 10 верхніх і нижніх форсунок
- розміри рулону : 2x40 т
- опрацювання рулону, мм діаметр: 760
- річна продуктивність, тис. тонни/рік: 500

Таблиця 3.1 - Властивості литих смуг, отриманих процесом Castrip відповідно до SS Grade 275 по ASTM A1011M

	Межа плинності, МПа	Тимчасовий опір, МПа	Відносне подовження, %
Мінімальне значення за ASTM A1011M-S grade 275	275	380	15
Смути UCS(катані) – типічне значення	315	420	24

Таблиця 3.2 - Порівняльна шорсткість поверхні литих і звичайних гарячекатаних смуг

Ділянка	Параметр	Лита смуга	Гарячекатана смуга
Верхня поверхня	Ra, мкм	2,8	1,33
	RzDin, мкм	18,6	9,7
	S, мкм	101,2	56,6
Нижня поверхня	Ra, мкм	2,2	1,11
	RzDin, мкм	12,5	9,2
	S, мкм	69,8	60,0

Узагальнюючи відомі дослідження по створенню промислових зразків двохвалкових МБЛЗ, слід зазначити, що головним об'єктом уваги є якість отримуваної продукції. Це відноситься, передусім, до якості поверхні отриманого листа і наявності в нім тріщин. Тріщина, як відомо, може виникнути тоді, коли внутрішня напруга в твердій кірочці перевищує локальну межу міцності матеріалу. Найбільш вірогідні джерела напруги в процесі розливання на двохвалковій МБЛЗ, мабуть, слід зв'язувати з механізмом формування розливаного листа (рис.3.3).

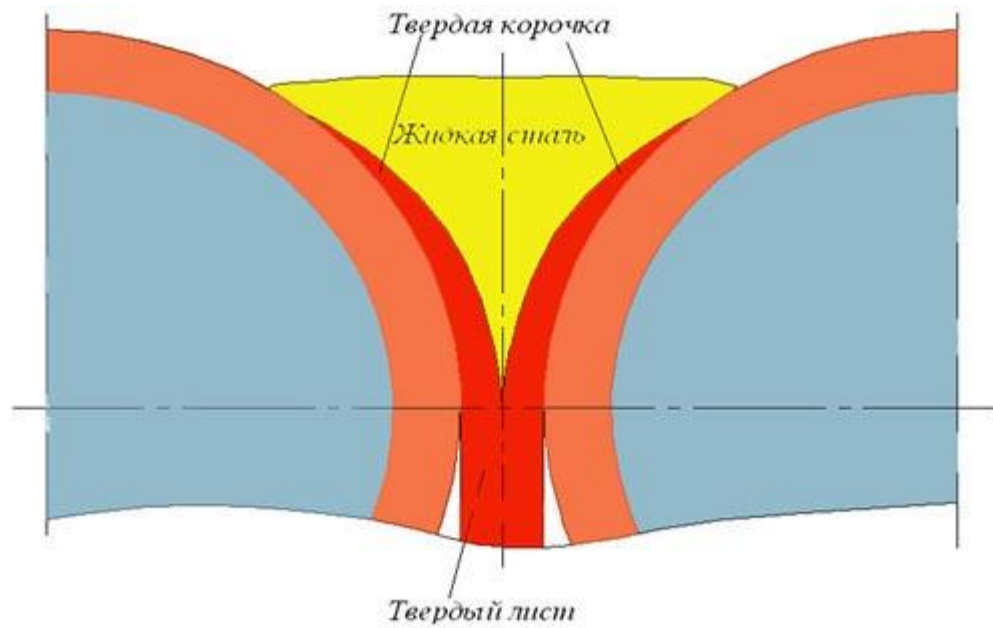


Рисунок 3.3 - Схема формування заготівлі на двохвалковій МБЛЗ

Оскільки на початку процесу формування твердої фази на барабанах, що обертаються, утворюються дві роздільні кірочки, то в місці їх з'єднання метал починає випробовувати значні навантаження[14]. При цьому в точці з'єднання цих кірочок метал починає випробовувати внутрішню напругу, а теплопередача валками збільшується, що додатково сприяє розвитку термічної напруги. Фактично на цьому ж ділянці виникає також ефект "прокату" листа, який породжує додаткову напругу і деформації. Після виходу заготівлі з валків триває її охолодження, зв'язане з підвищенням внутрішньої напруги. В принципі внутрішня напруга також виникає при вигині смуги, проте цей чинник, як правило, не такий важливий, тому що не спостерігається відмінностей в характері розтріскування верхньої і нижньої поверхні смуги.

У отриманому безперервним розливанням тонкому листі є присутніми переважно поперечні тріщини, що дозволяє зробити висновок, що вони утворилися на тій стадії процесу, коли проявляється відмінність механічних властивостей сталі в подовжньому і поперечному напрямках. Відповідно ця ситуація в найбільшій мірі проявляється у момент прокату

листа у валках (при цьому поперечні тріщини можуть розкритися в подовжньому напрямі). Між тим, розширення у цей момент проявляється в набагато меншому ступені (тобто досить маловірогідно поперечне розкриття подовжніх тріщин).

В ході промислових експериментів встановлено, що зменшенню і відвертанню розтріскування заготівлі сприяють усі заходи, спрямовані на вирівнювання температури поверхні смуги, у тому числі за рахунок збільшення шорсткості поверхні валків і керамічного (оксидцирконієвого) покриття на валках. З іншого боку, ці заходи представляються досить обмеженими внаслідок впливу на стійкість валків, оскільки вони зменшують теплопередачу.

В цілому процеси тріщинообразования можуть розрізнятися на так звані гарячі і холодні ділянки заготівлі. Як видно з рис.3.4 формування твердої кірочки литої заготівлі відбувається нерівномірно внаслідок, наприклад, наявності оксидних плівок між зовнішньою поверхнею заготівлі і кристалізатора (валка). При цьому сама нерівномірність в товщині твердої кірочки заготівлі носить імовірнісний характер.

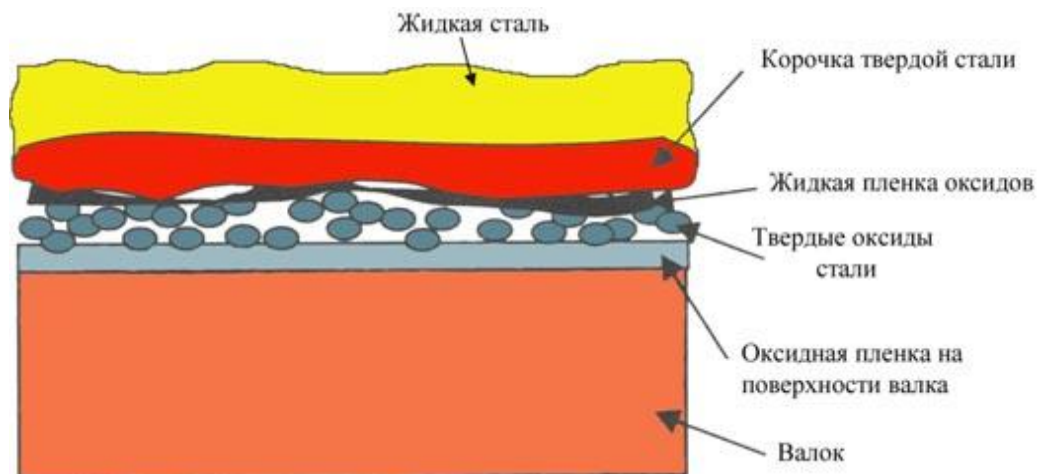


Рисунок 3.4 - Схематичне представлення процесу твердіння твердої кірочки сталі на валку

Отже, із-за випадково малих відхилень товщини двох кірочок на валках прокатуються і сильно охолоджуються тільки товщі ділянки. Внаслідок

такого інтенсивного тепловідводу може посилитися розмежування на гарячі і холодні ділянки. На холодних ділянках важливу роль грає відведення тепла під тиском, процес якого в зонах дії обтискання з боку валків наближається до ідеального, тобто температурне поле на поверхні контакту смуги і валка випробовує різкий перепад, що досягає декількох сотень градусів. Внаслідок цього в смузі виникає напруга, яка дуже велика при гладких металевих валках і значно менше при валках з керамічним захистом.

Додатковим чинником, що обумовлює виникнення термічної напруги являється нагрів валків при контакті з рідкою сталлю і їх неминуча деформація. Цілком очевидно, що зміна теплового потоку має місце в поперечному перерізі валка. Ймовірно, застосування валків з увігнутими поверхнями (діаметр валка в центрі менший, ніж по кромках) дозволить отримати необхідний профіль смуги.

Украй важливим для забезпечення технології литва тонкої смуги виявляється також питання підтримки кромки рідкої лунки (з торців валків). Ця проблема пов'язана з тим фактом, що застигання більшою мірою відбувається саме в цій області із-за втрати тепла як через матеріал обгороджування у бічній частині, так і через валки. Передчасне застигання може привести до низької якості кромки, ініціюючи ланцюг явищ, що призводять до зупинки МБЛЗ. Для забезпечення необхідних кондицій литва, мабуть, потрібне використання спеціальних керамічних матеріалів (дані про них в літературі відсутні) в сукупності із спеціальною системою подання металу у напрямі цих кромки[15].



## 4.2 Система управління безперервного розливання тонколистової сталі на двохвалковому МБЛЗ

Аналіз способу Г. Бессемера лиття листового металу у валках-кристалізаторах має недоліки. Якщо нижній край рідкої металеві ванни металу досягає мінімальної відстані між поверхнями валків, то в центрі смуги утворюється ліквация унаслідок відтиснення домішок двома фронтами кристалізації, що йдуть на зустріч один одному.

В цьому випадку замкнуті течії металу не можуть вивести неметалічні включення у верхню частину ванни металу, а за рахунок його усадки з'являється рихлість і пористість в центрі листа.

Отже, процес розливання необхідно проводити так, щоб два фронти кристалізації зварювалися в області, що знаходиться вище вказаної мінімальної відстані між валками. Проте безперервне розливання тонколистового металу за рахунок його малої товщини проходить нестабільно, оскільки об'єм металеві ванни не

Останніми роками на Україні спостерігається тенденція розвитку металургійних міні-заводів, на яких реалізуються енергозберіжні технології виробництва сталі і прокату. Енергозбереження в металургії полягає в поєднанні процесів безперервного лиття і безперервного прокату від рідкого металу до кінцевого прокату. Чим швидше метал доходить від рідкого стану до кінцевого прокату, тим краще економічні показники енергоємного металургійного виробництва. У звичайних технологіях, коли після отримання литих заготівель відбувається їх охолодження, а потім (після транспортування в прокатні цехи) прокат, питома витрата енергії перевищує 2000 Мдж на тонну сталеві прокату. Якщо ж реалізувати прокат литих заготівель, не допускаючи їх охолодження нижче певної температури (для сталі не нижче 900 °С), то питома витрата енергії буде менше в 6-7 разів, тобто 300-335 Мдж/т.

Природним тому являється прагнення поєднати установку безперервного розливання металу (УБРМ) і прокатний стан в єдиній технологічній лінії для реалізації безперервного процесу лиття-прокат. Таке поєднання дозволяє не лише економити теплову енергію, але також компактно розташовувати агрегати в цехах і підвищити їх продуктивність. Проте є дуже велика відмінність між швидкостями лиття і прокат металу. Наприклад, прокат квадратних заготівель перерізом 100x100 мм можна здійснювати зі швидкостями 7-10 м/с, а безперервне лиття таких заготівель - зі швидкостями 3-5 м/хв, тобто (5/9) 102 м/с; швидкості, як видно, відрізняються приблизно удвічі. Тому при установці прокатного стану за кожним струмком УБРМ його устаткування використовується нерационально; доводиться поєднувати прокатний стан з декількома струмками УБРМ, що вимагає великих виробничих площ і значних капіталовкладень. Слід зазначити, що у разі прокату з низькими швидкостями в звичайних прокатних клітках відбувається сильне охолодження заготівель і втрачаються істотні переваги поєднаного процесу

Коли вимагається робити смугу завтовшки 1 мм і менш, то, навіть враховуючи необхідність здійснення п'ятикратної деформації, немає сенсу відливати зливки завтовшки більше 5 мм з цієї точки зору (виключаючи розгляд продуктивності устаткування), нерационально створювати потужні прокатні стани для обтискання зливка від товщини 50-250 мм до товщини 1-2 мм, що вимагає дуже великих витрат. Звичайно, при відливанні тонкого зливка і здійсненні подальшого поєднання з прокатним станом виникають труднощі через швидке охолодження такого зливка. Можна, звичайно, перед прокатним станом здійснювати підігрівання відлитого зливка, як це роблять, наприклад, на тонкослябових ливарно-прокатних агрегатах (ЛПА), що реалізують технологію CSP (Compact Strip Production - компактне виробництво смуги) [16]. Проте завжди "додатковий нагрів" означає "додаткові витрати", чого будь-яка фірма прагне уникнути. Рациональне

рішення цієї задачі - поєднання в одній установці процесів лиття і прокат (за схемою Г. Бессемера).

Саме так цю задачу вирішують ливарно-прокатні агрегати валків (ЛПА), в яких рідкий метал подають в зону, обмежену валками-кристалізаторами. При цьому валки-кристалізатори здійснюють подвійну функцію: вони є і кристалізатором, і деформувальним інструментом.

Сила реакції зливка на валки-кристалізатори  $F_{np}$  є інформаційним параметром, що відповідає положенню фронту кристалізації по відношенню до валків - кристалізаторів.

Мета системи автоматизації управління процесом розливання у валках-кристалізаторах - підтримка на заданому рівні сили реакції, прикладеної до валків перпендикулярно площини формованого зливка рівної.

Розглянемо роботу системи на прикладі конкретного виконання. Валяння-кристалізатори завдовжки  $l = 800$  мм і радіусом  $R = 400$  мм обертаються із швидкістю 50 об/мін більшої, ніж вимагає технологія розливання[17]. По торцях валків-кристалізаторів стоять електромагнітні пристрої, що формують бічну кромку металу і запобігають його зливу. У область міжвалка, в якій знаходиться затравка, заливають метал. Тензодатчики, закріплені на осі валків-кристалізаторів фіксують силу реакції, прикладену перпендикулярно площини формованого листа металу

При цьому швидкість обертання валків-кристалізаторів необхідно зменшувати до тих пір, поки вказана сила не досягне розрахункової. Далі процес розливання - прокату протікає зі швидкістю, відповідній заданій силі реакції зливка (сили прокату) на валку.

Функціональна схема системи автоматизації управління безперервним процесом розливання в двохвалковій МБЛЗ. Робота системи відбувається таким чином. Спочатку в ручному режимі задається швидкість обертання валків-кристалізаторів розрахована технологом, і у міру формування зливка металу, що закристалізовувався, фіксують результати виміру сили реакції

зливка на валки-кристалізатори. До тих пір, поки значення поточної сили реакції менше за задану розрахункову, швидкість обертання валків зменшується пропорційно значенню різниці між поточною помилкою розузгодження по силі реакції зливка на валяння і розрахунковою силою плющення. Досягши сили плющення заданою розрахунковою (рівність помилки розузгодження нулю) величина швидкості обертання валків регулюється відповідно до поточної сили прокату[18].

При збільшенні сигналу зворотного зв'язку по силі прокату швидкість обертання валків-кристалізаторів також збільшується пропорційно значенню суми розрахункової сили прокату і поточної помилки розузгодження по силі реакції зливка на валки. Таке регулювання швидкості обертання валків-кристалізаторів вимагає застосування системи управління зі змінною структурою управління, що дозволяє погоджувати входи по ланцюгах завдання і зворотних зв'язках[19]. Ця швидкість обертання валків-кристалізаторів, що відповідає поточній силі реакції зливка на валки і характеризує продуктивність процесу розливання є задаючою дією для системи управління електроприводом насоса, що забезпечує на заданому рівні тепловий потік охолоджуваної води на кристалізаторі.

Тобто тепловий потік, що віддається металом, дорівнює тепловому потоку, що забирається водою. Температура охолоджуваної води не стабільна, тому, якщо на вході кристалізатора температура потоку води  $T_1$ , що входить, збільшиться, то тепловий потік охолоджуваної води зменшиться, про що свідчить зворотній зв'язок контролера теплового потоку, і насос швидше гойдатиме воду з басейну.

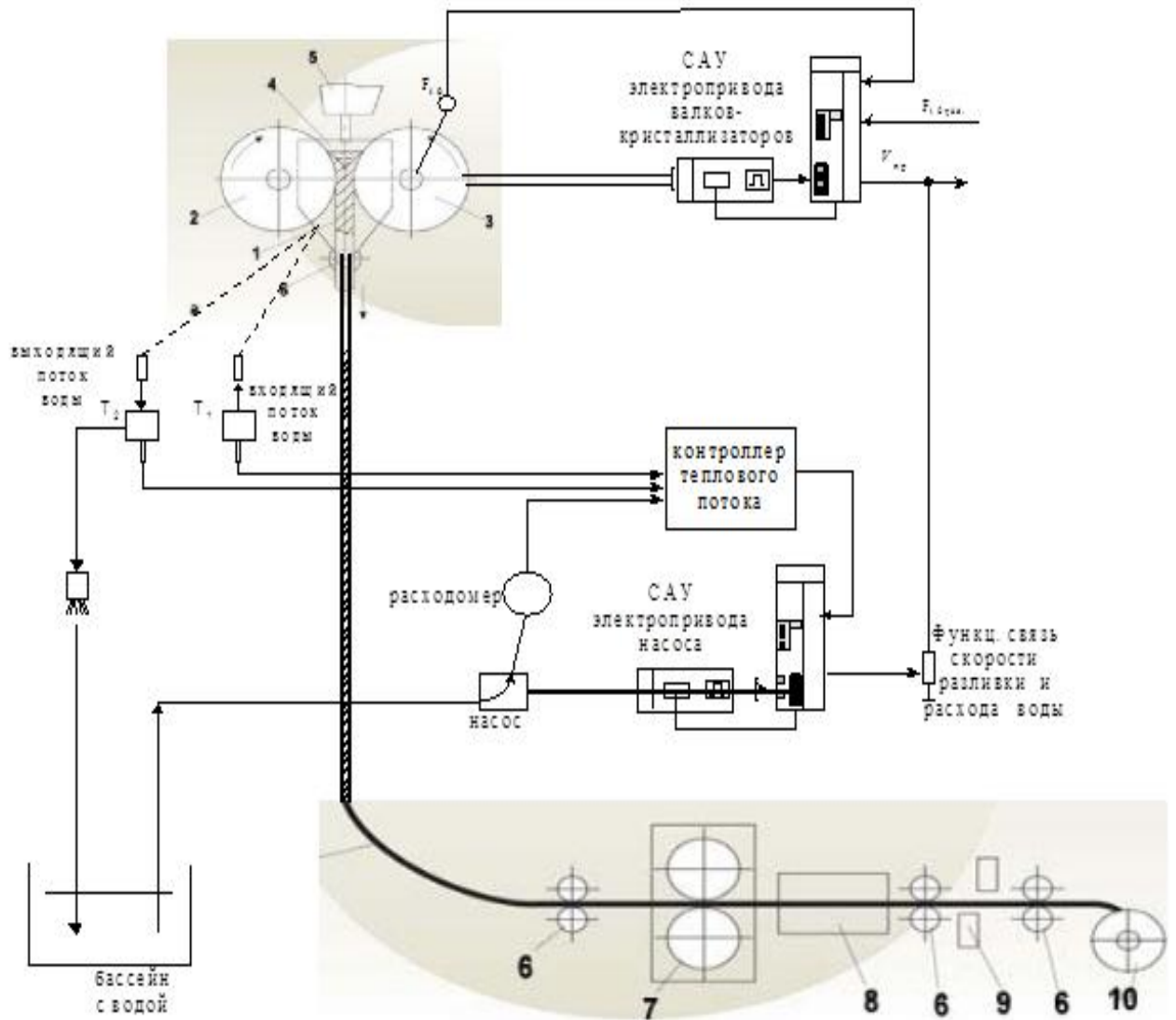


Рисунок – 3.5 Функціональна схема САУ безперервним процесом розливання у валяннях кристалізаторах ЛПА виробництва тонколистового прокату

Таким чином, структурна схема системи стабілізації сили реакції металу на валки-кристалізатори повинна мати два контури регулювання. Зовнішній контур - регулятор сили прокату. Внутрішній - регулятор швидкості розливання металу. Схема моделювання САУ приведена на (рис.3.6).

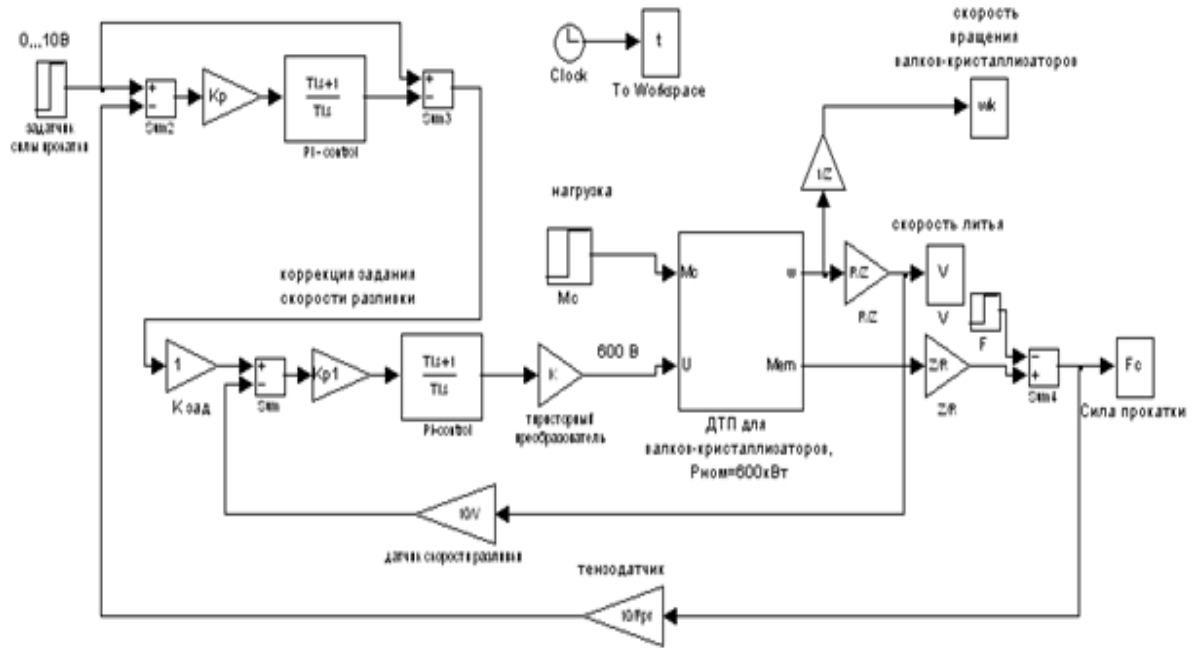


Рисунок 3.6— Схема моделювання системи стабілізації сили реакції металу на валки-кристалізатори

Для забезпечення стабільного процесу лиття завдання швидкості розливання-прокату заготівлі необхідно корегувати, так, щоб при зменшенні сили реакції металу на валки-кристалізатори, задаюча дія швидкості також зменшувалася. З цією метою регульована помилка розузгодження по силі прокатки складається зі знаком мінус з сигналом уставки сили прокатки. Перехідні характеристики системи приведені на малюнках.

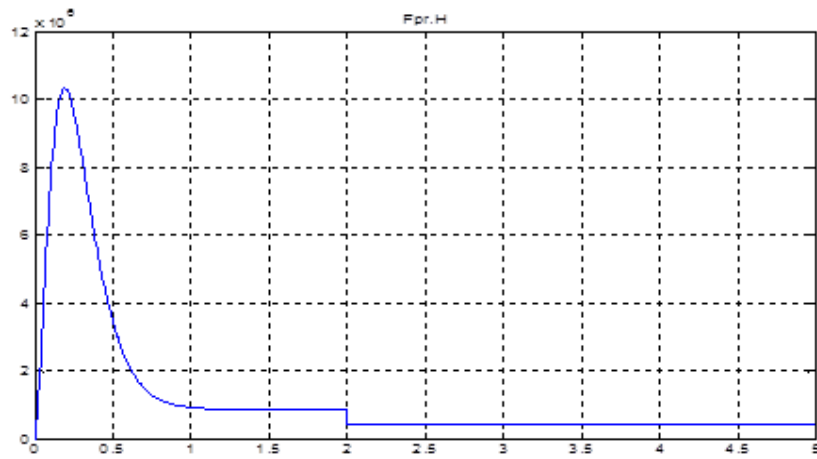


Рисунок 3.7 – Перехідна характеристика сили реакції металу на валки-кристалізатори

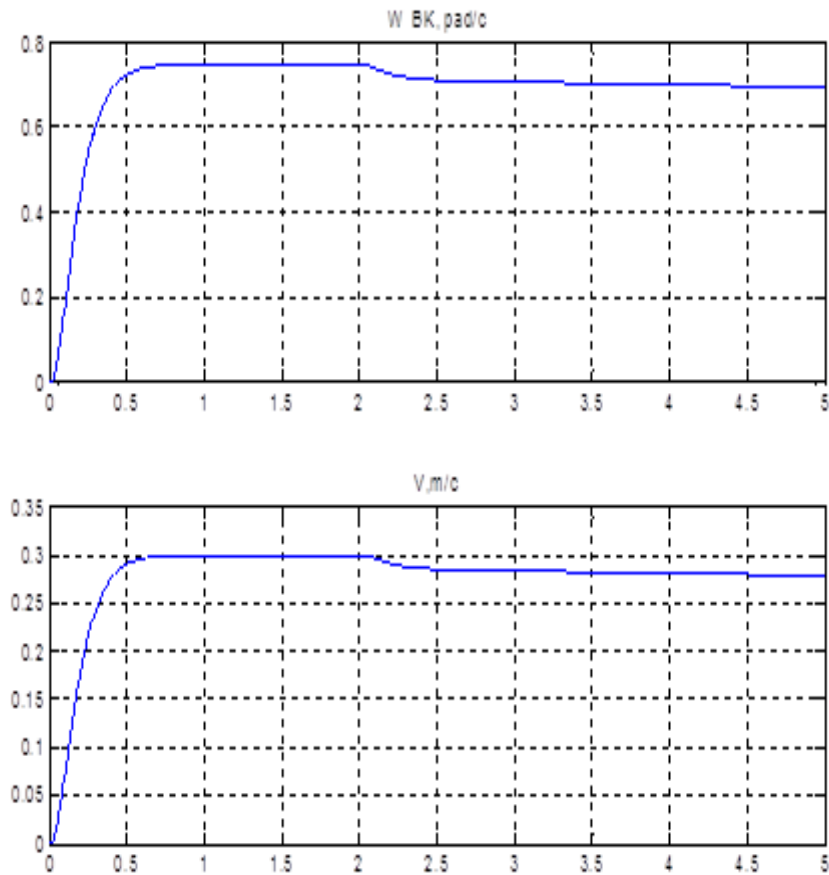


Рисунок 3.8– Перехідна характеристика швидкості обертання валків-кристалізаторів і швидкості лиття при зменшенні сили прокатки

Аналізуючи перехідні характеристики, можна зробити висновок про працездатність системи стабілізації сили реакції металу на валки-кристалізатори. Швидкість лиття-прокатки заготовлі змінюється відповідно до зміни фронту кристалізації, залежного від стану теплопереноса в кристалізаторі[20].

### 3.3 Дефекти при розливанні

При аналізі причин аварійності розливання трансформаторної сталі (розливання з проривами зливка) важливе значення має хімічний склад рідкої сталі, оскільки фізико-механічні властивості металу багато в чому визначаються присутніми в ній елементами, їх властивостями і кількістю. Наявність в сталі підвищених концентрацій кремнію, міді, азоту і алюмінію разом з низьким вмістом вуглецю і марганцю несприятливо позначаються на механічних властивостях сталі при високих температурах.

Наявність в трансформаторній сталі значної кількості міді, що має низьку температуру плавлення ( $1083^{\circ}\text{C}$ ) і що дуже погано розчиняється в твердому залізі, може істотно погіршити механічні властивості металу при температурі вище  $1200^{\circ}\text{C}$ . На виході з кристалізатора затверділа оболонка має температуру  $1300\text{...}1400^{\circ}\text{C}$ .

Висока частота аварійних проривів при розливанні трансформаторної сталі обумовлена низьким рівнем механічних властивостей цього металу при високих температурах.

Зміни умов розливання: температури, швидкості витягування, властивостей шлакотворної суміші та ін. призводить до появи напруги в кірочці зливка, що перевищують межу міцності металу.

Присутні в сталі хімічні елементи за певних умов (підвищених або знижених концентраціях, утворюючи з'єднання між собою з різною мірою розчинності і так далі) підвищують вірогідність виникнення аварійного розливання. У цих умовах потрібна оцінка хімічного складу рідкої сталі



при розливанні, встановлення наявних взаємозв'язків між елементами і впливу їх на кінцеві результати.

Хімічний склад трансформаторної сталі омовлений в ТП 14–101–382–97 і повинен задовільняти наступним вимогам, %: 0,025...0,045% С; 3,0...3,4% Si; 0,10...0,25% Mn; не более 0,025% P; 0,02% S; 0,3% Cr; 0,3% Ni; 0,4...0,6% Si; 0,006...0,011% N; 0,011...0,017% Al.

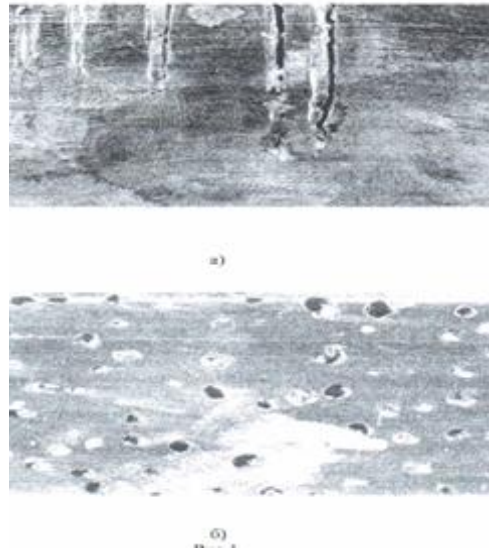
З метою забезпечення повного розчинення необхідного для легування феросиліцію, кількість якого складає 17 - 18 тонни, було впроваджено продування аргоном металу в ковші під час випуску плавки. Продування здійснювали через пристрій, що встановлюється в каналі шибєрного затвора.

Для легування сталі міддю використали в завалку мідний лом масою 1,5 - 2,0 тонни або біметалічний лом масою 25 т, що містить орієнтовно 7% міді. Це забезпечувало зміст міді в повалочной пробі 0,45 - 0,50%.

Для отримання необхідного змісту сірки в сталі під час випуску плавки в ківш досаджували відсіювання вапна. Найвища міра десульфурації (до 60%) досягалася при основності ковшевого шлаку в інтервалі 2,2-3,0.

Збільшення основності робить шлак гетерогенним, що призводить до погіршення десульфурації. Отримання необхідного вмісту азоту в металі зажадало випробування різних варіантів технології його введення в трансформаторну сталь.

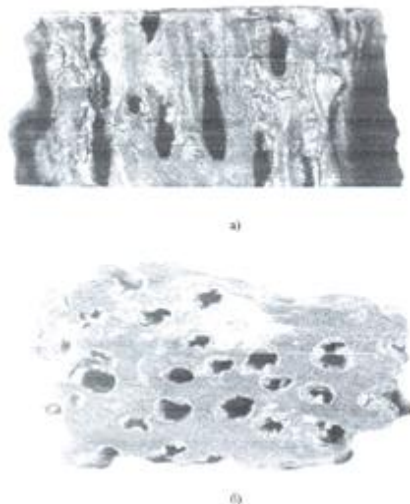
При азотуванні, трансформаторній сталі карбамідом були часті випадки появи дефекту "газовий пухир" в неперервнолитом слябі. На ряду плавок "прориви" кірочки зливка під час розливання, а на багатьох повисання зливка. Огляд темплетов і кірочок слябів проривних плавок показав наявність в металі газових пухирів різних по діаметру і довжині (рис. 3.9 і 3.10).



а - вид по товщині сляба; б - вид зверху

Рисунок 3.9 – Дрібні газові пухирі у безперервно литих слябах трансформаторної сталі

З 12 плавок, в яких були газові пухирі діаметром 1...5 мм, сім плавок розлиті з проривами і на усіх були підвисяння кірочки зливка. На плавках з діаметром газового пухиря менше 1 мм підвисяння і прориви були відсутні. При цьому пухирі не мали виходу на поверхню і розташовувалися на глибині 8 мм і більше.

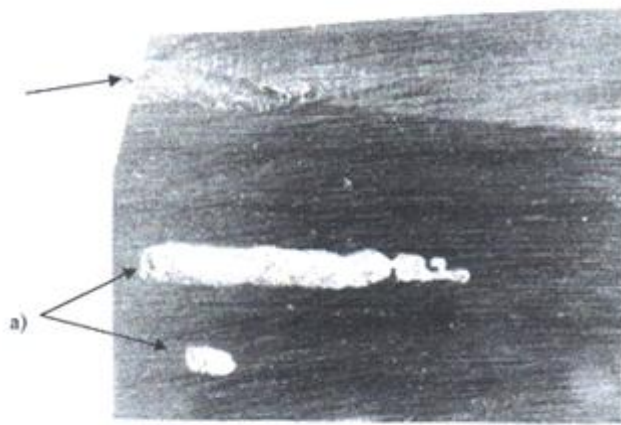


а - по товщині сляба; б - вигляд зверху

Рисунок 3.10 – Загальний вигляд великих газових пухирів в темплетях безперервно литих слябів

Пухирі, що мають вихід на поверхню сляба, тобто що сполучаються з атмосферою, мають окислену поверхню, а у пухирів, що не мають виходу, поверхня не окислена - блискуча (рис.3.11).

Ці факти дозволяють зробити висновок, що трансформаторна сталь в процесі виробництва була насичена неокислювальними газами до такої міри, що при розливанні відбувалося утворення газових пухирів. Одні пухирі сполучаються з атмосферою і гази виділяються з металу, а інші не мають виходу на поверхню слябами залишаються усередині металу.



а - внутрішній, поверхня пухиря не окислена;

б - виходить назовні, поверхня пухиря окислена - темна

Рисунок 3.11 – Пухирі в металі

Поведінку шлакотворної суміші і шлаку в кристалізаторі показав, що на аварійних плавках спостерігається те, що грудкує шлаку і суміші і утворення грубого ранта. Зусилля витягування зросло на 1,0... 1,5 тонни, що свідчить про різке погіршення мастила між кірочкою зливка і мідними стінками кристалізатора. Крім того, в цих умовах можливі "прилипання" кірочки зливка до стінок кристалізатора, оскільки газ, що виділяється, видавлює прошарок з рідкого шлаку між стінками кристалізатора і кірочкою зливка, що утворилася, гази, що виділяються з металу, перешкоджають

нормальному затіканню шлаку в цей проміжок. Витрата шлаку при цьому знижується.

У той же час з металу в шлак кристалізатора продовжують спливати оксиди кремнію і алюмінію, що призводить до збільшення їх концентрацій і до підвищення температури плавлення і в'язкості шлаку, тобто до того, що грудкує шлаку і суміші і утворенню грубого ранта. Нормальний хід розливання утруднюється. Виникають "повисання" і навіть "прориви" кірочки зливка, що призводять до аварій.

З цієї причини були вимушені відмовитися від технології введення азоту присадкою карбаміду.

Наступним варіантом отримання необхідного вмісту азоту в трансформаторній сталі, що став через відсутність азотованого ферохрому основним, було продування металу газоподібним азотом в ковші при обробці плавки на агрегатах доведення (АДС). Встановлено, що одна хвилина продування металу азотом збільшує його утримування на 0,0003...0,0004%.

Тривалість обробки азотом впродовж 5...7 мін забезпечує отримання в готовому металі вміст азоту 0,006...0,008%.

На початку застосування цього способу були відмічені випадки появи газових пухирів в зливках, що, ймовірно, пов'язано з попаданням вологи під час продування азотом. Вологість азоту за результатами контролю відібраних проб складала  $3,57 \text{ р/м}^3$ . З урахуванням зміни "точки роси" при різних температурах можлива поява конденсату в азотній магістралі. Надалі, для видалення конденсату, що утворився, перед обробкою першої плавки в серії, азотну трасу в обов'язковому порядку стали продувати впродовж 8...10 мін.

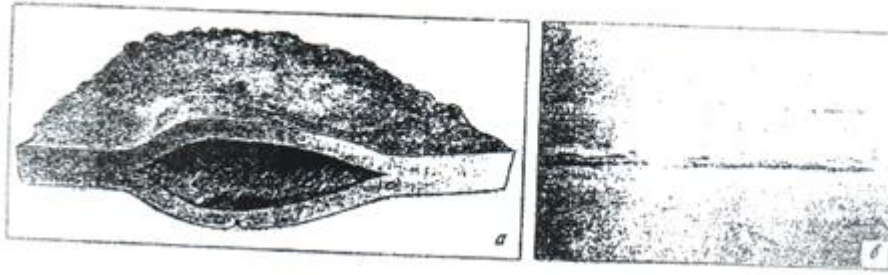
Вплив способу азотування на технологічні параметри розливання представлений в таблиці 3.1 Як випливає з приведених даних, при продуванні металу азотом на АДС істотно понижена вірогідність аварійних

ситуацій при розливанні стали. В той же час, цей спосіб азотування забезпечує необхідний вміст азоту в готовій сталі.

Багаторічний досвід розливання трансформаторної сталі в зливки показав, що найбільш типовими їх вадами є рослість, усадкова рихлість і внутрішні тріщини. При цьому головною причиною рослості вказують виділення водню з металу при твердінні.

У процес виробництва листа з анізотропної сталі також виникає дефект "пухир-здуття", який проявляється, як в проміжній гарячикатаной заготівлі завтовшки 24 мм, так і в холодно катаному трансформаторному листі завтовшки 0,30...0,50 мм. Цей дефект в листі має два різновиди. Перша має вигляд пухирів овальної форми шириною 2,8 мм і завдовжки 4,30 мм. Пухирі розташовуються рядками, витягнутими на десятки сантиметрів, іноді декілька метрів. Другий різновид цього дефекту має вигляд смужок або навіть ряду смужок, іноді сполучених між собою, шириною 3,5 мм і завдовжки десятки сантиметрів, іноді декілька метрів. У ряді випадків здуття має вигляд втягнутих всередину пухирів.

По ширині холоднокатаного листа дефект "пухир-здуття" розташований не хаотично, а досить зосереджено. На 29 зразках листа шириною 750...900 мм можна виділити три області, де зустрічається цей дефект. Передусім - це вісь листа. Друга область розташування дефекту знаходиться в 110... 170 мм від краю листа і, нарешті, третю область, де зосереджена велика частина пухирів - це область, розташована, в основному, на відстані 230...280 мм від краю листа. Таке розташування пухирів досить добре співпадає з розташуванням в зливку V - образній ліквациї ("вусів").



а - в гарячекатаному листі, б - в холоднокатаному листі

Рисунок 3.12 – "Пухир-вздуття":

Внутрішня поверхня пухиря не окислена і має вигляд рваної блискучої поверхні. За своїм характером злам крихкий. На поверхні зламу видно неметалічні включення овальної і гострокутної форми. Для вивчення причин зародження дефекту "пухир-здуття" був зроблений шліф гирла пухиря в листі завтовшки 24 мм. Аналіз металу поблизу гирла показав наявність пір, що не повідомляються між собою, розмір і кількість яких зменшується у міру видалення від гирла і на відстані 60 мм практично зникають. Поблизу гирла пухиря метал покритий сіткою тріщин, які проходять, як по межах, так і через самі зерна. На межі пір і в тріщинах зустрічаються неметалічні включення.

Мікроструктуру холоднокатаного трансформаторного листа завтовшки 0,20...0,50 мм поблизу пухирів завдовжки 15...20 мм і шириною 3...8 мм з цих ділянок були приготовані поперечні і подовжні, відносно напрямку плющення, шліфи. Крім того, у ряді випадків пухирі розкривали і на скануючому мікроскопі вивчали склад і структуру внутрішньої порожнини дефекту.

Виявлені два різновиди внутрішньої поверхні порожнини. Перший різновид має блискучу з металевим блиском поверхню.

Інший різновид внутрішньої поверхні дефекту має матовий наліт, що складається з оксидної неметалічної фази і покриває практично усю внутрішню поверхню порожнини. Склад включень усередині порожнини в

обох випадках представлений, в основному, оксидами кремнію і алюмінію. На зразках без нальоту на блискучій поверхні зрідка спостерігаються включення сульфідів марганцю, заліза і нітриду титану. Крім того, на внутрішній поверхні пухиря зустрічаються окремі локальні виділення вуглецю.

Зразки шліфів забруднені неметалічними включеннями, що мають вигляд роздроблених рядків і розташованих, в основному, в середині листа. Включення пластичні, але з рваними краями.

Подібного типу включення знаходяться як в матриці, так і біля дефектних ділянок. Іноді можна спостерігати перехід рядка неметалічних включення в порожнину з пухирями. Слід підкреслити, що перед гирлом пухиря, як правило, розташовуються рядки включень, які можуть сполучати два пухирі між собою. Іноді ці пухирі повідомляються між собою і сполучені суцільними неметалічними включеннями. Окреме здуття, розташоване уздовж напрямку прокатки, не є ізольованим, вони сполучені між собою мікротріщинами. Рядкові неметалічні включення можуть знаходитися, як в матриці, так і біля дефектних ділянок, розташовуючись над пухирями. На поперечних шліфах зустрічаються пори розміром 10...50 x 10...20 мкм.

Мікроренгеноспектральний аналіз неметалічних включення показав, що включення містять, в основному, з'єднання оксиду кремнію. У невеликій кількості в цих рядках міститься алюміній, титан, кальцій і вуглець, причому, вуглець спостерігається не в усіх ділянках рядкових неметалічних включення.

У здутті знаходиться газ, що складається з 85,3% метану, 14,2% азоту і 0,5% двоокису вуглецю. Кисню, водню і окислу вуглецю в цьому газі не виявлено. Таким чином, як видно із складу проаналізованого газу, усередині дефекту газ полягає, в основному, з метану.

Склад газу в мікропухирях трансформаторного листа завтовшки 0,30...0,50 мм визначали непрямим чином, аналізуючи на вуглець ділянки

трансформаторного листа однієї плавки із закритими пухирями і що не мають дефекту. Встановили, що вміст вуглецю і азоту в металі з пухирями помітно вище, ніж в металі без дефекту.

Хімічний склад газового пухиря в товстому листі, його горючість, підвищений вміст вуглецю в зразках трансформаторного листа з пухирями, наявність виділень вуглецю на внутрішній поверхні пухиря трансформаторного листа дозволяє припускати, що причиною утворення обговорюваного дефекту є хімічна реакція утворення метану, що протікає в товща лист метал. Першопричиною утворення дефекту є скупчення неметалічних включень в сталі. Мікротріщини, пори, що утворюються поблизу цих включень мабуть, є мікропорожнинами, що формують майбутні пухирі [22].

Причиною, що ініціює утворення дефекту "пухир-здуття" в листі трансформаторної сталі, являється скупчення неметалічних включень, поблизу яких утворюються пори - зародки майбутніх пухирів.

Інтерес представляє склад оксидної неметалічної фази поблизу дефектних місць. Як було встановлено, оксиди в листі трансформаторної сталі представлені; в основному, алюмосилкатами. Неметалічні включення в металі, розлитому в наскрізні виливниці, представлені також рядками силікатів, витягнутих уздовж напрямку прокатки і розташованих приблизно по середині листа. Зрідка зустрічаються сульфіди.

У гирлі пухиря, в порах дефекту, окрім алюмосилкатів містяться в невеликій кількості і сульфіди марганцю.

Таким чином, відбракування і якісний склад неметалевих включень поблизу дефектів дозволяє припустити ендогенний характер неметалічних включень, що провокують утворення дефекту "пухир-здуття".

У зв'язку з передбачуваним механізмом утворення дефекту, будь-яке зменшення кількості неметалічних включень і змісту водню в початковому металі повинне позитивно позначитися на якісних показниках трансформаторної сталі.



1. Головною причиною високої частоти аварійних проривів металу при розливанні трансформаторної сталі є поєднання низької механічної міцності з недостатньою пластичністю легованої кремнієм сталі при температурі 1200 °С і вище.

2. Трансформаторна сталь схильна до утворення газових пухирів в процесі кристалізації, що знижує механічну міцність затвердівшої оболонки безперервнолитих слябів і створює умови для аварійного витікання металу через тріщини і розриви, що утворюються в процесі витягування, слябів з кристалізатора. Утворенню газових пухирів сприяють підвищений вміст водню і азоту в трансформаторній сталі, низька швидкість витягування слябів з кристалізатора і особливо - зупинки в процесі розливання.

3. Конкретні випадки аварійних проривів металу при безперервному розливанні трансформаторної сталі виникають внаслідок несприятливого поєднання технологічних і організаційних чинників, серед яких найчастіше зустрічається підвищена (більше 1530 °С) температура металу в проміжному ковші і підвищений (більше 0,0080%) вміст азоту. У створенні несприятливих умов певну роль грають насиченість металу воднем і якість шлакотворної суміші.

4. для розливання трансформаторної сталі доцільно використати шлакотворну суміш, до складу якої входять наповнювачі зі зниженою температурою плавлення.

У грудні 1999 року на заводі м. Крефельд була розлита перша промислова плавка корозійностійкої сталі аустенітного класу масою 36 тонни, і отриманий лист шириною 1100 мм і завтовшки 3 мм 3 березня 2000 року стійко розливається повний ківш місткістю 90 т. Рідка сталь поступає через проміжний ківш на розливний машину. Лист за допомогою витягаючих роликів передається на моталку. Після закінчення розливання рулон розмотується і розділяється на рулони меншої маси. Поверхня листа не має дефектів. У подовжньому напрямі лист за формою відповідає вимогам до гарячекатаного листа, а в поперечному напрямі - до холоднокатаного.

Листи обтискали до товщини 0,8 мм на стані холодної прокатки, відпалювали і оцінювали за діючими стандартами. Поверхневі дефекти були відсутні. Завдяки швидкій кристалізації чистота була вища, ніж зазвичай. В результаті зросла корозійна стійкість. Механічні властивості відповідали властивостям звичайного листа, проте відносне подовження знаходилося на нижній межі. У рамках розвитку робіт за проектом Eurostrip передбачається довести в 2003 році виробництво корозійностійкої тонкополосової сталі на заводі в м. Крефельд до 400 000 тонн.

Для відробітку технології лиття вуглецевих і трансформаторних сталей у рамках проекту Eurostrip використовується дослідно-промислова установка в м. Терні, Італія (фірма Acciai Special! Terni, AST) .

У 1985 році в Австралії фірма ВНР (Broken Hill Proprietary) і японська фірма ІНІ (Ishikawajima Heavy Industries) почали спільні дослідницькі роботи по прямому відливанню тонкої смуги.

На підставі отриманих результатів в 1999 році була введена в експлуатацію установка в м. Порт-Кемб-ла (Австралія) для відливання смуги з маловуглецевих сталей.

У січні 2000 року було підписано угоду між американською фірмою Nucor, фірмами ВНР і ІНІ про створення спільного проекту Castrip LLC з метою впровадження розробок ВНР і ІНІ в США на заводі фірми Nucor в в. Кроуфордсвилл. Проект здійснюється спільно з фірмою Industrial Solution and Servis Group of Siemens and Siemens Energy & Automation, Inc. (Німеччина). Згідно з проектом установка з м. Порт-Кембла перенесена на завод в р. Кроуфордсвилл з відповідною реконструкцією і модернізацією. Фірмам Nucor і ВНР належатиме по 47,5% активів нової компанії, фірмі ІНІ -5%. Фірма ВНР має виняткове право продажу нової технології в Австралії, Новій Зеландії і Південно-східній Азії, фірма Nucor -аналогічним правом в США і Бразилії.

На підставі отриманих результатів в 1999 році була введена в експлуатацію установка в м. Порт-Кемб-ла (Австралія) для відливання смуги з маловуглецевих сталей.

Однією з істотних переваг нового процесу для усього металургійного виробництва високоякісної смуги є менш жорсткі вимоги до якості сталевого лому, що застосовується при виплавці сталей в електропечах.

Необхідно відмітити, що щоб уникнути появи поверхневих тріщин при литві тонких слябів сталевий лом не повинен містити більше 0,15% міді і більше 0,015% олова . При литві тонкої смуги на двохвалковому ливарно-прокатному агрегаті допускається в 3,5 разу більший зміст міді в ломі (до 0,55%) і в 10 разів більший (до 0,16%) зміст олова, що є наслідком високої міри відведення тепла від рідкої сталі в зоні кристалізації і відповідно високих швидкостей кристалізації стали.

Значну роль високої швидкості кристалізації тонкої смуги в умовах розливання стали на двохвалковому ливарно-прокатному агрегаті підтверджують і дані по забрудненості сталі неметалічними (рис.4.13) включеннями.

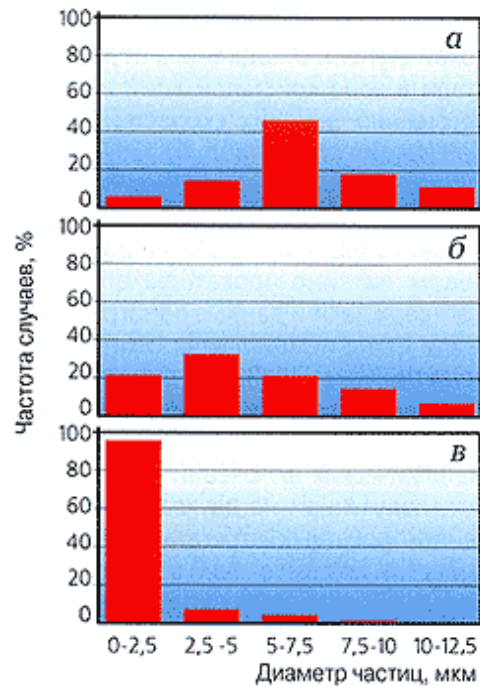


Рисунок 3.13 - Порівняння забрудненості неметалічними включеннями гарячекатаної смуг (корозійностійка сталь), отриманих за традиційною технологією (а), при відливанні тонкого сляба (б) і при відливанні на ливарно-прокатному агрегаті 2-валика (в)

З них виходить, що міра чистоти відносно величини і кількості неметалічних включень вище у смуг, отриманих на двохвалкових ливарно-прокатних агрегатах. Наявність дрібніших включень у поєднанні з меншою мірою хімічної і структурної ліквідації сприяє отриманню при подальшому переділі гарячекатаних і холоднокатаних смуг з кращою структурою і більш високими властивостями, що значно розширює можливості цієї технології для виробництва високоякісних сталей з використанням дешевшого і недефіцитнішого металобрухту.

### 3.4 Особливости практичного застосування тонколистової розливки

Таким чином, узагальнюючи розглянуті дані, можна стверджувати, що сталеплавильні міні заводи для отримання листової продукції можуть бути досить привабливими для інвесторів в силу ряду економічних і технологічних переваг. При цьому у край широкі перспективи для використання в технологічних системах сучасних міні заводів можуть мати двохвалкові МБЛЗ для отримання тонкого листа. При цьому можна стверджувати, що технологія прямого відливання тонкого листа на двохвалковій МБЛЗ виключає такі операції традиційного процесу, як відливання і зачистка слябів, їх повторний нагрів і прокат.

В результаті цього значно скорочуються капітальні вкладення, пов'язані з устаткуванням, і зменшуються енерговитрати. Наприклад, досвід роботи установки в Крефельде показав, що витрата енергії скоротилася на 2,8 ГДж на тону сталі, або на 85%, в порівнянні з традиційною технологією. Значно зменшився викид парникових газів: виділення  $\text{CO}_2$  - на 160 кг/т, або на 85% в порівнянні з використанням для обігріву печей природного газу; виділення  $\text{NO}_x$  - на 207 г/т або на 90%; виділення  $\text{SO}_2$  - на 36 г/тонни або 70%.

У той же час деякі фахівці рахують, що максимальна економія на 1 тонні прокату при виробництві вуглецевих сталей не перевищить 25 доларів США. Проте істотною перевагою нових процесів є різке зменшення витрат на капіталовкладення і можливість його застосування в умовах міні і мікро виробництв.

У кінці 2000 р. германська фірма SMS Demag AG і швейцарська фірма MAIN AG/Marti - Technologie AG підписали ліцензійну угоду про будівництво промислової двохвалкової установки по відливанню тонкого листа з вуглецевих і нержавіючих сталей продуктивністю 300-800 тис. тонн в рік. Установка обладнана системою приводу, що забезпечує швидку заміну валків, а також оригінальним облаштуванням бічних стінок кристалізатора,

що дозволяє змінювати ширину відливаного листа. Увесь процес відбувається в інертній атмосфері. Швидкість розливання складає 40-100 м/хв при товщині листа 1,9-3,1 мм (сталь StW22) і 2,3-3,7 мм (сталь AISI 304). Ширина смуги - 1360 мм[13].

Між тим альтернативні дослідження по створенню ефективних технологій литва тонкого листа ведуться у ряді країн світу (Франція, Південна Корея, Японія, Італія, Англія, Німеччина, Канада). Ймовірно, в найближчому майбутньому дослідження в області безперервного литва тонкого листа будуть зосереджені на двох основних напрямки: поліпшення конструкції функціональних вузлів установки для забезпечення можливості серійного розливання і поглибленому вивченні характеристик литої смуги для повнішого використання її потенціалу.

### 3.5 Технологія розливки та оцінка якості тонкого листа

Оптимальна продуктивність агрегату для литва тонкої смуги оцінюється приблизно в 500 тис. т/рік (рис.3.14). Тому найбільшу вигоду отримують виробники, що мають близькі до вказаного обсяги виробництва сталі, але що не мають станів гарячої прокатки. Низькі капітальні витрати на виплавку сталі і лиття тонкої смуги дозволять цим підприємствам забезпечити увесь технологічний цикл від розливання до обробних операцій, виключивши транспортування проміжного продукту до станів гарячого плющення і скоротивши площі під складські приміщення.

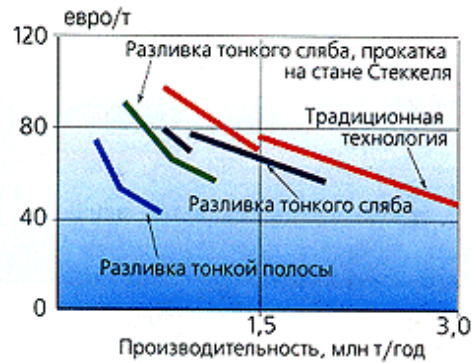


Рисунок 3.14 - Витрати на виробництво г/л смуги різними способами залежно від обсягу виробництва

Продуктивність установки залежить від швидкості лиття і поперечного перерізу литої смуги (рис. 3.15). Збільшення діаметру валків зменшує теплове навантаження і температуру їх поверхні, що дозволяє розливати при тій же швидкості більший об'єм стали. Проте при цьому ускладнюється доставка розплаву в ствір валків і потрібно збільшення розміру дорогих керамічних бічних обмежувачів.

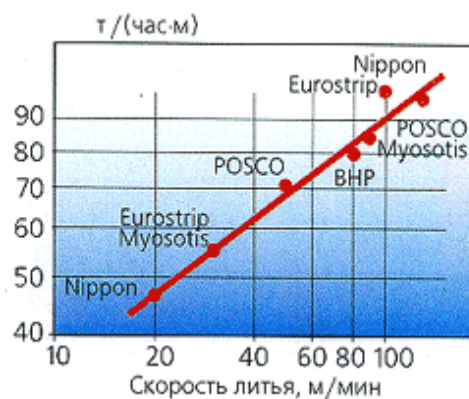


Рисунок 3.15 - Вплив швидкості розливання на продуктивність установки

Збільшення діаметру валків зменшує теплове навантаження і температуру їх поверхні, що дозволяє розливати при тій же швидкості більший об'єм сталі. Проте при цьому ускладнюється доставка розплаву в

ствір валків і потрібно збільшення розміру дорогих керамічних бічних обмежувачів.

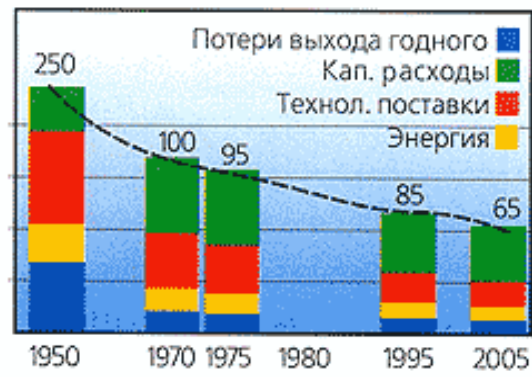
Аналіз конструкцій установок, розрахованих на промислове використання, свідчить про те, що доки немає єдиної думки про оптимальний діаметр валків. Компанія Castrip LCC використовує валки діаметром 0,5 м, Nippon -1,2 м, Eurostrip -1,5 м.

Керамічні бічні обмежувачі - один з найдорожчих матеріалів установки, від їх стійкості і ціни залежить її рентабельність. Обмежувач повинен щільно прилягати до торців валків, бути зносостійким, витримувати величезний перепад температур між холодним торцем валка і розплавом. Цим вимогам задовольняє, зокрема, кераміка на основі нітриду бору. Виробництво якісної смугової сталі з використанням двохвалкового агрегату відкриває широкі перспективи в порівнянні з традиційною технологічною схемою (рис.3.16, 3.17) [23].

На прикладі заводу в м. Крефельд, що не має лінії гарячого прокатки, виразно видно переваги, які дає впровадження машини прямого лиття смуги:

- не потребує машину безперервного лиття слябів;
- немає адьюстажа слябів; виключаються операції гарячої прокатки;
- не потребує проміжний транспорт;
- скорочується час проходження металу між сталеплавильним цехом і цехом холодного плющення.





1950 - лиття і прокат зливків

1970 - лиття і прокат слябів

1975 - лиття і прокат слябів, включаючи гарячий прокат

1995 - лиття і прокат тонких слябів

2005 - лиття смуги

Рисунок 3.16 - Порівняння рівня витрат на виробництво гарячекатаної смуги різними способами %

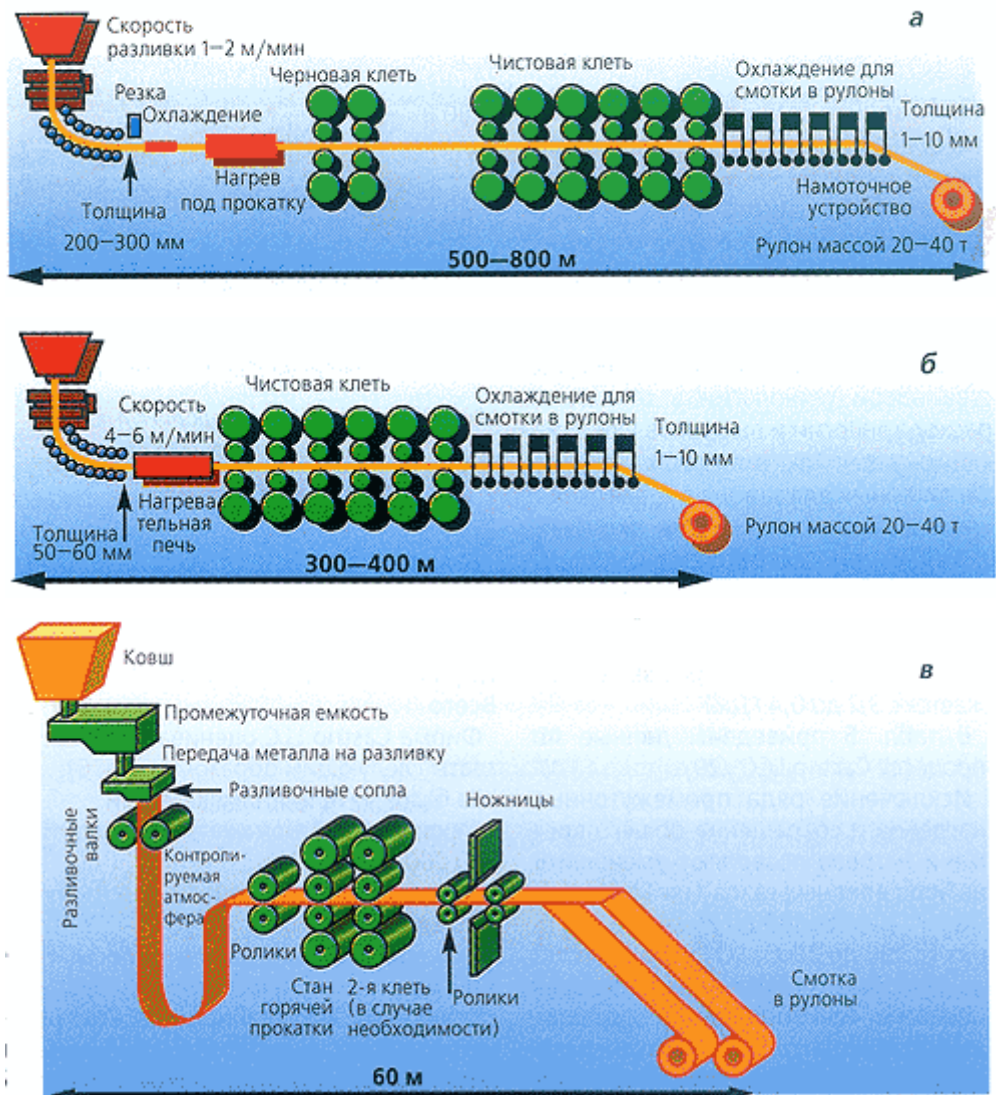


Рисунок 3.17 - Принципові технологічні схеми виробництва гарячекатаної смуги : традиційна (а), відливання тонкого сляба (б), відливка смуги (в)

При цьому значно зменшуються витрати на виробництво гарячекатаної смуги (рис. 3.18)

В результаті сформувалася нова концепція спрямованої діяльності "" Мікрозаводів"" яка дістала умовну назву ""Маркет-завод"" (Marketmill), тобто міні-завод, що повністю задовольняє потреби ринку. Заводи цього типу зможуть робити сталь високої якості за нижчою ціною, ніж при застосуванні

традиційної технології. Для заводів такого типу вже спеціально зареєстровані термін і торгова марка "" Микрозавод""(Micro - mill).

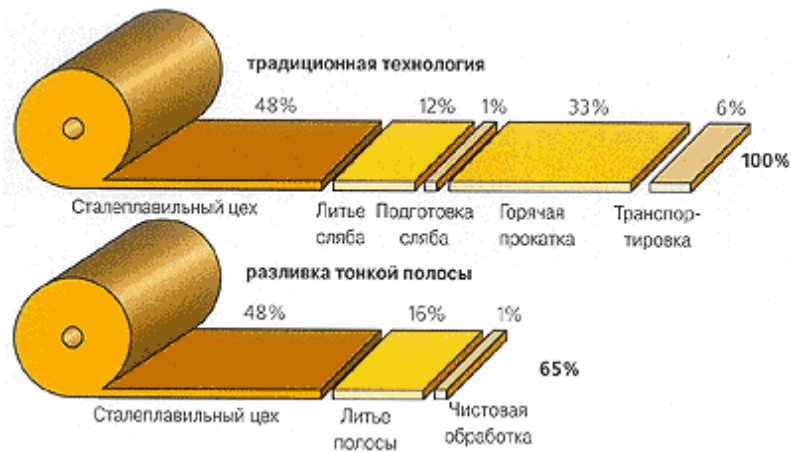


Рисунок 3.18 - Структура витрат при виробництві гарячекатаної смуги за традиційною технологією і при розливанні тонкої смуги

Виявлені істотні переваги нової технології відносно витрати енергії і викидів в довкілля. Так, в типових умовах, характерних для заводу в м. Крефельд, встановлена можливість економії 2,8 ГДж при виробництві 1 тонни сталі, або 85% енергії в порівнянні з традиційним безперервним розливанням і гарячою прокаткою (споживання знижується з 3,2 до 0,4 ГДж)

## ВИСНОВКИ

1. Світове виробництво листа і смуги безперервно зростає, займаючи більше 60% усього обсягу виробництва сталевих продукції, з якої значна частина припадає на частку тонкого листа і смуги. Враховуючи добре відомі тенденції розвитку основних галузей машинобудування і будівництва, можна з упевненістю стверджувати, що споживання тонкого листа і смуги продовжуватиме збільшуватися..

2. При спорудженні установок використовується принцип поєднаних процесів відливання і прокатки листових заготівель великої довжини, тобто двох технологій - безперервного лиття заготівлі, поперечний переріз якої наближається за параметрами до розмірів готового виробу, і безпосереднього поєднання процесу розливання з прокаткою тонкої смуги.

3. Технологія прямого відливання смуги має багато переваг, але передусім вона виключає такі операції традиційного процесу, як відливання і зачистка слябів, повторний нагрів і гаряча прокатка. В результаті значно скорочуються капітальні вкладення, пов'язані з устаткуванням, і зменшуються приблизно на 85% енерговитрати в порівнянні з традиційною технологією.

4. Технологічна схема отримання тонкого листа із застосуванням двохвалкових МБЛЗ дозволяє в 8-10 разів знижувати витрати енергетичних ресурсів, в 40-50 разів скоротити втрати металу в окалину, в 5-10 разів підвищити продуктивність праці, в 10-20 разів понизити викиди парникових газів при істотному зменшенні витрат на капітальне будівництво, що забезпечує економічну мотивацію в частині його подальший розвиток і вдосконалення.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Смирнов А.Н. Непрерывная разливка стали / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.В. Штепан. Учебник. – Донецк: ДонНТУ, 2011.
2. Патент 2218237 РФ, МПК' В 22 D 11/043, 11/124. Способ непрерывного литья заготовок на машине с криволинейной технологической осью / В.Н. Селиванов, А.М. Столяров, Б.А. Буданов (РФ) - №2002126021/02; Заявл. 30.09.2002; Опубл. 10.12.2003 //Изобретения. Полезная модель.-2003.- №34 (Пч.).-С 457.
3. Технология прокатного производства / А.П. Грудев, Л.Ф. Машкин., 1994, С365;
4. Бровман М. Возможности валковых литейно-прокатных агрегатов при создании мини-заводов / М. Бровман, В. Полухин, В. Николаев //«Национальная металлургия», №10 2010. – С.26 - 28.
5. Литейно-прокатные комплексы:<http://specural.com>
6. Николаев, Виктор Алексеевич Исследование процесса бесслитковой прокатки стальной полосы с целью определения эффективных технологических и конструктивных параметров /Диссертация на соискание ученой степени к.т.н., ВАК: 05.16.05 Специальность: Обработка металлов давлением.
7. Столяров А.М. Литейные процессы / А.М. Столяров: Межрег. сб. науч. тр. - Магнитогорск: Изд. МГТУ, 2000. - С. 164 -169.
8. Зиновьев А. В. Моделирование процесса непрерывного литья тонких полос в валковом кристаллизаторе / А. В. Зиновьев, В. С. Савченко, А. А. Бондаренко. – Дніпропетровськ: «Системні технології», 2005. – Т.8: Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Пластична деформація металів. – С. 32–36.

9. Santos C. A. Modelling of solidification in twin-roll strip casting/ C. A. Santos, J. A. Spim, A. Garcia// Journal of Materials Processing Technology. – 2000. – №102(1–3). – P. 33–39
10. Guthrie R.I.L. Mathematical and physical modeling of steel flow and solidification in twin roll (horizontal belt thin strip casting machines)/R.I.L. Guthrie, R.P. Tavares // Inter Conf on CFD in Mineral & Metal Processing and Power Generation. CSIRO. -1997. –P. 41-54.
11. Zgang X. M. Modelling of the micro-segregation of twin-roll thin strip casting/ X. M. Zgang, Z. Y. Jiang, X. H. Liu, G. D. Wang//Journal of Materials Processing Technology. – 2005. №162–163. – P. 591–595.
12. Wang B. Modelling of Melt Flow and Solidification in the Twin-Roll Strip Casting Process / B. Wang, J.-Y. Zhang, J.-F. Fan et al. // Steel Research International. –2009. 80. –№ 3. – P. 218–222.
13. Santos C.A. Modeling of solidification in twin-roll strip casting / C.A. Santos, J.A. Spim Jr., A.Garcia // Journal of Materials Processing Technology. - 2000.- №102.-P. 33-39.
14. Moon H.-K. The status of twin roll strip casting process for steel strip is POSCO/RIST/ H.-K. Moon, D. -K. Choo, T. Kang,K.-S. Kim//Proceeding of 60th Electric Furnace Conference.–San Antonio,2002.–P.499–510.
15. Гридин А. Ю. Математическое моделирование температурного поля металла и валков в процессе валковой разливки-прокатки/ А. Ю Гридин// Обработка материалов давлением. – 2009. – №1(20). – С. 75–83.
16. Hu- X.-D. Simulation of Inelastic Deformation and Thermal Mechanical Stresses in Twin-roll Casting Process of Mg Alloy / X.-D. Hu, D.-Y.Ju// Key engineering materials. – 2007. – №340–341. – P. 877–882.
17. Zapuskalov N. Comparison of continuous strip casting with conventional technology / N. Zapuskalov //1 SI J International. - 2003. - Vol. 43 (M 8). - P. 1115-1127.
18. Wechsler R. The status of twin-roll casting technology / R. Wechsler // Scandinavian Journal of Metallurgy. –2003.–Vol. 32 (Ns 1). – P. 58–63.

19. Legrand H. Stainless steel direct strip casting – brief summary of current status of Eurostrip/ H. Legrand, U. Albrecht–Frueh, G. Stebner et cetera// Proceedings of Dr. Wolf Memorial Symposium. –Zurich,2002.–P.80–89.
20. Moon H.-K. The staturse of twin roll strip casting process for steel strip is POSCO/RIST/ H.-K. Moon, D. -K. Choo, T. Kang,K.-S. Kim//Proceeding of 60th Electric Furnace Conference.–San Antonio,2002.–P.499–510.
21. Сарычев, Н.Ф. Бахчеев, В.Н. Селиванов, А.М. Столяров и др. // Проблемы стального слитка: Труды VII конф. по слитку. -Киев: Техника, 1978. - С. 141.
22. Гридін О. Ю. Математичне моделюванне процесу валкової розливки прокатки / О. Ю. Гридін, В. М. Данченко// *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2008. – №5. – С. 90–94.
23. Баландин Г.Ф. Литье намораживанием. М.: Metallurgizdat, 1962.
24. Новиков И.И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов. М.: Наука, 1966.
25. Барановский Э.Ф. Анализ процесса формирования металлических лент при непрерывном литье намораживанием на валке. / Э. Ф. Барановский, В. А. Пумпур, В. М. Ильющенко, ИТМ НАН Беларуси // *Литье и металлургия*. 2008. №1(45) С. 121