МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ННІ/факультет	Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра	Металургійних технологій
Спеціальність	136 – Металургія
Форма навчання	Денна

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

ПОЛЯКОВА БОГДАНА СТАНІСЛАВОВИЧА
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему Моделювання процесів зниження центральної пористості безперервнолитої заготівлі за рахунок комплексного впливу на процес кристалізації

(повна назва теми)

за матеріалами металургійних підприємств України
(повна назва бази дослідження)

науковий керівник к.т.н., доцент _____ Сусло Н.В
(наук. ступінь, вчене звання) *(підпис)* *(прізвище, ініціали)*

Робота допущена до захисту в ЕК
Протокол засідання кафедри
від 12.06. 2025 р. № 12

Завідувач кафедри _____
(підпис)

д.т.н., професор Д.О. Кассім
Наук. ступень, вчене звання *Ініціали, прізвище*

Кривий Ріг – 2025

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра металургійних технологій

Рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)
Спеціальність 136 – Металургія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ (підпис) **проф. Д.О.Кассім**
(посада, вчене звання , прізвище ініціали)
«10» червня 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА СТУДЕНТА(КИ)

Полякова Богдана Станіславовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра:
Моделювання процесів зниження центральної пористості безперервнолитої заготівлі за рахунок комплексного впливу на процес кристалізації
керівник кваліфікаційної роботи Сусло Наталія Валеріївна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від «04» квітня 2025 р. № 240-ст

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 10.06.2024

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи магістра: *статті, патенти, промислові дослідження*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Аналітична частина: *Аналіз дефектів внутрішньої макроструктури безперервнолитих заготовок і причин їх виникнення. Особливості утворення осьової ліквації у безперервнолитій заготовці.*

4.2. Основна частина:. *Моделювання процесів зниження центральної пористості безперервно литої заготівлі за рахунок комплексного на процес кристалізації*

4.3. Охорона праці: *розглянути основні небезпечні та шкідливі чинники виробництва та методи боротьби з ними.Заходи по пожежній безпеці.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
графічний матеріал повинен в повній мірі відповідати темі диплому та відображати його суть та запропоновані проектні рішення

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	Сусло Н.В., доцент		
2 Основна частина	Сусло Н.В., доцент		
3 Охорона праці	Сусло Н.В, доцент		

7. Дата видачі завдання «05» квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	25.04.2025	
2.	Основна частина	27.05.2025	
3.	Охорона праці	02.06.2025	
4.	Оформлення пояснювальної записки	06.06.2025	
5.	Виконання графічної частини	09.06.2025	
6.	Подання роботи до кафедри	10.06.2025	
7.	Захист роботи в ЕК	18.06.2025	

Студент _____ Поляков Б.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Сусло Н.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ВІДОМІСТЬ дипломної роботи бакалавра

(назва випускної кваліфікаційної роботи)

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	К-сть. листів	№ екз	Примітка
			Документація загальна			
1	А4	ННТІ ДУЕТ 136 ВРБ.ПЗ	Пояснювальна записка	50		
			Слайди			
2	А4	ННТІ ДУЕТ 136 ВРБ. 01,02	Аналіз типів дефектів,			
			утворюваних в безперервнолитих			
			заготовках	2		
3	А4	ННТІ ДУЕТ 136 ВРБ.03	Аналіз факторів, що впливають на			
			утворення дефектів	1		
4	А4	ННТІ ДУЕТ 136 ВРБ. 04,05	Комплексний спосіб поліпшення			
			якості сталевої безперервнолитої заготовки	2		
5	А4	ННТІ ДУЕТ 136 ВРБ.06.07	Концепт цифрового двійника процесу			
			безперервнолитого лиття заготовок	2		
6	А4	ННТІ ДУЕТ 136 ВРБ.08	Висновки	1		

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	ННТІ ДУЕТ 136 Металургія ВРБ		
Розробив		Поляков Б.С.			Відомість випускної роботи	Літ.	Лист	Листів
Керівник		Сусло Н.В.				Д Т	1	1
						ННТІ ДУЕТ каф. Металургійних технологій гр. МЧМ-22ск		
Н.контр.		Кассім Д.О.						
Затв.		Кассім Д.О.						

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Дефекти внутрішньої макроструктури безперервнолитих заготовок і причини їх виникнення	8
1.2 Особливості утворення осьової ліквації у безперервнолитій заготовці	14
Висновки до розділу 1	20
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	21
2.1 Концепт цифрового двійника процесу безперервного лиття злитків	21
2. 2. Моделювання процесів зниження центральної пористості безперервно литої заготівлі за рахунок комплексного на процес кристалізації	27
2.3 Зниження центральної пористості безперервнолитивого злитка за рахунок комплексного впливу на процес кристалізації	34
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	38
ВИСНОВКИ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	46

ВСТУП

Розвиток технічного прогресу в металургії відбувається в умовах конкурентної боротьби на світовому ринку, основними вимогами якого є докорінне підвищення споживчих властивостей кінцевої продукції за одночасного зниження її собівартості.

В даний час у всьому світі особлива увага приділяється вдосконаленню процесу безперервного розливання. Так як у технологічному ланцюжку металургійного виробництва машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) знаходяться між сталеплавильним агрегатом та прокатним станом, ефективність їх роботи багато в чому визначає якість та собівартість кінцевої продукції. Отримання якісної за внутрішньою будовою безперервнолитої заготівлі залежить від таких факторів:

- технології рафінування металу від моменту його випуску із сталеплавильного агрегату до подачі в кристалізатор;
- гідродинаміки металу в проміжному ковші (ПК) та в рідкій лунці кристалізатора;
- технологічних параметрів розливання, що визначають умови затвердіння та кристалізації сталі;
- хімічного складу.

У численних дослідницьких роботах у галузі безперервного розливання стали цим питанням постійно приділяється велика увага, проте до останнього часу металургійні процеси, що протікають у ПК та кристалізаторі, вивчені недостатньо. У зв'язку з цим справжня дисертаційна робота присвячена створенню комплексної технології покращення внутрішньої будови безперервнолитих заготовців низьколегованих сталей на основі наукових положень гідродинаміки та тепломасообміну у великовантажних ПК з внутрішньою фурнітурою, процесів затвердіння, кристалізації та формування ліквацийних зон у безперервних впливах на метал, що кристалізується, надають вирішальний вплив на внутрішню будову безперервнолитих заготовців.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Дефекти внутрішньої макроструктури безперервнолитих заготовок і причини їх виникнення

При великомасштабному виробництві гарячекатаного прокату використовується технологія розливання сталі на МБЛЗ з подальшою прокаткою безперервнолитих заготовок на станах гарячої прокатки.

Метал, що надходить до кристалізатора МБЛЗ, містить рівномірно розподілені за об'ємом неметалеві включення оксидів елементів, що використовуються для розкислення і легування. Це призводить до неоднорідності структури безперервнолитих заготовок, що є причиною виникнення різних дефектів.

Найважливішими з дефектів є:

- тріщини, що класифікуються за розташуванням у тілі безперервнолитої заготовки і за температурною областю утворення;
- пористість або осьова рихлість;
- осьова хімічна неоднорідність;
- поверхневі дефекти.

За наявною методикою дефекти безперервнолитих заготовок визначають за сірчаними відбитками з поверхні темплетів, виготовлених за спеціальною технологією поперечних зрізів заготовок. Дефекти оцінюють суб'єктивно за балами. Якщо оцінка конкретного дефекту перевищує два бали, то такий метал вважається продукцією зниженої якості (некондиційним) і має меншу ціну на ринку готової продукції.

Відсотки від 485 темплетів слябових заготовок з вуглецевих (0,11-0,5% [С]) марок сталі з дефектами внутрішньої будови (два бали та більше), відлитих на МБЛЗ Киснево-конвертерного цеху ВАТ «АМКР» у 2002 р., за виробництва близько 220 тис. т на місяць у період освоєння машини наведено в таблиці 1.1 [1].

Таблиця 1.1

Відсотки від 485 темплетів заготовців з вуглецевих марок сталі з дефектами внутрішньої будови двох і більше балів і поверхні

Вид дефекту внутрішньої будови слябової заготовки	Кількість, шт	Відсоток заготовців
Осьова рихлість	25	5.3
Осьова хімічна неоднородність	93	19.2
Осьова тріщина	5	1.0
Тріщини перпендикулярні широкій грані	7	1.4
Тріщини гніздоподібні	12	2.5
Точкова неоднородність	18	3.7
Поверхневі дефекти	81	16.8

Аналіз отриманих даних показує, що понад 25% внутрішніх дефектів припадає на осьову (центральну) зону безперервнолитої заготовки, причому значна частина дефектів пов'язана з хімічною неоднорідністю.

Усі типи дефектів, особливо тріщини, класифікують за розташуванням у тілі безперервнолитої заготовки і за температурною областю утворення цих дефектів.

Тріщини високотемпературної області кристалізації (800-1200°С) - навколосолідуємі, в основному утворюються по міждендридних просторах і виникають у температурному інтервалі крихкості (ТІХ), що характеризується мінімальною пластичністю розплаву [2].

Присутність будь-яких елементів у сталі, що знижують температуру солідуса, підвищує тріщиночутливість [3].

Осьові внутрішні тріщини - «розслой», розташовані вздовж осьової лінії ліквації, становлять значну небезпеку для суцільності безперервнолитої заготовки. Причиною їх утворення є напруження, що виникають між

зовнішніми і внутрішніми шарами заготовки, коли внутрішня зона охолола, скоротившись в об'ємі.

Вогнищами утворення таких тріщин є неметалічні включення, що ліквідують в осьову зону під час дифузії по межах аустенітних зерен легкоплавких елементів та їхніх оксидів.

В осьовій зоні безперервнолитої заготовки зустрічається підвищений рівень пористості. Цей дефект називається осьовою рихлістю, виникає в разі порушення стабільності розливання, коли підвищується ймовірність виникнення «мостів» - зон закристалізованого металу, які перешкоджають підживленню рідким металом ділянок осьової зони, що ще не затверділи.

На структуру і службово-споживчі властивості безперервнолитих заготовок впливає безліч чинників, вплив деяких із них не з'ясовано досі. У представленій роботі для усунення дефектів в осьовій зоні для одержання високоякісних безперервнолитих заготовок для спеціальних видів гарячекатаної продукції пропонується здійснювати різання безперервнолитих заготовок на мірні довжини під час регульованого незавершеного процесу кристалізації, коли закоркований метал видаляється з осьової зони в рідкому вигляді.

Цілісність структури заготовки при цьому забезпечується обтисненням металу в потужній прокатній кліті, розміщеній на виході МБЛЗ або в розташованій поруч чорновій групі широкосмугового стану гарячої прокатки. Безперервнолиті заготовки за такої технології матимуть високий тепловміст, що забезпечить енергозберігаючий режим широкосмугового гарячекатаного прокату для оборонної, трубної, суднобудівних галузей промислового виробництва.

Універсальна технологічна схема виробництва гарячекатаного прокату з безперервнолитих заготовок з поліпшеною внутрішньою макроструктурою Технологія розливання сталі на МБЛЗ забезпечує найвищу продуктивність і використовується на сьогодні найбільш широко. Одночасно ця технологія є досить витратною, оскільки допускає значну втрату тепловмісту рідкої сталі,

що розливається. Витрати умовного палива з подальшого переділу безперервнолитих заготовок, залежно від організації технологічного процесу, можуть змінитися від 35 до 70 кг умовного палива на тонну залежно від температурного стану заготовок, які надходять у нагрівальні печі станів гарячої прокатки.

Універсальну технологічну схему енергоощадного виробництва гарячекатаного прокату з безперервнолитих заготовок з поліпшеною і звичайною типовою внутрішньою макроструктурою представлено на рис. 1.1.

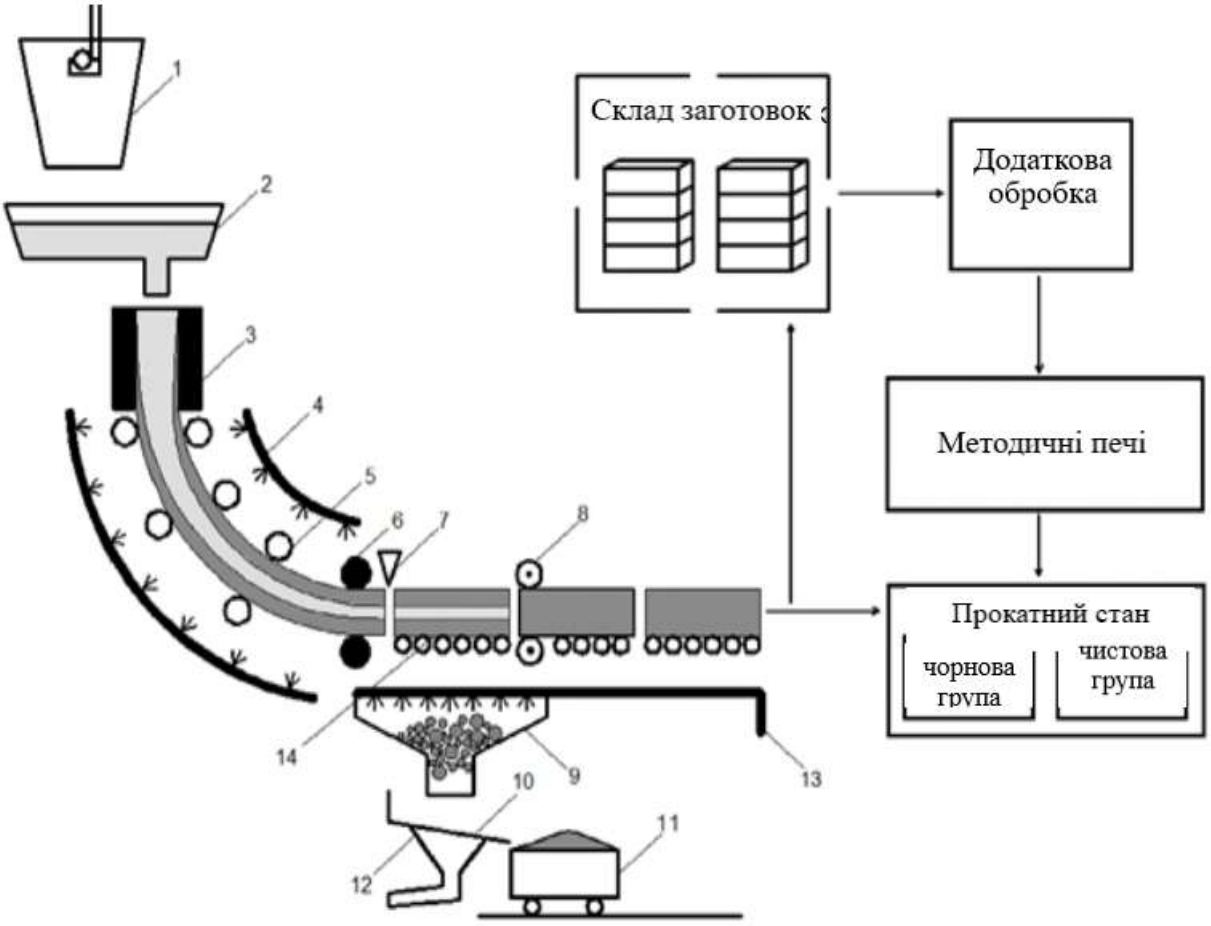

Рис.1.1 Універсальна технологічна схема енергоощадного виробництва гарячекатаного прокату з безперервнолитих заготовок з поліпшеною і звичайною типовою внутрішньою макроструктурою

Метал зі сталерозливного ковша 1 з регульованою витратою подається в проміжний ківш 2 і з нього з регульованою витратою в водоохолоджуваний кристалізатор 3. Безперервнолитий злиток, що витягується з кристалізатора, за допомогою опорно-згинальної валкової системи 5 піддається повітряно-водяному охолодженню в зоні вторинного двостороннього охолодження (ЗВО) 4.

Для забезпечення регульованого і керованого видалення найбільш запороченої рідкої центральної частини безперервнолитої заготовки під час подальшого порізу на мірні довжини системою газокисневого різання 7 використовується прокатна кліть м'якого попереднього обтиску 6.

Вирішення цього складного завдання забезпечується за рахунок спільного функціонування трьох взаємопов'язаних систем управління технологічним режимом:

- система управління подачею і розподілом по секціях водоповітряного охолодження у всій ЗВО;

- система управління швидкістю розливання, тобто швидкістю витягування заготовки з кристалізатора і просування заготовки по всій технологічній лінії розливання МБЛЗ;

- система управління м'яким обтисненням заготовки з незакристалізованою (рідкою) центральною частиною для забезпечення раціонально технологічно обґрунтованого видалення найбільш запороченого металу під дією феростатичного тиску під час порізу заготовок на мірні довжини.

Приймання рідкого металу на всій мірній максимально можливій довжині заготовки здійснюється у водоохолоджуваному металозбірнику 9, воду до якого під тиском подають із водоводу 13. Скрапіни, що утворюються, подаються на класифікатор 10, де відокремлюються від води і завантажуються у вагони 11 для відправки на переплавку.

Охолоджувальна вода з металозбірника надходить після відстою для повторного використання 12.

Розрізані на мірні довжини безперервнолиті заготовки піддаються остаточному обтисненню в прокатній кліті 8 для видалення рідкого металу з центральної частини та додання необхідної поліпшеної макроструктури заготовки по всьому перерізу і довжині безперервнолитої заготовки.

Опора слябової заготовки на всій максимально можливій її довжині здійснюється з використанням двосторонньої автономної валкової системи з центральним роз'ємом для пропуску рідкого металу 14.

У прокатну кліть 8 для остаточного обтиснення на виході з МБЛЗ заготовки подають тільки після повного порізу на мірну довжину, тобто відокремлені від загального злитка.

Безперервнолиті заготовки з досить високим тепловмістом можуть безпосередньо надходити на вхід чорнової групи валків стану гарячої прокатки або на склад заготовок [4].

Остиглі заготовки безпосередньо або після додаткової обробки для усунення поверхневих дефектів зі складу подаються для нагрівання в методичні печі (печі прохідного типу). Після нагрівання заготовки потрапляють на вхід чорнової прокатної групи стану.

Отриманий підкат через проміжний рольганг подають на вхід чистової групи стану, і після регульованого охолодження для отримання необхідної структури отримують готовий продукт у вигляді гарячекатаного прокату.

При зміні умов охолодження можливе отримання безперервнолитих заготовок за традиційною технологією з типовою макроструктурою.

Найбільш доцільним є застосування розглянутої технології виробництва гарячекатаного прокату з поліпшеними експлуатаційними властивостями у складі ливарно-прокатного комплексу при переробці масивних безперервнолитих заготовок з важкодеформованих спеціальних марок сталі [5].

Очевидними негативними факторами розглянутої технології є:

- значні (від 5-7%) втрати металу зі зниженими експлуатаційними властивостями, який раніше вважався традиційним;

- деяке ускладнення конструкції МБЛЗ, пов'язане з додатковим обтисненням і охолодженням або утилізацією некондиційного металу.

Безперечними перевагами розглянутої технології виробництва гарячекатаного прокату є:

- підвищення якості та споживчих властивостей виробленого гарячекатаного прокату;

- скорочення довжини технологічної лінії розливання МБЛЗ;

- вищий тепловміст безперервнолитих заготовок, переданих для подальшої переробки, що сприяє значному енергозбереженню.

Використання розглянутої технології виробництва високоякісного гарячекатаного прокату з суцільнолитих заготовок з поліпшеною макроструктурою вимагає переконливого обґрунтування як з експлуатаційної, так і економічної точки зору. Необхідно при цьому особливо ретельно враховувати конкретні умови виробництва гарячекатаного прокату.

1.2 Особливості утворення осьової ліквації у безперервнолитій заготовці

У безперервнолитих слябах великого перерізу (250-300)х(1550-1650) хімічний склад металу як у перерізі, як і у довжині литих заготовок досить однорідний. Однак в осьовій зоні поперечного перерізу безперервнолитих заготовців спостерігається вузька смуга металу, збагачена домішками та неметалевими включеннями - осьова ліквація. Осьова неоднорідність є специфічним дефектом безперервнолитої заготівлі. На рис.1.2 наведено макроструктуру заготовців з різним ступенем розвитку осьової ліквації.

При значному розвитку цього дефекту, наступне нагрівання та прокатка не усуває його, що призводить до появи осьової неоднорідності в товстолистовому прокаті [1-3].

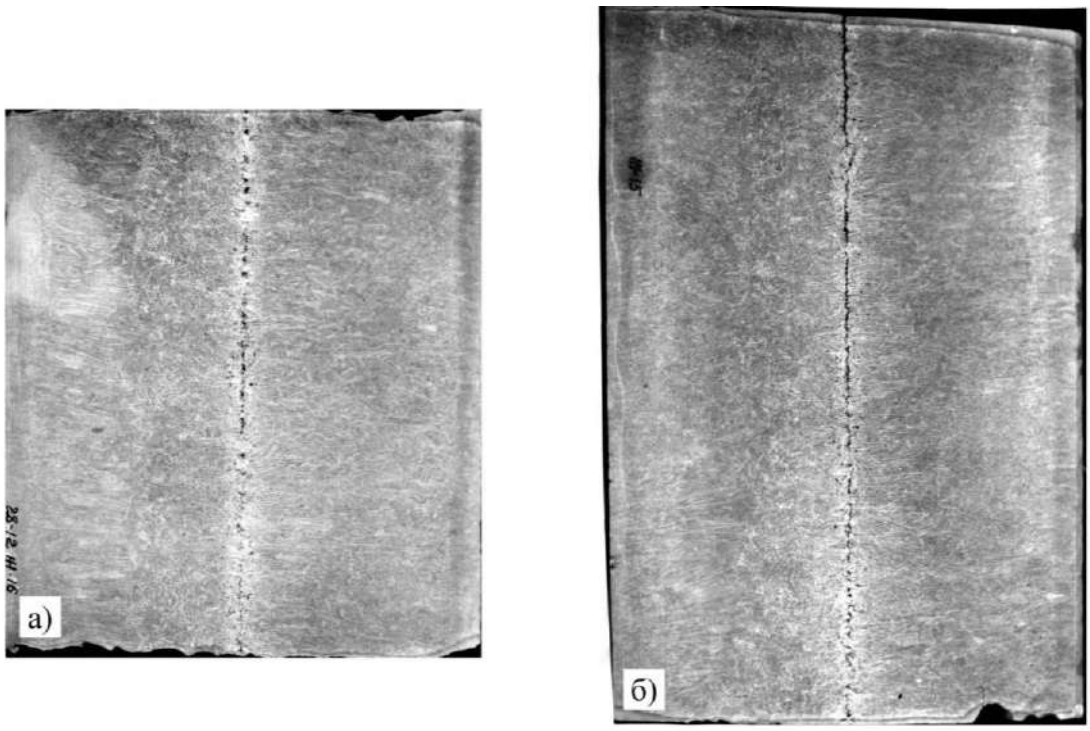

Рис. 1.2 - Макроструктура безперервнолитого заготовки сталі 10Г2ФБ
а - розосереджена осьова ліквація; б – сплошна осьова ліквація

Осьова хімічна неоднорідність, а також осьова пухкість в слябах безперервного розливання обумовлені ліквацийним збагаченням центральної зони злитка в процесі просування фронту затвердіння, усадкою металу осьової зони при затвердінні в замкнутому обсязі, вичавлюванням збагаченого домішками розчину з між металу при його затвердінні або випучуванні під впливом феростатичного тиску затверділої зовнішньої кірки між підтримуючими роликами після змикання фронтів затвердіння, що просуваються від широких сторін заготовки [4-7].

Метою даної є аналіз основних факторів, що впливають на розвиток осьової ліквації та оцінка заходів, спрямованих на усунення цього дефекту.

У процесі кристалізації безперервнолитих злитків зазвичай утворюється три структурні зони:

- кіркова зона (зовнішня) неорієнтованих дрібнозернистих рівноосних кристалів,
- зона орієнтованої структури (стовпчастих кристалів),

- зона великих неорієнтованих рівноосних кристалів (осьова зона).

Дослідження характеристик осьової ліквації в безперервнолитих слябах показало, що ступінь розвитку цього дефекту для умов виливки на одній і тій же МБЛЗ сильно залежить від ширини зони рівноосних кристалів в структурі литого сляба. Була встановлена чітка залежність між шириною зони рівноосних кристалів та осьовою ліквацією у безперервнолитих слябах (рис. 1.3). Розширення зони рівноосних кристалів забезпечує більш рівномірний розподіл сульфідів, неметалевих включень та інших ліквантів за перерізом заготовки, що значно підвищує якість осьової зони заготовки [7-9].

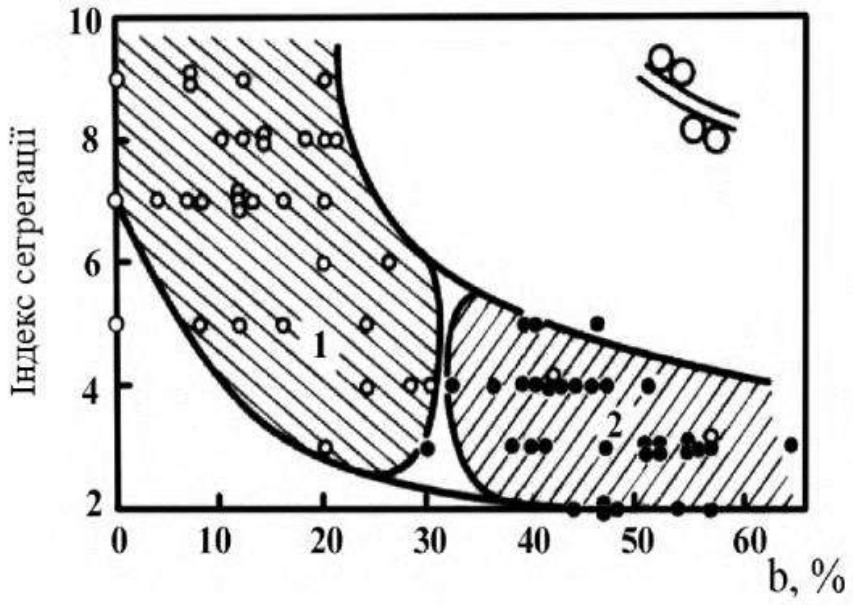

Рис.1.3 – Вплив ширини зони рівноосних кристалів (Ь, %) на індекс осьової сегрегації [7]: 1 – без ЕМП;2 – з ЕМП

Створення умов розливу та кристалізації, які дозволяють досягти максимальної ширини зони рівновісних кристалів, забезпечують підвищення якості осьової зони заготовки. Співвідношення між довжиною трьох основних, структурних зон заготовки залежить від багатьох факторів:

- величини перегріву сталі, що розливається,
- розміру заготовки,

- хімічного складу сталі,

- технологічних параметрів безперервного лиття (лінійна швидкість витягування, щільність зрошення в зоні вторинного охолодження та ін.).

Так, збільшення товщини заготовки з 250 мм до 300 мм (при однаковій ширині 1650 мм) призводить до збільшення відносної протяжності зони рівноосних кристалів для вуглецевої та низьколегованої сталі в 1,2 - 1,5 рази. Це забезпечило зниження осьової хімічної неоднорідності з 1 -З д про -1 бала, осьових тріщин з 1 - 2,5 до 0 - 1 бала [18].

Перехід від стовпчастої структури до рівноосної, тобто. ширина зони рівноосних кристалів, пов'язаний з переходом від послідовної кристалізації до об'ємно послідовної. Можливість утворення ізольованих кристалів у рідкій фазі вимагає зняття перегріву рідкої сталі та утворення деякого переохолодження [10,11]. Чим більша величина перегріву сталі, тим більше часу витрачається на його зняття. За цей час зона стовпчастих кристалів набуває значного розвитку.

Для отримання максимальної ширини зони рівноосних кристалів необхідно забезпечити мінімальний перегрів сталі (рис. 1.4) [9]. Однак помітне зниження температури металу в ковші перед розливом не може бути здійснене через технологічні умови розливання. На більшості МБЛЗ метал розливають на нижній температурній межі. Тому збільшення ширини зони рівноосних кристалів заготовки, нині широко використовують різні методи на сталь. Одним з таких методів є використання витратних і невитратних холодильників [12,13]. Введення в кристалізатор МБЛЗ макрохолодильників у вигляді тонкої сталевої стрічки забезпечує суттєве зниження ступеня осьової ліквації [12]. Розплавляючись у перегрітому металі, така сталева стрічка забезпечує не тільки зняття перегріву рідкого металу, а й служить додатковим джерелом твердих кристалів в осьовій частині заготовки, що твердіє.

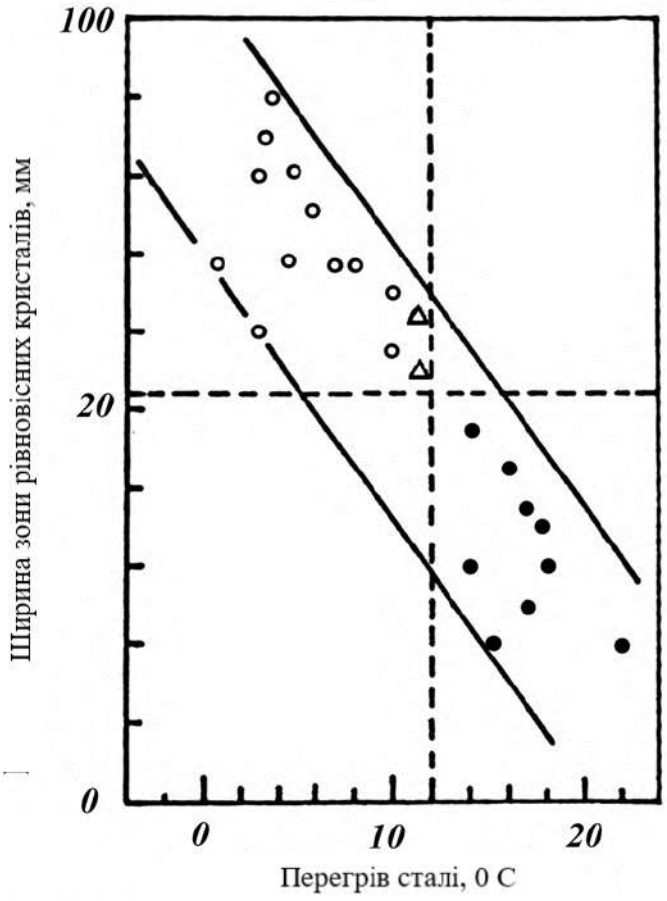

Рис. 1.4 - Вплив перегріву сталі в проміжному ковші на ширину зони рівновісних кристалів.

Рівень сегрегації: • - Високий, Δ - середній, о - слабкий.

Слід, однак, відзначити, що існуючі способи безперервного розливання із застосуванням макрохолодильників мають ряд недоліків, що не дозволяють отримувати гарантовану структуру злитка безперервнолитого, що обмежує їх застосування. Для зниження ступеня осьової ліквації при безперервному розливанні сталі використовують електромагнітне перемішування (ЕМП) незатверділої частини блюму або заготовки [7,14,15].

Накладення електромагнітного поля на заготівлю, що твердне, викликає примусове перемішування розплаву. Це призводить до вигину та придушення зростання стовпчастих дендритів, їх руйнування та утворення вторинних центрів кристалізації як «уламків» гілок дендритів, що відокремилися від

фронту кристалізації. Утворення та дроблення частинок твердої фази призводить таким чином до збільшення числа центрів кристалізації у розплаві.

Правильно організоване ЕМП дозволяє розширити зону рівноосних кристалів, що еквівалентно зниженню температури розливання. Позитивний вплив ЕМП на всі види осьової сегрегації, у тому числі обумовлену утворенням мостів V-подібної сегрегації та сегрегацію, пов'язану з випучуванням широких граней заготовців, можна пояснити меншою схильністю до структури рівноосної структури таких дефектів, т.к. рівноосна структура не утворює мостів, а також ускладнює відсмоктування рідини, збагаченої лікватами, що є причиною V-подібної сегрегації та сегрегації при вириванні заготовців. На рис. 2 показано співвідношення між осьовою сегрегацією і часткою рівноосних кристалів у разі виливки заготовців із застосуванням ЕМП і без нього [7].

Ще одним способом зниження осьової ліквації є введення порошкових дротів (ПП) з рідкісноземельними наповнювачами [16, 17]. Застосування ПП з хімічно активними елементами дозволяє проводити кероване та дозоване введення легуючих компонентів з високим ступенем їх засвоєння. Процес обробки ПП полягає у введенні дозованої кількості компонентів у проміжний ківш на задану глибину обсяг рідкого металу. Обробка сталі силікокальцієм (залишковий вміст Са-0,003-0,004%) дозволяє за рахунок подрібнення дендритної структури та збільшення швидкості кристалізації зовнішніх ділянок заготовки знизити осьову ліквацію, а також сприяє глобуляризації сульфідних та оксидних виділень з утворенням дрібнодисперсних недеформованих оксисульфідів кальцію. Безперервнолитої заготівлі стимулював в останнє десятиліття розвиток принципів «м'якого» обтискання в кінці затвердіння для придушення осьової пористості і ліквації [19]. схеми Обтискання заготовки відбувається в строго фіксованих точках, що вимагає точного контролю температури розливу і режимів охолодження;

Для товстих заготовців розроблена схема [20], при якій зусилля накладається з допомогою встановлених спеціальним способом плоских брусів. Максимальний ефект придушення осьової ліквації досягається при

постійному контролі за дотиком поверхонь брусів і заготовки як у поперечному, так і поздовжньому напрямках.

Розглянуті практичні дані, безумовно, свідчать про перспективність застосування методу динамічного «м'якого» обтискання безперервнолитих заготовок.

Висновки до розділу 1

1. Для зниження осьової ліквації в безперервнолитих слябах необхідно організувати такі умови розливу та кристалізації, які забезпечують отримання максимальної ширини зони рівноосних кристалів.

2. Максимальна ширина зони рівноосних кристалів у безперервнолитий заготовці досягається при мінімальному перегріві сталі в промковші, а також при збільшенні товщини заготовки.

3. Введення в кристалізатор макрохолодильників дозволяє суттєво знизити ступінь осьової ліквації. Однак існуючі способи застосування макрохолодильників мають ряд недоліків, що обмежують їхнє застосування.

4. Правильно організоване ЕМП дозволяє знизити осьову ліквацію. Однак через труднощі підбору параметрів електромагнітних коливань при відливанні широких заготовців ЕМП використовується обмежено.

5. Ефективним способом усунення осьової ліквації є використання «м'якого» обтиснення наприкінці затвердіння заготовки. Однак при цьому значно ускладнюється організація розливання та конструкція зони вторинного охолодження.

6. Простим та досить ефективним засобом зниження осьової ліквації є обробка сталі у промківші ПП з різними наповнювачами. Для підвищення ефективності цього способу потрібно проведення подальших досліджень, спрямованих на оптимізацію складу наповнювачів та режимом введення ПП.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Концепт цифрового двійника процесу безперервного лиття злитків

У процесі безперервного лиття заготовок важливу роль для всього металургійного підприємства відіграє якість безперервнолитої заготовки. Її підвищення без істотних матеріальних витрат є важливою частиною циклу виробництва всіх металургійних підприємств. За різними напрямами: технологічно-інженерним і науковим, ведуться роботи з поліпшення якості безперервнолитих заготовок. Приміром, тільки частина напрямків це - електромагнітне перемішування сталі в області кристалізатора, оптимальний режим якого призводить до поліпшення структури сталі [21]; різні технологічні заходи, до яких належать контроль хімічного складу сталі, забезпечення належного технічного обслуговування [22] та ін.

Інший напрямок підвищення якості злитка пов'язаний з розробкою чисельних моделей, що дають змогу прорахувати тепловий стан злитка в режимі реального часу і методами машинного навчання налаштувати систему охолодження злитка таким чином, щоб мінімізувати кількість тріщин відповідно до бази знань наявних дефектів. Так, наприклад, у роботі [23] пропонується алгоритм, який на основі чисельної теплової двомірної моделі, оцифрованої бази знань і з урахуванням технологічних обмежень дає змогу досягти підвищення якості злитка. Незважаючи на значну кількість робіт, присвячених підвищенню якості злитка, наразі не розроблено комплексної математичної моделі, що охоплює процес розливання сталі від зони кристалізатора до затвердіння злитка, функціонує в режимі реального часу, відображає якість злитка в режимі реального часу, дає змогу в автоматичному режимі розраховувати та змінювати параметри розливання для досягнення оптимальної якості злитка і пов'язана з платформою збирання даних або промисловим інтернетом. Систему, що має подібний функціонал, відповідно до [24] слід назвати Цифровим Двійником процесу безперервного лиття

заготовок і в цій роботі пропонується концепт такої системи. Надалі, для стислості, Цифровий Двійник процесу безперервного лиття заготовок також називатимемо Цифровий Двійник Зливка.

У роботі розглядається програмне забезпечення (ПЗ) для розрахунку теплового стану злитка, для розрахунку параметрів м'якого обтиснення і разом з цим ПЗ для розрахунку гідродинаміки рідкої зони злитка. Результати розрахунків за математичними моделями використовуються для алгоритмів управління м'яким обтисненням, причому моделі працюють у режимі і поза режимом реального часу (офлайн). Впровадження ПЗ з м'якого обтиснення здійснювалося на металургійному підприємстві. Також розроблені системи управління охолодженням вторинною зоною. У роботі [16] описано досвід впровадження системи управління охолодженням на металургійних підприємствах України.

У цій роботі пропонується розглянути процес безперервного лиття заготовок з погляду комплексного математичного моделювання процесу цілком з охопленням управління всіма найважливішими системами процесу безперервного лиття: виходами на управління зоною вторинного охолодження, на управління та контроль якості злитка, на управління м'яким обтисненням злитка в єдиній інформаційній платформі з входами від системи знімання даних або, іншими словами, зі взаємодією всієї системи з платформою інтернету речей.

Цифровий двійник процесу безперервного лиття заготовок, що розглядається, складається з таких базових підсистем: пов'язаної математичної моделі термодеформування та накопичення ушкоджень у матеріалі, яку розв'язують на основі рівнянь нестаціонарної теплопровідності, рівнянь механіки твердого тіла, що деформується, для корочки сталі, що кристалізувалася, рівнянь повзучості та накопичення ушкоджень методами скінченних різниць та скінченних елементів у 1D, 2D і 3D постановках [17-21]; інформаційної платформи збирання даних із дільниць технологічної лінії. Схематично концепт Цифрового Двійника злитка представлений на рис. 2.1.

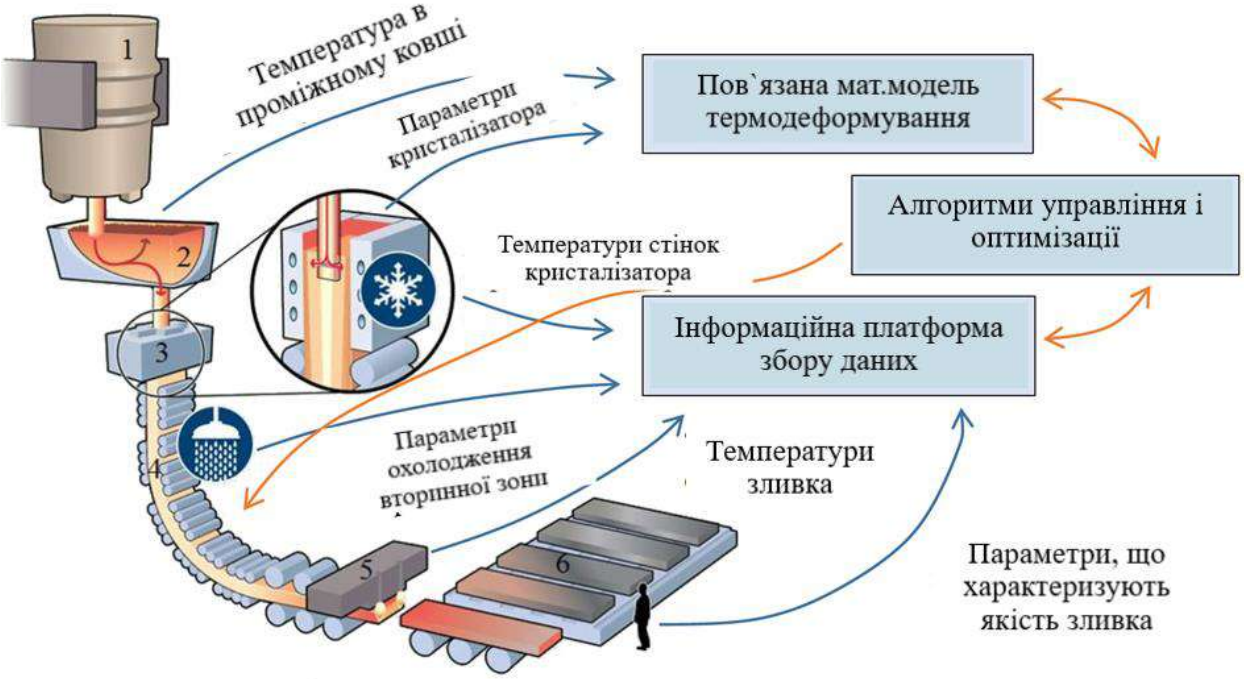

Рис. 2.1. Концепт Цифрового Двійника процесу безперервнолитого лиття заготовок

Кожна з підсистем має такий функціонал.

Пов'язана математична модель у режимі реального часу розраховує тепловий і деформований стан злитка. Залежно від постановки задачі: 1D, 2D або 3D визначають дефекти в центральному перерізі злитка, на поверхні або за внутрішнім об'ємом заготовки: внутрішні гарячі тріщини, поверхневі тріщини, осьова пористість, ліквація в безперервнолитих заготовках. У підсистемі візуалізації, відповідно, відображається розподіл температури по злитку і розподіл дефектів. Поточний стан дефектів порівнюється з якістю злитка, визначеною за дослідженням темплетів. Потім у режимі офлайн алгоритми машинного навчання коригують параметри розливання для відповідності розрахункової та реальної якості злитка. До параметрів розливання, які коригуються, належать швидкість, марка ШУС, витрата в зоні вторинного охолодження. Вхідними даними для комплексної математичної моделі є: стан сталі в промківші: температура, марка; тип ШУС; розміри

кристалізатора; температури в кристалізаторі; вихідне налаштування технологічної осі МБЛЗ.

У зоні кристалізатора в рамках концепту Цифрового Двійника Злитка пропонується використовувати оптоволоконні вимірювачі температур. У світовій практиці оптоволоконні системи поступово починають замінювати класичні термопари через низку переваг [11]. До числа переваг можна віднести надійність і точність роботи, відсутність великої наявності дротів в оптоволоконній системі, а також можливість визначення теплового потоку в режимі реального часу завдяки встановленню оптоволоконного датчика в два шари у напрямку поширення теплового потоку.

Визначення теплового потоку в режимі реального часу дає можливість визначення витрати ШУС, товщини шлакового прошарку між кристалізатором і злитком [17], а також дає змогу розрахувати оптимальні витрати ШУС і тип ШУС для розливаємої марки сталі. Разом з цим, величиною теплового потоку визначаються параметри охолодження в кристалізаторі, що дає більш точні граничні умови для задачі визначення теплового стану злитка.

Інформаційна платформа збору даних слугує для знімання температур у режимі реального часу з різних областей і ділянок лінії безперервного розливання. В інформаційну платформу вбудовуються мат. моделі, алгоритми управління підсистема візуалізації. На рис. 2.2 представлені можливі типи візуалізації результатів.

Підсистеми управління охолодженням у зоні вторинного охолодження та управління «м'яким обтисканням» використовують авторські алгоритми, які вже використовуються на низці металургійних підприємств.

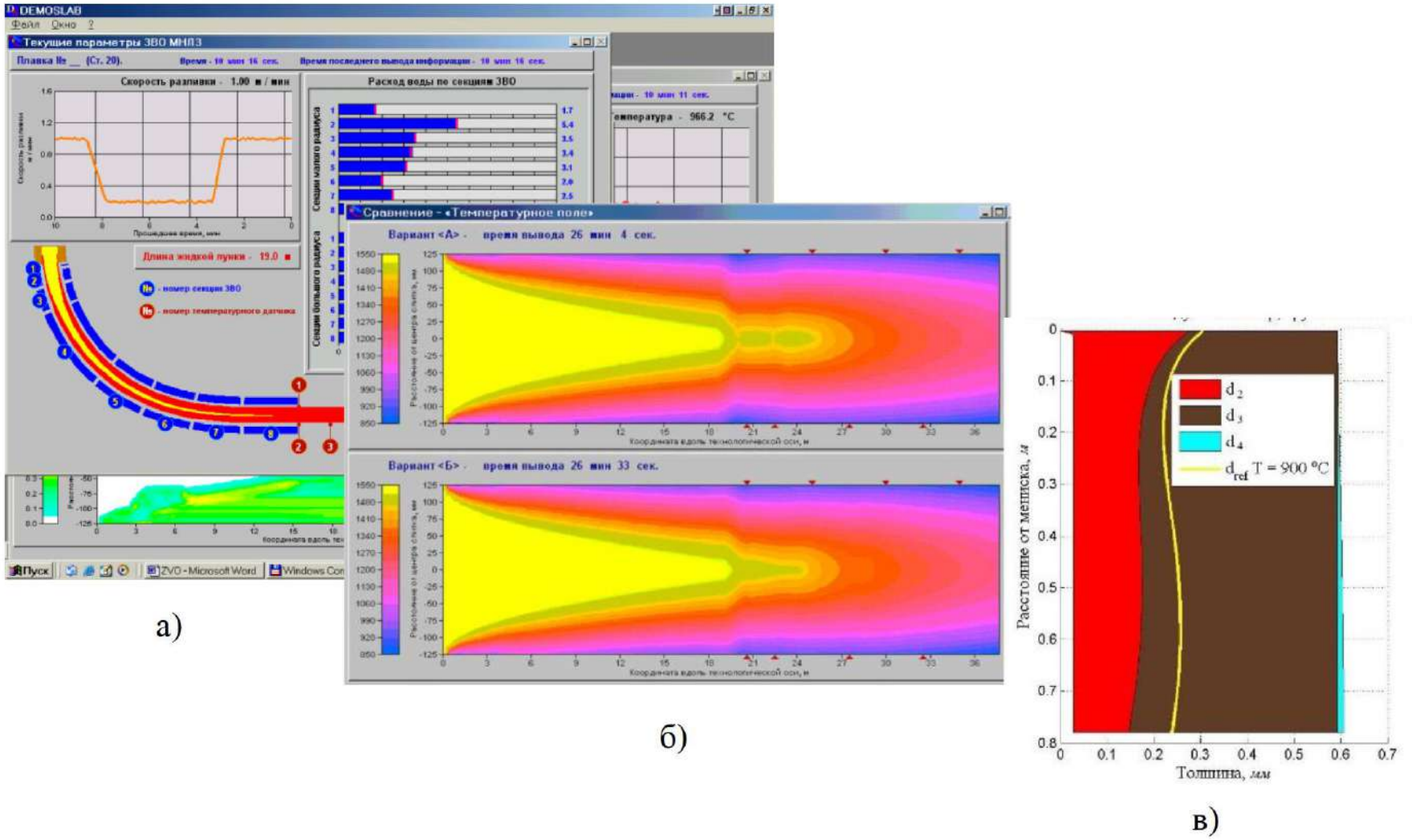

Рис. 2.2 Типи візуалізації підсистем Цифрового Двійника Зливка:

а) – витрати по зонах охолодження; б) - неоднорідність центральної зони, утворення перемичок між рідкими областями;

в) - розподіл розплавленої та кристалізованої ШУС між кристалізатором - праворуч і сталлю – зліва

Динамічне охолодження вторинної зони містить: визначення раціональних розподілів витрат води за секціями зони вторинного охолодження для стаціонарних режимів розливу та алгоритми управління вторинним охолодженням заготівлі при перехідних режимах лиття. У чисельних алгоритмах м'якого обтискання враховуються: усадочні процеси в двофазній зоні затвердів безперервнолитих заготовок на основі рішення рівнянь моделі нелінійно-в'язкого деформування металевих матеріалів у двофазному стані, вплив «м'якого обтиснення» безперервних злитків на зниження осьової пористості одержуваних заготовок.

Таким чином, впровадження на металургійні підприємства Цифрового двійника зливка дозволить вирішити такі завдання:

1) Підвищити якість безперервнолитого зливка та як наслідок підвищити рентабельність виробництва. У перших версіях Цифрового Двійника – система зміни параметрів розливу нестиме рекомендаційний характер, далі, після експлуатації протягом деякого часу, пропонуватиметься автоматична зміна параметрів розливу без участі людського фактора.

2) Впровадити систему динамічного охолодження вторинною зоною, причому зміна витрат у зонах буде пов'язана з граничними умовами у зв'язаній тепловій та деформаційній задачі та з якістю зливка.

3) Впровадити систему м'якого обтискання зливка, яка також буде пов'язана з математичною моделлю злитка та з його якістю.

4) Впровадити в кристалізатор оптоволоконну систему вимірювання температур, що дозволяє в режимі реального часу визначати розподіл температур і теплового потоку в кристалізаторі і знижує експлуатаційні витрати на зміну температурних датчиків, оскільки надійність оптоволоконних вимірювачів істотно вища, ніж класичні термопари, що використовуються в даний час.

5) Використати систему управління подачею ШУС.

6) Впровадити систему управління коливанням кристалізатора.

7) Впровадити систему керування електромагнітним перемішуванням.

2. 2. Моделювання процесів зниження центральної пористості безперервно литої заготівлі за рахунок комплексного на процес кристалізації

Розвиток центральної пористості в безперервнолитих заготівлях в основному пов'язано з наявністю глибокої рідкої лунки, розвиненою стовпчастою структурою, яка ускладнює харчування заготівлі в процесі усадки, а також перешкоджає спливу ньому металевих включень у процесі розливання. Перспективним способом зниження центральної пористості в безперервнолитої заготовки є "м'яке" обтиснення зливка у зоні вторинного охолодження МБЛЗ [21 - 23].

Широке застосування даного способу обмежене, тому що не можна використовувати великі ступеня прожиття через небезпеку розвитку тріщин у заготівлі.

Тому для його реалізації використовуються динамічні системи обтискання [24].

Ціль справжньої роботи — моделювання процесів отримання безперервнолитих заготовок з використанням м'якого обтискання безперервнолитих заготовок.

Аналіз якості безперервнолитих заготовок квадратного і круглого перерізів показав, що у заготовках, що мають розвинену стовпчасту структуру, величина пор і усадкових раковин має більший вплив.

Отже, при зменшенні частки стовпчастих кристалів у безперервнолитій заготівлі величина осьової пористості буде менше, що дозволить знизити необхідний сумарний ступінь обтиснення безперервно тієї заготовки в процесі м'якого обтиснення. У роботі [25] зазначається, що процес обтискання безперервнолитих заготовок МБЛЗ можна інтенсифікувати за рахунок використання зсувних деформацій.

На підставі вищесказаного авторами запропоновано комплексний спосіб поліпшення якості сталевої безперервнолитої заготовки за рахунок пульсаційного продування металу інертним газом в кристалізаторі і зсувного

обтиснення зливка в кінці зони вторинного охолодження МБЛЗ [26] Спосіб пульсаційного продування пропонується використовувати для зниження частки стовпчастої структури в заготівлі. Його можна реалізувати з відсутністю всмоктування розплаву в занурювальну трубу перед подачею інертного газу під тиском у кожному циклі та з вакуумним всмоктуванням розплаву.

Теоретичний аналіз показав, що реалізація пульсаційного продування в кристалізаторі МБЛЗ можлива при витраті аргону до 5 л/хв, частоті пульсацій до 16 Гц, амплітуді коливань тиску газу у системі від 0,08 до 0,15 М Па. При більших значеннях цих параметрів можливе виникнення обурення на поверхні металу в кристалізаторі та погіршення якості поверхні заготівлі.

Експериментальні дослідження формування макроструктури безперервнолитої заготовки при пульсаційному продуванні проводили на лабораторній МБЛЗ для перерізу кристалізатора 30х30 мм та швидкості витягування зливка 1 м/хв. Температура заливання модельного сплаву на основі свинцю 350 °С.

Пульсаційне продування проводили з вакуумним всмоктуванням через трубку діам. 5 мм при глибині занурення 15 мм із частотою пульсацій 0 - 5 Гц, витратою інертного газу 0 - 5 л/хв. Тиск у занурювальній трубі знаходився в межах 0,08 - 0,12 М Па. Для аналізу мікроструктури з одержаних заготовок вирізали поздовжні темплети, шліфували, полірували і труїли в розчині наступного складу: 42 г MoO_2, 29 мл HNO_3, 100 мл H_2O.

Макроструктуру досліджували на приладі МПБ-2 (Х24). І виміряли ширину зони стовпчастих кристалів.

Виявлено, що при витраті газу 4 - 5 л/хв на "дзеркалі" металу в кристалізаторі спостерігаються хвилі.

Аналіз макроструктури підучених зразків показав, що пульсаційне перемішування впливає на протяжність структурних зон злитка.

Зона заморожених кристалів дещо збільшилася, зона стовпчастих дендритів скоротилася. Ширина зони рівновісних макрозерен збільшилася. Це

дає змогу зробити висновок про те, що пульсаційний вплив сприяє збільшенню кількості зародків твердих частинок у розплаві завдяки обламуванню дендритів і вимиванню зародків кристалів від кордону розділу твердої і рідкої фаз в осьову частину злитка, що формується.

Результати експериментів обробляли методом регресійного аналізу в Microsoft Office Excel. Приймаючи витрату аргону (л/хв) за x_1 і частоту пульсацій (Гц) за x_2, одержали рівняння регресії для визначення ширини зони стовпчастої структури (y, %) модельного злитка зі свинцевих сплавів:

$$y = 48{,}07 - 4{,}56x_1 - 0{,}67x_2.$$

Розраховано коефіцієнт кореляції ($R^2 = 0{,}71$), який показав хорошу збіжність результатів; перевірено адекватність моделі. Розрахунковий критерій Фішера F_p 0,41 менший за $F_{табл}$.

На експериментальній установці, що являла собою модель кристалізатора МБЛ3, виготовленого з оргскла, моделювали гідродинаміку безперервного розливання. Для отримання руху рідини, подібного до руху розплавленої сталі в рідкій серцевині заготовки, що твердне, було дотримано рівності критеріїв Рейнольдса, Фруда і Вебера.

Експериментальні дослідження з гідравлічного моделювання пульсаційного продування в кристалізаторі МБЛ3 проводили для перерізу 125х125 мм.

Витрата води (Q' = 10 л/хв) відповідала швидкості витягування сталевої заготовки 2,5 м/хв, воду подавали через канал діаметром 9 мм (реальний розливний стакан має діаметр 14,5 мм, що відповідає масштабу М = 0,6). В якості барботованого газу використовували повітря, яке подавали через трубку діаметром 5 мм, що опускається в кристалізатор під рівень рідини на глибину 90 мм. Витрату газу варіювали від 1 до 5 м/хв.

Для створення вакууму до трубки за допомогою пульсатора приєднували окремий канал, через який відкачували газ. Для моделювання

силікатних неметалевих включень 2 - 4 мм як модельні частинки використовували порошок поліпропілену розміром 0,7 мм і густиною 0,9 г/см^3.

Провели серії експериментів із розливанням рідини відкритим струменем і затопленим струменем через заглибну склянку: без продувки, з продувкою, з пульсаційною продувкою без вакуумного всмоктування в заглибну трубу, з пульсаційною продувкою з вакуумним всмоктуванням у заглибну трубу. Встановлено, що найбільш інтенсивний рух у рідині забезпечується під час пульсаційного продування рідкої лунки з вакуумним всмоктуванням рідини в занурювальну трубу, що в підсумку повинно стимулювати процеси зародкоутворення завдяки руйнуванню зростаючих дендритів під час затвердіння заготовки та запобігати розвитку стовпчастої структури.

Зсувне м'яке обтиснення безперервнолитої заготовки в зоні вторинного охолодження МБЛЗ забезпечується тягне-правильним пристроєм завдяки встановленню пар конічних і циліндричних валків. Процес зсувного обтиснення безперервнолитих заготовок наприкінці періоду затвердіння моделювали в низці експериментів. Порівнювали ступені заліковування центральної пористості за різних схем обтиснення, а також максимальний ступінь обтиснення до появи тріщин у заготівлі наприкінці періоду затвердіння.

Для визначення ступеня заліковування осьового дефекту провели лабораторні дослідження з моделювання обтиснення безперервнолитих заготовок зі свинцевих сплавів. Моделювали обтиснення в циліндричних і конічних валках за різних ступенів обтиснення і кутів зсуву. Конічні валки реалізовували зсувну схему обтиску. Для моделювання використовували сплав Pb-Bi, з якого виготовляли зливки перетином 17х17 мм. У модельних заготовках у центральній частині просвердлювали отвори діаметром 2 мм для моделювання центральної пористості.

Модельний злиток обтискали у два проходи. У перший прохід злиток обтискали зі зсувом і отриманням поперечного перерізу модельного злитка у

вигляді паралелограма, у другому проході відновлювали геометрію модельного злитка, його розміри після обтиску вимірювали штангенциркулем, розміри отвору - за допомогою мікроскопа МПБ-2 з ціною поділки 0,05 мм.

Поведінку штучного дефекту описували за допомогою коефіцієнта закриття отвору, що являв собою добуток коефіцієнта витяжки і відношення площ поперечного перерізу отвору до і після деформації [18]:

$$\psi = \mu F'_{\text{отв}} / F^0_{\text{отв}},$$

де $F`_{отв}$ і $F^0_{отв}$ - площі отвору до і після сумарного обтискання;

μ - коефіцієнт витяжки.

Коефіцієнт Ψ показує співвідношення між зменшенням площ поперечних перерізів дефекту і заготовки; при Ψ > 1 площа перерізу дефекту зменшується менш інтенсивно порівняно з площею перерізу заготовки, а усунення несплошностей недосяжне. Повному заліковуванню відповідає Ψ = 0.

Коефіцієнт витяжки визначали за формулою:

$$\mu = F^0_{сл} / F`_{сл}$$

$F^0_{сл}$ і $F`_{сл}$ - площі злитка до і після сумарного обтиснення. Далі за отриманими значеннями розраховували площу, коефіцієнт витяжки модельного злитка і коефіцієнт закриття отвору.

Аналіз результатів експериментів показав, що повне закриття отвору діаметром 2 мм (Ψ = 0) за відсутності зсувного обтиску досягається за умови коефіцієнта витяжки μ = 1,24. За зсувного обтиску повне закриття отвору відбувається за меншого коефіцієнта витяжки (за a = 30°, μ = 1,13).

Для обробки результатів моделювання провели регресійний аналіз у Microsoft Office Excel.

Отримали рівняння регресії для визначення коефіцієнта закриття отвору Ψ від кута зсуву a модельного злитка і коефіцієнта витяжки μ модельного злитка:

$$\Psi = 5{,}26 - 0{,}02\,a - 4{,}15\mu.$$

Визначили коефіцієнт кореляції $R^2 = 0{,}89$ (розрахунковий критерій Фішера $F_p = 0{,}53$, що менший за $F_{табл}$). Для різних коефіцієнтів витяжки μ будували графіки залежності коефіцієнта закриття отвору Ψ від величини кута зсуву *a* (рис. 2.3).

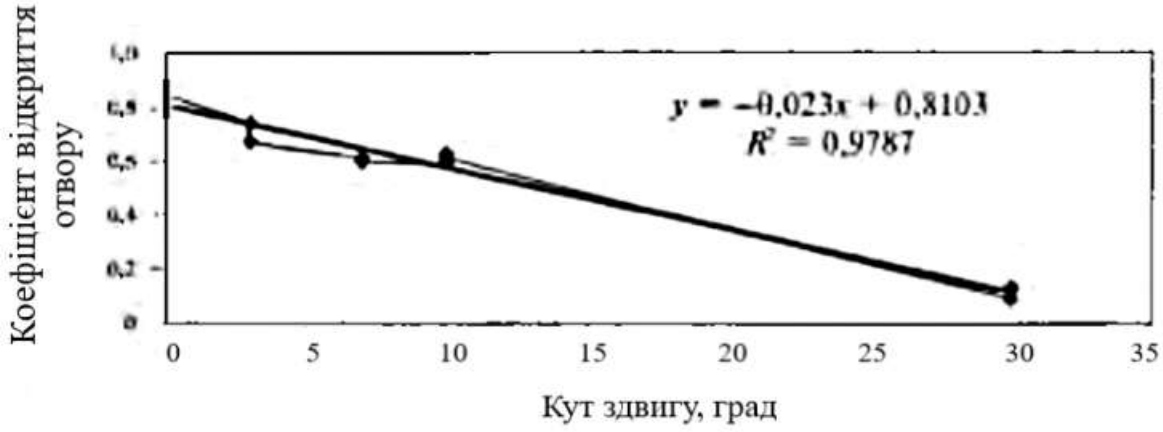

Рис.2.3 Залежність коефіцієнта закриття отвору у від кута зсуву а модельного злитка зі свинцевих сплавів за μ= 1,06

На підставі проведених експериментів можна однозначно зробити висновок, що зсувне м'яке обтиснення забезпечує більш ефективне заліковування центральної пористості в заготовках порівняно з лінійним.

На наступному етапі досліджень визначали максимально можливий ступінь зсувного обтиснення модельного злитка зі сплаву системи Pb-Bi наприкінці періоду затвердіння без появи тріщин. Для порівняння отримували зливки без обтискання. Для проведення експерименту використовували пристрій для моделювання зсувного обтиснення заготовок із жорсткою серцевиною під час виробництва безперервнолитої заготовки [17]. Розміри металевого кристалізатора 60х60х40 мм. Товщина рухомих плит 5 мм.

Товщина клинів під час проведення експерименту змінювалася від 2 до 10 м, що забезпечувало різні величини кута зсуву. Використання клина

товщиною 10 мм відповідало куту зсуву 18°, товщиною 2 мм - куту зсуву 5°. Час прикладання обтиску визначали за допомогою хромель-копелевої термопари, встановленої в центрі кристалізатора. Обтискання здійснювали за 330 °С, що відповідало мінімальному перегріву металу над лінією ліквідування і забезпечувало рідку серцевину в зливку.

Після проведення експерименту досліджували макроструктуру злитка з використанням мікроскопів МПБ-2 (х24) і USB Micro. Дослідження макроструктури модельних злитків показало, що внутрішні тріщини в центральній зоні заготовки відсутні при ступені деформації до 5 % і малих кутах зсуву (≤ 15 - 18^0). При ступені деформації > 5 % і кутах зсуву - 18 ° періодично спостерігається розвиток тріщин, які виходять на поверхню злитка, що можна пояснити втратою пластичності сплаву.

Висновки

1. Запропоновано комплексний спосіб поліпшення якості безперервнолитої заготовки за рахунок пульсаційного продування металу інертним газом у кристалізаторі МБЛЗ і зсувного обтиснення безперервнолитої заготовки в зоні вторинного охолодження МБЛЗ.

2. Фізичним моделюванням виявлено характер впливу пульсаційного продування металу інертним газом на формування металу, що кристалізується, і встановлено залежність ширини стовпчастої зони кристалів модельної заготовки від витрати і частоти пульсацій інертного газу.

3. Фізичним моделюванням зсувного обтиску безперервнолитих заготовок у зоні вторинного охолодження МБЛЗ на модельних злитках виявлено механізм заліковування дефекту «центральна пористість» і встановлено, що ступінь заліковування дефекту за зсувного обтиску вищий, ніж за лінійного.

4. На модельних заготовках встановлено, що використання зсувного обтиснення безперервнолитої заготовки з рідкою серцевиною для зниження

осьової усадочної пористості можливе за малих ступенів обтиснення і кутів зсуву.

2.3 Зниження центральної пористості безперервнолитивого злитка за рахунок комплексного впливу на процес кристалізації

У безперервнолитивих злитках в силу технологічних особливостей процесу безперервного розливання спостерігається фізична і хімічна неоднорідність у вигляді центральної (осьової) пористості, ліквації, немеметалевих включень. Розвиток осьової пористості в основному пов'язаний з наявністю глибокої рідкої лунки, розвиненою стовпчастою структурою, яка ускладнює живлення злитка в процесі усадки і перешкоджає спливанню неметалевих включень.

Перспективним способом зниження осьової пористості в безперервнолитивому злитку є «м'яке» стискання злитка в зоні вторинного охолодження МБЛЗ [21 – 23].

Однією з проблем широкого використання даного способу є те, що він не дозволяє використовувати великі ступені стиснення через небезпеку розвитку тріщин у злитку. Тому для його реалізації використовуються динамічні системи стиснення заготовок, що складаються з великої кількості блоків для м'якого стиснення [24].

Були проведені дослідження з підвищення ефективності способу м'якого стиснення безперервнолитих злитків.

У процесі виконання досліджень було проведено аналіз якості безперервнолитих заготовок квадратного і круглого перетину, вироблених на підприємствах ПФ ТОВ «Кастинг» і ПФ ТОВ «KSP steel» з 2006 по 2010 рік, який виявив, що в злитках, що мають розвинену стовпчасту структуру, величина пор і усадочних раковин має більш високе значення. Отже, при зменшенні частки стовпчастих кристалів у безперервнолитих злитках величина осьової пористості буде меншою, що дозволить зменшити

необхідний сумарний ступінь стиснення безперервнолитивого злитка в процесі м'якого стиснення. Також літературний огляд показав, що процес стиснення безперервнолитивих заготовок в МБЛЗ можна інтенсифікувати за рахунок використання зсувних деформацій [25].

На підставі вищесказаного, автором запропоновано комплексний спосіб поліпшення якості сталевого безперервнолитивого злитка за рахунок пульсаційної продувки металу інертним газом в кристалізаторі і зсувного стиснення злитка в кінці зони вторинного охолодження МБЛЗ [26].

Спосіб пульсаційної продувки пропонується використовувати для зниження частки стовпчастої структури в злитку. Він може реалізовуватися в декількох напрямках: з відсутністю всмоктування розплаву в занурювальну трубу перед подачею інертного газу під тиском в кожному циклі і з вакуумним всмоктуванням розплаву.

Теоретичний аналіз показав, що реалізація пульсаційної продувки в кристалізаторі МБЛЗ можлива при витраті аргону до 5 л/хв, частоті пульсацій до 16 Гц, амплітуді коливань тиску газу в системі від 0,08 до 0,15 МПа. При великих значеннях цих параметрів можливе виникнення збурення на поверхні металу в кристалізаторі та погіршення якості поверхні злитка.

Експериментальні дослідження формування макроструктури безперервнолитивого злитка при пульсаційній продувці проводилися на лабораторній МБЛЗ для перетину кристалізатора 30 Х 30 мм і швидкості витягування злитка 1 м/хв. Температура заливки модельного сплаву 350 ^{0}С. Пульсаційна продувка проводилася з вакуумним всмоктуванням через трубку діаметром 5 мм при глибині занурення 15 мм з частотою пульсацій 0 – 5 Гц, витратою інертного газу 0 – 5 л/хв. Тиск у занурювальній трубі знаходився в межах 0,08 – 0,12 МПа.

Після проведення експериментів проводили макроструктурний аналіз. З отриманих злитків вирізали поздовжні темплети, шліфували, полірували і піддавали травленню розчином, що мав склад: 42 г MoO_2, 29 мл HNO_3, 100 мл H_2O.

Дослідження макроструктури модельних злитків показало, що внутрішні тріщини в осьовій зоні злитка відсутні при ступені деформації до 5% і малих кутах зсуву (не більше 15 – 18 ^{0}). При ступені деформації понад 5% і кутах зсуву близько 18 ^{0} періодично спостерігається розвиток тріщин, що виходять на поверхню злитка, що можна пояснити втратою пластичності сплаву.

Таким чином, на підставі результатів фізичного моделювання на свинцевих модельних сплавах встановлено, що використання зсувного стиснення безперервнолитивого злитка з рідкою серцевиною з метою зниження осьової усадочної пористості можливе при малих ступенях стиснення і кутах зсуву.

Короткі висновки:

1. Запропоновано комплексний спосіб поліпшення якості сталевого безперервнолитивого злитка за рахунок пульсаційної продувки металу інертним газом у кристалізаторі МБЛЗ і зсувного стиснення безперервнолитивого злитка в зоні вторинного охолодження МБЛЗ .

2. З використанням критеріїв подібності виконано гідравлічне моделювання руху неметалевих включень у кристалізаторі МБЛЗ при пульсаційній продувці інертним газом, встановлено механізм їх видалення з розплаву, що полягає в тому, що неметалеві включення залучаються разом з подаваним газом в утворюються вихори, де вони мають можливість коагулювати і в подальшому спливати в пристінковій області кристалізатора.

3. Фізичним моделюванням, виявлено характер впливу пульсаційної продувки металу інертним газом на формування кристалізується металу і встановлена залежність ширини стовпчастої зони кристалів модельного злитка від витрати і частоти пульсацій інертного газу.

4. Фізичним моделюванням зсувного стиснення безперервнолитих заготовок у зоні вторинного охолодження МБЛЗ на модельних злитках виявлено механізм заліковування осьових усадочних дефектів і встановлено, що ступінь їх загоєння при зсувному стисненні вищий, ніж при лінійному.

5. На модельних злитках встановлено, що використання зсувного стиснення безперервнолитивого злитка з рідкою серцевиною з метою зниження осьової усадочної пористості можливе при малих ступенях стиснення і кутах зсуву.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

Чорна металургія є найважливішою галуззю важкої промисловості, яка охоплює весь процес від видобутку і підготовки сировини до випуску готової продукції. Продукція чорної металургії має експертне значення і служить основою для розвитку машинобудування, мостобудування, будівництва. Україна як провідний виробник чорних металів стабільно входить до п'ятірки країн-лідерів за обсягами виплавки сталі в світі, складаючи конкуренцію Китаю, Японії, Індії та США [27].

З 1,5 тис. підприємств, що входять до структури чорної металургії України, більше половини є містоутворюючими [27]. Чорна металургія має безліч міжгалузевих зв'язків і є фундаментом для розвитку економіки країни, тому стратегічні плани державного рівня активно націлені на підвищення конкурентоспроможності цієї галузі. Підприємства галузі постійно модернізуються, застосовують інновації переважно в таких напрямках виробництва, як доменне, сталеплавильне, прокатне.

Рівень інноваційної активності організацій промислового виробництва в цілому поки що невисокий – 9,2%, але це вище, ніж у сфері послуг (6,2%), сільському господарстві (3,4%) і будівництві (1,1%) [27]. При цьому акцент робиться на інновації, що стосуються оновлення технологій, зниження ресурсоємності, поліпшення екологічних показників [27].

Відзначимо також важливий факт, що чорна металургія вважається однією з найнебезпечніших галузей. Головним питанням на сьогоднішній день є підвищення ефективності поряд з вирішенням проблем в області охорони здоров'я та безпеки праці.

Посилення уваги до проблеми охорони праці пов'язане, перш за все, з результатами проведення аналізу галузі чорної металургії за такими факторами, як аварійність, травматизм, смертність, плинність кадрів.

Слід також звернути увагу на те, що зросла не тільки кількість випадків травматизму, а й тяжкість травм, у зв'язку з чим потерпілий працівник втрачає

працездатність на більш тривалий термін або в окремих випадках стає непрацездатним за станом здоров'я. Серед найбільш поширених причин виникнення нещасних випадків є травмування під час експлуатації підйомно-транспортних засобів, що становлять до 25% всіх випадків травматизму, та опіки розплавленим металом або шлаком, майже 20% всіх випадків травматизму (рис. 3.1) [26].

Рис. 3.1. Основні причини виникнення нещасних випадків на виробничих підприємствах галузі чорної металургії [26]

У зв'язку з цим у галузі спостерігається велика плинність кадрів. Згідно з джерелом [27], щорічно близько чверті всіх працівників від середньооблікової чисельності як приймаються на роботу, так і вибувають, причому число останніх завжди вище. Така ситуація призводить до гальмування процесів виробництва, скорочення кваліфікованих працівників в основних і допоміжних службах, необхідності витрат на пошук і навчання персоналу, в тому числі і підготовки персоналу до роботи на небезпечному підприємстві.

На підставі вищенаведених даних можна зробити наступний висновок: галузь чорної металургії має ряд проблем у сфері промислової безпеки, пов'язаних із зростанням кількості смертей на виробництві, збільшенням тяжкості травм і зростанням кількості групового травматизму, а також великою плинністю кадрів. Перш ніж перейти до способів нівелювання перерахованих факторів на виробничий процес, розглянемо проблему, спираючись на конкретну вибірку компаній галузі чорної металургії.

У світовій практиці одним з найважливіших показників стану охорони праці є коефіцієнт частоти травматизму (LostTimeInjuryFrequencyRate або скорочено LTIFR). Він розраховується як кількість випадків виробничого травматизму з втратою робочого часу на мільйон людино-годин за календарний рік. Коефіцієнт LTIFR має практичне значення для бізнесу, оскільки використовується для оцінки частоти виробничого травматизму з метою здійснення контролю та розробки заходів щодо підвищення рівня промислової безпеки на підприємствах.

Усі чинники виникнення нещасних випадків та аварійності на металургійних та коксохімічних підприємствах можна поділити на внутрішні та зовнішні. На зовнішні чинники, наприклад, природного типу, такі як стихійні лиха, масові епідемії, вплинути металургійним компаніям практично неможливо, як і прогнозувати. Однак фактори такого типу рідко стають загрозами безпеці діяльності виробничих підприємств. Набагато більший вплив на безпеку роботи співробітників мають внутрішні чинники, з якими всі

промислові підприємства можуть і повинні боротися. Аналізуючи виробничий травматизм металургійних підприємств, було виділено чотири групи зовнішніх факторів, які подано у табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Зовнішні фактори виробничого травматизму підприємств чорної металургії

Організаційні	Технічні	Санітарно-гігієнічні	Психофізіологічні
плоха організація робочих дільниць	несправність обладнання	шум	перевтома
непоінформованість працівників про техніку безпеки	погана ізоляція кабелів електричного струму	вібрація	монотонність праці
відсутність засобів індивідуального захисту	знос конструкцій	погана освітленість	необхідність постійного перемикання на різні види робіт
відсутність контролю за виробничим процесом	відсутність чи недосконаліть огорож	запиленість повітря	перенавантаження
порушення технологічного регламенту	відсутність запобіжних пристроїв, світлозвукових сигналізацій	загазованість повітря	погане самопочуття
порушення правил по охороні праці	недостатня механізація важких робіт	погана вентиляція приміщень	невідповідність анатомо-фізіологічних та психічних особливостей організму працівника характеру виконуваних робіт
недостатній рівень професійної грамотності	незадовільний технічний стан будівель, споруд та їх елементів	вплив шкідливих речовин	стресовий стан
нехтування планово-попереджувальним ремонтом будівлі та обладнання	недосконаліть технологічних процесів	Вплив випромінювань	невпевненість у діях через недостатнє навчання

Таким чином, виникнення виробничих травм на підприємстві залежить від стану робочого місця працівника, виду його трудових обов'язків, умов праці, а також психологічного та фізичного стану працівника. Єдиної

загальноприйнятої класифікації факторів виробничого травматизму на сьогоднішній день не існує, однак формальний поділ причин виникнення нещасних випадків дозволяє коректніше оцінити ситуацію, що склалася, вжити необхідних заходів щодо її виправлення та виявити способи зниження травмонебезпечних та аварійних ситуацій. У той самий час, використовувані способи зниження виробничого травматизму і надзвичайних ситуацій, мають впливати як на окремо взяту групу чинників чи причину, а й у всі аспекти забезпечення безпеки співробітників одночасно, з метою досягнення синергетичного ефекту.

Далі, перейдемо до розгляду використовуваних способів зниження виробничого травматизму на підприємствах чорної металургії виявлення недоліків і прогалин у забезпеченні безпеки роботи персоналу.

Вся політика великих металургійних холдингів в галузі охорони праці та промислової безпеки зводиться до принципів, що будь-які аварії та надзвичайні ситуації на підприємстві можуть і повинні бути попереджені, система промислової безпеки невіддільна від загальної бізнес-системи, всі виробничі процеси розвиваються і вдосконалюються з дотриманням правил ПБОТіЕ, а так високих показників безпеки праці, щоб стати кращим серед інших компаній своєї галузі.

Таким чином, незважаючи на великий перелік заходів та способів зниження нещасних випадків на підприємствах чорної металургії, прогалини у забезпеченні безпеки співробітників все ж таки існують. Для покращення методів зниження ризиків пропонується змістити акценти в цій галузі, а саме, наголосити на роботі з персоналом. Створити таку культуру безпеки, в якій необхідність нагляду за безпекою діяльності відступить на другий план і настане момент особистої прихильності, посилення особистої відповідальності кожного працівника за своє життя та своє здоров'я. Слід як створити безпечні умови праці, а й залучити до роботи зі зниження ризиків всіх співробітників, від простих робітників до вищого керівництва, оскільки співробітники – головна цінність компанії, збереження життя і здоров'я є

чинником довгострокової конкурентоспроможності та ефективності поточної діяльності [27].

Вирішення проблем у галузі промислової безпеки повинно забезпечувати виконання ряду завдань:

1) Попередження поодиноких та групових нещасних випадків на виробництві, у тому числі зі смертельним наслідком.

2) Скорочення надзвичайних ситуацій.

3) Скорочення виробничого травматизму.

4) Скорочення ризиків у сфері безпеки.

5) Підвищення дисципліни та ефективності робочого часу.

Як пропозиції для забезпечення принципів охорони праці та промислової безпеки металургійним компаніям рекомендується наступне:

1. Підвищити мотивацію персоналу промислових підприємств до дотримання принципів ОП та ПБ. Як вже було сказано раніше, у забезпеченні безпеки праці співробітників велику роль відіграє їхня внутрішня мотивація та особиста зацікавленість. Здавалося б, яка людина не зацікавлена у збереженні свого життя та здоров'я. Однак тривале перебування у небезпечних умовах притуплює інстинкт самозбереження та призводить до неправильної оцінки серйозності ситуації.

Одним із методів мотивації є стимулювання, матеріальне та нематеріальне [8]. Посилення нематеріального стимулювання можливе шляхом розміщення агітаційних плакатів, розсилки соціальних роликів, спрямованих на формування здорового способу життя працівників, важливості дотримання правил охорони праці. Матеріальне стимулювання у вигляді премій, надбавок до заробітної плати працівників може йти на противагу штрафним санкціям за порушення правил безпеки праці [18]. Наприклад, працівників цеху, на якому за звітний період не сталося смертельних випадків та тяжких травм, можна нагородити понад базову заробітну плату.

2. Впровадити систему позиціонування персоналу умовах виробничого об'єкта. Раніше подібні системи були обов'язковою умовою під час роботи у вугільних шахтах, а з недавніх пір такі системи зобов'язуються використовувати шахти будь-якого типу. Застосування цих систем можливе у багатьох галузях промисловості, зокрема й у чорній металургії. Система, що є двома типами устаткування – переносні теги і стаціонарні анкери, шляхом бездротової передачі, відстежує пересування співробітників по виробничим площам. Така система дозволить нівелювати загрози безпеці з боку всіх чотирьох зовнішніх факторів виробничого травматизму.

Позиціонування персоналу як інструмент підвищення безпеки співробітників промислових виробництв забезпечує:

– контроль виробничого процесу в режимі реального часу, збирання та аналіз інформації про виникнення позаштатних ситуацій, дії та переміщення персоналу, з можливістю запису та зберігання архівних даних;

- контроль персоналу з різним рівнем доступу, підрахунок часу, проведеного співробітником у тій або іншій зоні, передача сигналу про порушення меж безпечної зони; виклику екстреної допомоги;

- оповіщення персоналу про надзвичайну ситуацію;

- контроль процесу евакуації персоналу; чорної металургії. Великі металургійні комплекси являють собою підприємства з повним циклом виробництва, які характеризуються використанням складного комплексу технологій з видобутку сировини, виробництва чавуну, сталі, сталевих труб, заготовців, метизів, вогнетривів, а також переробці вторинної сировини та відходів виробництва. Інноваційної активності підприємств чорної металургії. А як уже говорилося раніше, російські металургійні холдинги мають невисокі показники інноваційної активності, можливо внаслідок повільної окупності капіталовкладень у цю галузь, на відміну від інших галузей економіки.

Виходячи з цього, підвищення інноваційної активності стає проблемою не лише самого підприємства, але й проблемою держави.

ВИСНОВКИ

В аналітичній частині випускної кваліфікаційної бакалаврської роботи розглянуті особливості утворення осьової ліквації у безперервнолитій заготовці.

Встановлено, що для зниження осьової ліквації в безперервнолитих слябах необхідно організувати такі умови розливу та кристалізації, які забезпечують отримання максимальної ширини зони рівноосних кристалів.

Введення в кристалізатор макрохолодильників дозволяє суттєво знизити ступінь осьової ліквації. Однак існуючі способи застосування макрохолодильників мають ряд недоліків, що обмежують їхнє застосування.

Правильно організоване ЕМП дозволяє знизити осьову ліквацію. Однак через труднощі підбору параметрів електромагнітних коливань при відливанні широких заготовців ЕМП використовується обмежено.

Ефективним способом усунення осьової ліквації є використання «м'якого» обтиснення наприкінці затвердіння заготовки. Однак при цьому значно ускладнюється організація розливання та конструкція зони вторинного охолодження.

Простим та досить ефективним засобом зниження осьової ліквації є обробка сталі у промківші ПП з різними наповнювачами. Для підвищення ефективності цього способу потрібно проведення подальших досліджень, спрямованих на оптимізацію складу наповнювачів та режимом введення ПП.

В основній частині роботи запропоновано комплексний спосіб поліпшення якості сталевого безперервнолитивого злитка за рахунок пульсаційної продувки металу інертним газом у кристалізаторі МБЛЗ і зсувного стиснення безперервнолитивого злитка в зоні вторинного охолодження МБЛЗ .

З використанням критеріїв подібності виконано гідравлічне моделювання руху неметалевих включень у кристалізаторі МБЛЗ при пульсаційній продувці інертним газом, встановлено механізм їх видалення з

розплаву, що полягає в тому, що неметалеві включення залучаються разом з подаваним газом в утворюються вихори, де вони мають можливість коагулювати і в подальшому спливати в пристінковій області кристалізатора.

Фізичним моделюванням, виявлено характер впливу пульсаційної продувки металу інертним газом на формування металу, що кристалізується і встановлена залежність ширини стовпчастої зони кристалів модельного злитка від витрати і частоти пульсацій інертного газу.

Фізичним моделюванням зсувного стиснення безперервнолитих заготовок у зоні вторинного охолодження МБЛЗ на модельних злитках виявлено механізм заліковування осьових усадочних дефектів і встановлено, що ступінь їх загоєння при зсувному стисненні вищий, ніж при лінійному.

В розділі «Охорона праці» розглянуті основні шкідливі фактори виробництва та заходи по їх зменьшенню.

СПИСОК ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ

1. О развитии осевой неоднородности в прокате трубных сталей // М.Е. Казачкова, А.А.Гоцуляк, И.Ф.Пемов, НЯ.Казачкова // Известия вузов. Черная металлургия.-1985,- №11.-С.48-51.

2. Исследование центральной неоднородности в непрерывнолитых трубных сталях /Ю.И.Матросов, А.О.Носоченко, В.В.Емельянов и др. //Сталь.-2002.-№9.-С. 107-110.

3. Флендер Р. Образование внутренних трещин в непрерывнолитых заготовках IP.Флендер, КВюнненберг. //Черные металлы.-1982.-№23.-С.24-32.

4. .Irving W.R. Effect of chemical, operational and engineering factors on segregation in continuosly cast slabs / W.KIrving, A.Perkins, M.G.Breaks И Ironmaking and Steelmaking.- 1984.-V.ll.-№3.-P.-152-159.

5. Еетеее Д.П. Непрерывное литье стали / Д.П.Еетеее,И.Н.Колыбалое,- М.:Металлургия, 1984.-200 с.

6. Арсентьев П.П. Структура и свойства непрерывнолитой заготовки / П.П.Арсентьев// Производство чугуна и стали.-Том 16 (Итоги науки и техники. ВИНИТИ АН СССР).- М.:-1985.-С.142-197.

7. Бнрат Ж.П. Электромагнитное перемешивание при непрерывной разливке заготовок блумов и слябов / Ж.П.Бират, Ж.Шоне // Достижения в области непрерывной разливки стали.-М.: Металлургия, 1987.-С.-98-116.

8. Ирвинг В. Основные параметры, влияющие на качество непрерывных слябов / В.Ирвинг, А.Паркинс // Непрерывное литье стали: Сб. трудов междунар, конференции.- М.: Металлургия, 1982.-С. 164-185.

9. Nemoto H. Development of Continuous Casting Operation /H. Nemoto// - Tetsu to Hagane.- 1974.-V.60.-№7.-P. 755-773.

10. Борисов В.Т. Теория двухфазной зоны металлического слитка / В.Т.Борисов.-М.: Металлургия, 1987.-224с.

11. Казачков ЕА. Исследование температурного состояния жидкой сердцевины стальных слитков // Е.А.Казачков, С.Л.Макуров, В.А.Федоров // Известия вузов. Черная металлургия .-1976. -№3. -С. 3 7-40.

12. Уменьшение осевой ликвации элементов в непрерывнолитой заготовке при введении стальной ленты / О.В.Носоченко, О.Б.Исаее, ЛС.Лепихое и др. // Сталь.-2003.-№9.-С.42- 44.

13. Исследование процесса непрерывной разливки слябов с использованием макрохолодильников / О.В.Носоченко, Е.АЖазачкое, А.Г.Богаченко и др. // Новые технологические процессы в черной металлургии - Nove technologicke procesy v hutnictvi zeleza: Sb. konf. 23-26 kve't.-1988.-Fridek-Mistek, Dobra.-1988.-Sek.2.-S.138-155.

14. Электромагнитное перемешивание жидкой стали в металлургии / Р.С.Айзатулов, А.Г.Кузьменко, В.Г.Грачев и др. ,-М.: Металлургия, 1996.-С. 184.

15. Смирнов А.Н. Эффективность электромагнитного перемешивания при затвердевании непрерывнолитых заготовок / А.Н.Смирнов // Металлургическая и горнорудная промышленность .-2001. -№5. -С.21 -23.

16. Улучшение качества структуры осевой зоны заготовки путем обработки микролигатурами при разливке / И.Л.Бродецкий, В.П.Харчевников, А.И.Троцан и др. // Сталь.-2005.-№2.-С.45-46.

17. Подавление осевой неоднородности в непрерывнолитой стали путем ее модифицирования плакированным порошковым модификатором / В.М.Харчевников, И.Л.Бродецкий, А.И.Троцан и др. // Металлург.-2002.-№3.-С.48-51.

18. Особенности литой структуры непрерывнолитых слитков крупного прямоугольного сечения / В.М.Паршин, Е.А.Казачков, А.И.Корниенко и др. // Изв. вузов. Черн, металлургия .-1987. -№ 11.-С.43-47.

19. Процессы непрерывной разливки / А.Н.Смирнов, В.Л.Пилюшенко, А.А.Минаев и др,- Донецк: ДонНГУ , 2002,- 536 с.

20. New technology to tackle centerline segregation / M. Hatton, S. Nagata, A. Ihaba et al. 11 Steel technology international. - 1990/91.-P.189-193

21. Яахола М. Последний результаты динамического мягкого обжатия заготовок на слябовой установке непрерывной разливки // М. Яахола, М. Хаарала И Новости черной металлургии за рубежом,- 2001.-№2.-С.64-66.

22. Zhu Zhiyan, Wang Xinghua, Wang Wanjun, Zhang Jong- ming. Распределение толщины корочки в кристаллизаторе и расстояние между дендритами в ко¬рочке непрерывнолитого сляба // Beijing keji daxue xuebao - journal of university of science and technology Beijing. 2000 №6. С. 515-519.

23. Влияние режима мягкого обжатия на макроструктуру непрерывнолитых слябов разной толщины / И.О. Басак, А.М. Столяров, В.В. Мошкунов, А.С. Казаков // Теория и технология металлургического производства. 2015. №1(16). С . 44-47.

24. Долматова О.Л., Столяров А.М. Анализ возможностей повышения производительности одноручьевой слябовой МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком // Теория и технология металлургического производства. 2016. №2(19). С. 18-22.

25. Смирнов А. Н., Пилюшенко В. Л., Минаев А. А и др. Процессы непрерывной разливки. — Донецк : Изд-во ДНТУ, 2002. — 535 с.

26. Ворхем Дж. JL, Касино Т. А. Высокопроизводительный литей¬но-прокатный агрегат / / Непрерывное литье стали : материалы междунар. конф. (Биарриц, 1976) / пер. с англ., 1982. С. 250 - 260.

27. Терчелли К., Дисаро Д. Непрерывное литье блюмов с мягким динамическим обжатием на заводе фирмы Posco, Корея / / Металлургическое производство и технология. 2010. № 1. С. 15 — 21.

28. Fujisaki K. In-mold electromagnetic stirring in continuous casting //IEEE Transactions on Industry Applications. - 2001. - Т. 37. - №. 4. - С. 1098-1104. Brimacombe J. K., Sorimachi K. Crack formation in the continuous casting of steel //Metallurgical transactions B. - 1977. - Т. 8. - №. 2. - С. 489-505.

29. Cheung N., Garcia A. The use of a heuristic search technique for the optimization of quality of steel billets produced by continuous casting //Engineering Applications of Artificial Intelligence. - 2001. - Т. 14. - №. 2. - С. 229-238.

30. Tao F. et al. Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. - 2018. - Т. 94. - №. 9-12. - С. 3563¬3576.

31. Bulanov L. V. et al. OAO Uralmashzavod software for the simulation of solidification and mild compression //Steel in Translation. - 2013. - Т. 43. - №. 9. - С. 575-582.

32. Айзин Ю. М. и др. Технологические решения, направленные на снижение пораженности слябов поперечными трещинами //Проблемы черной металлургии и материаловедения. - 2011. - №. 3. - С. 13-15.

StrikePlagiarism.com

Дата звіту 6/10/2025
Дата редагування ---

Документ прийнятий

Звіт подібності

метадані

Назва організації
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY
Заголовок
Поляков Богдан Станіславович

Автор
Поляков Богдан Станіславович
Науковий керівник / Експерт
Чуприков Є.В.

підрозділ
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.

25	7668	62439
Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2	Кількість слів	Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		7
Інтервали		0
Мікропробіли		1
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)	a	6

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз	Колір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	https://ukrbukva.net/page,5,104162-Nepreryvnaya-razlivka-metallov.html	18 0.23 %
2	Фізичне моделювання процесів деформування безперервнолитих заготовок на стадії неповної кристалізації [redacted] 12/1/2020 Pryazovskyi State Technical University (PSTU)	14 0.18 %

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра металургійних технологій

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра
(бакалавра, бакалавра)

Студента(ки) Полякова Богдана Станіславовича
(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи МЧМ-22ск

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, бакалавра)
Моделювання процесів зниження центральної пористості безперервнолитої заготівлі за рахунок комплексного впливу на процес кристалізації

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	50;
таблиць	-;
схем і рисунків	7;
листів графічної частини (демонстраційного матеріалу)	8.

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, бакалавра)

В аналітичній частині кваліфікаційної роботи встановлено, що для зниження осьової ліквації в безперервнолитих слябах необхідно організувати такі умови розливу та кристалізації, які забезпечують отримання максимальної ширини зони рівноосних кристалів. Ефективним способом усунення осьової ліквації є використання «м'якого» обтиснення наприкінці затвердіння заготовки. Однак при цьому значно ускладнюється організація розливання та конструкція зони вторинного охолодження.

В основній частині роботи запропоновано комплексний спосіб поліпшення якості сталевого безперервнолитивого злитка за рахунок пульсаційної продувки металу інертним газом у кристалізаторі МБЛЗ і зсувного стиснення безперервнолитивого злитка в зоні вторинного охолодження МБЛЗ .

Кваліфікаційна випускна робота рекомендована до захисту.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, бакалавра)

Суттєвих недоліків не виявлено, допущені деякі помилки в оформлені.

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи бакалавра, ступінь самостійності виконання:
Кваліфікаційна робота на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти виконана в повному обсязі, своєчасно та відповідно до вимог.
Спеціальна та загальна підготовка здобувача задовільна.
Робота виконана самостійно та відповідно до затвердженного графіку.

Можливість використання кваліфікаційної роботи **бакалавра**
Результати роботи можна використовувати на українських підприємствах для отримання сталі високої чистоти.

Оцінка кваліфікаційної роботи **Бакалавра** ***«добре»***

Керівник Сусло Наталія Валеріївна
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання) (підпис)

« 10 » 06 2025 р.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра металургійних технологій

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра
(бакалавра, магістра)

Студента(ки) ***Полякова Богдана Станіславовича***
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Групи *ЗМЧМ-21*

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Моделювання процесів зниження центральної пористості безперервнолитої заготівлі за рахунок комплексного впливу на процес кристалізації

Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Переваги кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

В кваліфікаційній роботі наведено моделювання процесів зниження центральної пористості безперервнолитої заготівлі за рахунок комплексного впливу на процес кристалізації

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Рекомендації: Результати кваліфікаційної роботи можна використовувати на металургійних підприємстваї України.

Рецензент ***Панченко Ганна Миколаївна***
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Доцент, к.т.н. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання) (підпис)

ДОВІДКА
про перевірку тексту роботи програмно-технічними засобами

Текст (вибрати необхідне):

☑ кваліфікаційної роботи;

☐ навчальної/наукової праці;

☐ наукових матеріалів

«Моделювання процесів зниження центральної пористості безперервнолитої заготівлі за рахунок комплексного впливу на процес кристалізації»
(назва)

(автором/авторами або виконавцем якої є:

Полякова Богдана Станіславовича
(ПІБ)

каф. металургійних технологій ННТІ,
(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія)

обсягом 50 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «Plagiarism».

Рівень оригінальності становить 99,28%.

При перевірці посилань програмою визначено окремі співпадіння із:

☐ власними публікаціями;

☐ термінологією;

☐ посиланнями на літературу, праці вчених;

☐ посиланнями на законодавство;

☐ загальновживаними фразами.

Матеріали було розглянуто та рекомендовано до захисту на засіданні
(подальшого розгляду, друку, опублікування тощо)

каф. металургійних технологій
(структурний підрозділ, кафедра, лабораторія тощо)

Державного університету економіки і технологій від «12» 06 2025 р. протокол № 12.

Керівник підрозділу (підпис) Ініціал, ПРІЗВИЩЕ

Дата 10.06.

ЗГОДА

здобувача(чки) вищої освіти

Державного університету економіки і технологій

про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату

та розміщення в Репозитарії Університету

Я, Поляков Богдан Станіславович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота« Моделювання зниження центральної корисності безперервної заготовлі за рахунок комплексного впливу на процес кристалізації»» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомлений(на).

07.06.2025 _____ Поляков. Б. С

(ініціали, прізвище, власноруч)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку студента-випускника

Полякова Богдана Станіславовича
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Кафедра Металургійних технологій
Спеціальність 136 – Металургія
(шифр, назва)

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Моделювання процесів зниження центральної пористості безперервнолитої заготівлі за рахунок комплексного впливу на процес кристалізації

Керівник кваліфікаційної роботи: доцент, к.т.н., Сусло Н.В.
(посада, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

Оцінки по розділах роботи

№ з/п	Найменування розділу проекту (роботи)	Консультант	Зараховано / не зараховано	Дата	Підпис консультанта	Примітка
1	Аналітична частина	Сусло Н.В.	зараховано			
2	Основна частина	Сусло Н.В.	зараховано			
3	Охорона праці	Сусло Н.В.	зараховано			

Завідувач кафедри _____ Д.О. Кассім
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 10 » 06 2025 р.

Декларація

про дотримання академічної доброчесності під час

написання кваліфікаційної роботи

здобувачем вищої освіти

Державного університету економіки і технологій

Я, Ямяков Богдан Станіславович

студент(ка)/ 4 курсу, групи МЕМ-22г Державного університету економіки і технологій розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) заборонену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

10.06.2025 (дата)

(підпис) Ямяков. Б. С (Ініціал, ПРІЗВИЩЕ)