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

ЗАЯЦЬ КАТЕРИНА АНДРІЇВНА
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему Аналіз різних методів безперервного лиття з метою підвищення якості металопродукції
(повна назва теми)

за матеріалами металургійних підприємств України і Європи
(повна назва бази дослідження)

науковий керівник к.т.н., доцент _____ Чупринов Є.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 _____ **проф. Д.О. Кассім**
(підпис) (посада, вчене звання, прізвище ініціали)
«04» 04 **20 25 року**

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ(КИ)

ЗАЯЦЬ КАТЕРИНІ АНДРІЇВНІ
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра:
Аналіз різних методів безперервного лиття з метою підвищення якості металопродукції
керівник кваліфікаційної роботи Чупринов Є.В., 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 07.06.2025

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

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

4.1. Аналітична частина: *характеристика конструкції та принципу роботи машин безперервного лиття заготовок; аналіз основних технологічних параметрів процесу лиття та їх вплив на якість продукції; Вивчення причин виникнення дефектів та методів їх усунення*

4.2. Основна частина: *огляд сучасних технологій електромагнітного гальмування: принцип дії, типи систем; моделювання впливу магнітного поля на потік рідкої сталі та оцінка ефективності різних конфігурацій систем ЕМГС; аналіз результатів числового моделювання та практичних випробувань, проведених на промислових підприємствах*

4.3. Охорона праці: *розглянути основні небезпечні та шкідливі чинники у цеху безперервного лиття, розглянути методи боротьби з ними.*

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	Чупринов Є.В., доцент		
2 Основна частина	Чупринов Є.В., доцент		
3 Охорона праці	Чупринов Є.В., доцент		

7. Дата видачі завдання «04» квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	11.04.2025	
2.	Основна частина	18.04.2025	
3.	Охорона праці	25.04.2025	
4.	Оформлення пояснювальної записки	02.05.2025	
5.	Виконання графічної частини	16.05.2025	
6.	Подання роботи до кафедри	07.06.2025	
7.	Захист роботи в ЕК	.06.2025	

Студент _____ (підпис) Заяць К.А. (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ (підпис) Чупринов Є.В. (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	56		
			Слайди			
2	А4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.01	Дефекти безперервнолитої заготовки та методи боротьби з ними	1		
3	А4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.02	Шлакові включення на поверхні заготовок, її види та методи боротьби з ними	1		
4	А4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.03	Порівняння процесу лиття з електромеханічною гальмівною системою і без неї	1		
5	А4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.04	Конфігурації електромагнітного гальма (ЕМГС)	1		
6	А4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.05	Зменшення зони змішування з 6 до 3 м під час зміни сорту без електромеханічної гальмівної системи та з електромеханічною гальмівною системою	1		
7	А4	ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ.06	Конфігурація FC Mold: струми, індуковані в поперечних перерізах.	1		

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата
Розробив		Заяць К.А.		07.0625
Керівник		Чупринов Є.В.		07.0625
Н.контр.		Кассім Д.О.		07.0625
Затв.		Кассім Д.О.		07.0625

ННТІ ДУЕТ.136.ВРБ

Відомість випускної роботи бакалавра

Літ.			Лист	Листів
Д		Т	1	1

ННТІ ДУЕТ
каф. Металургійних технологій
гр. МТ-21

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи молодшого бакалавра: 57 стор., 26 рис, 1 табл, 11 літ. джерела.

У роботі проведено аналіз технологічних параметрів безперервного лиття металевих заготовок та їхнього впливу на якість продукції. Досліджено основні категорії дефектів—поверхневі, внутрішні та форменні—з деталізацією їхніх характеристик, причин виникнення та способів запобігання. Визначено ключові фактори ризику, зокрема температурний режим, швидкість подачі металу, стан прес-форм та вплив хімічного складу сталі.

Увага зосереджена на механізмах утворення тріщин, газових пор та шлакових включень. Окреслено важливість своєчасного виявлення дефектів, особливо на етапі транспортування заготовок рольгангом, що дозволяє зменшити виробничі втрати. Запропоновано рекомендації щодо технічного обслуговування обладнання та оптимізації технологічного процесу для мінімізації браку.

Проаналізовано критичні аспекти взаємодії розплавленого металу із неметалевими включеннями під впливом електромагнітного поля, а також на способах моделювання цих процесів. Використання EMBR дозволяє стабілізувати параметри лиття шляхом рівномірного розподілу швидкості та температури по ширині заготовки, що позитивно впливає на якість сталі та підвищує продуктивність виробництва.

Результати моделювання та експериментальних вимірювань підтверджують ефективність електромагнітного гальмування у зменшенні рівня турбулентності потоку та глибини проникнення включень, що сприяє формуванню більш однорідної металевої структури. Крім того, встановлено, що коригування магнітного поля та регулювання параметрів занурення сопла дозволяють уникнути проблем застою потоку та замерзання сталі.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Характеристика роботи машини безперервного лиття заготовок сталеплавильного департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	8
1.2. Аналіз технологічного процесу безперервного лиття заготовок та основних дефектів металопродукції	9
Висновки по аналітичній частині	21
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА	22
2.1 Вступ	23
2.2 Висновки числових досліджень	25
2.3 Звичайні елекромеханічні гальмівники : Локальні магнітні поля	28
2.4 Лінійні електромеханічні гальмівні системи – одне магнітне поле охоплює всю ширину пасма	31
2.5 Паралельні магнітні поля	36
2.6 Результати з використанням перехідної моделі	39
2.7 Фізичні та математичні принципи, що застосовуються до моделей	41
Висновки по основній частині	43
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	44
Висновки по Охороні праці	53
ВИСНОВКИ	55
Перелік бібліографічних джерел	56

ВСТУП

Сучасна металургія постійно вдосконалює технологічні процеси, спрямовані на підвищення ефективності виробництва та якості металопродукції. Однією з ключових проблем безперервного лиття є проникнення неметалевих включень, таких як шлак і газові домішки, що можуть негативно впливати на структурні та механічні властивості сталі. Для вирішення цієї проблеми було розроблено технологію електромагнітного гальмування (ЕМГС), яка дозволяє стабілізувати потік розплавленого металу та забезпечити рівномірний розподіл швидкості та температури у прес-формі.

У цій роботі проведено глибокий аналіз дослідження проведеного в Арізоні(США) в 1994 році щодо механізмів ЕМГС, досліджено його вплив на поведінку потоку металу та його здатність зменшувати турбулентність і проникнення неметалевих включень. Використано чисельне моделювання та експериментальні вимірювання, що підтверджують ефективність технології. Визначено основні фактори, які впливають на стабільність потоку, такі як параметри магнітного поля та глибина занурення сопла, а також розглянуто можливість забезпечення оптимальних умов для впровадження ЕМГС у промислових масштабах на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Отримані результати можуть бути основою для подальших досліджень у сфері металургійного виробництва та вдосконалення технології безперервного лиття, що сприятиме підвищенню якості продукції та ефективності процесу. Запропоновані рекомендації можуть бути використані для зменшення виробничих втрат і покращення контролю параметрів лиття. Впровадження технології ЕМГС має потенціал не лише для покращення структури сталі, а й для оптимізації енергетичних витрат у виробничому процесі. Окрім цього, використання електромагнітного впливу на потік металу відкриває перспективи для розвитку нових методів управління технологічними параметрами у металургійному виробництві.

1.АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика роботи машини безперервного лиття заготовок сталеплавильного департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Цех безперервного лиття заготовок входить до складу сталеплавильного департаменту, ціллю якого є отримання заготовки для експорту і прокату, з відповідним хімічним складом та фізичними властивостями.

МБЛЗ – машина для розливання сталі, що забезпечує безперервне переведення рідкої сталі , яка перебуває в сталерозливному ковші, у твердий стан у вигляді заготовок певної геометричної форми. Процес розливання металу на МБЛЗ №1, 2, 3 забезпечує безперервне розливання певної кількості ковшів, що подаються від сталеплавильних агрегатів, а одержувану заготовку водночас розрізають на мірні довжини відповідно до вимог споживачів, а потім відправляють на перекат до відповідних прокатних цехів або зовнішніх споживачів.

МБЛЗ №1, 2, 3 містить у собі таке основне обладнання та системи: розливний підйомно-поворотний стенд, обладнаний датчиками контролю ваги і призначений для позиціонування сталерозливного ковша; проміжні ковші з кришками; візки для позиціонування проміжних ковшів; установки високотемпературного розігріву проміжних ковшів; - маніпулятор захисної труби; кристалізатори з механізмами гойдання; зони вторинного охолодження з системою форсуночного охолодження заготовок водою; тягнучо-правильні машини; затравки для витягування заготовок; машини газового різання, з можливістю відбору темплетів; рампа введення затравок; механізм відбору темплетів; транспортні рольганги для передачі заготовок; механізм підйому заготовок; поперечний зіштовхувач; доштовхувач; маркувальна машина №1 і №2; крокуючий холодильник; система водяного охолодження обладнання; система водяного охолодження кристалізаторів; гідравлічна система з

обладнанням насосно-акумуляторної станції; пневматична система; централізована система густого змащення; - система подачі енергоносіїв.

1.2. Аналіз технологічного процесу безперервного лиття заготовок та основних дефектів металопродукції

Умови виробництва, які впливають на якість і в наслідку викликають можливі дефекти, перераховані відповідно до сучасного рівня техніки. Дефекти безперервнолитих заготовок виникають в процесі затвердіння. Вони зустрічаються як на поверхні, так і в центральних зонах. Причини дефектів повинні бути виявлені заздалегідь, щоб розробити ефективні заходи протидії, що дозволяють уникнути проривів в процесі лиття і отримати продукцію неналежної якості.

Основні виробничі параметри, які можуть призвести до браку:

- Геометричний розмір оброблюваної деталі, що відливається;
- Температура лиття;
- Швидкість закидання;
- Захист від наливного металевого струменя;
- Параметри прес-форми (довжина, конусність, знос);
- Частота коливань;
- Висота махового гребка;
- Шлакоформуюча суміш для кристалізаторів (ШОС) / масло для змащення

Дефекти холодильного обладнання поділяються на три основні категорії:

- Зовнішні або поверхневі дефекти;
- Внутрішні та форменні дефекти

Деякі з цих дефектів з'являються разом.

Поверхневі дефекти найчастіше супроводжуються тріщинами. Їх не можна виправити в ході наступної гарячої прокатки, і, таким чином, вони

часто не можуть бути усунені до кінця виробничого процесу. Тому вони мають бути виявлені якомога раніше в процесі виробництва, а саме, за час, поки заготівля знаходиться на рольгангу, що відводить. Поверхневі тріщини є причиною втрат металу, можливого утворення скрапа та/або зниження якості.

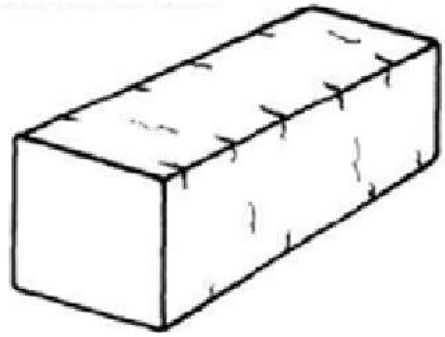


Рис 1

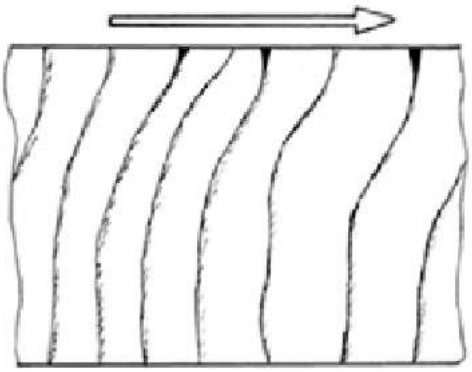


Рис 2

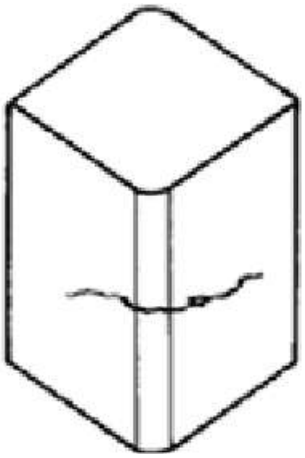


Рис 3

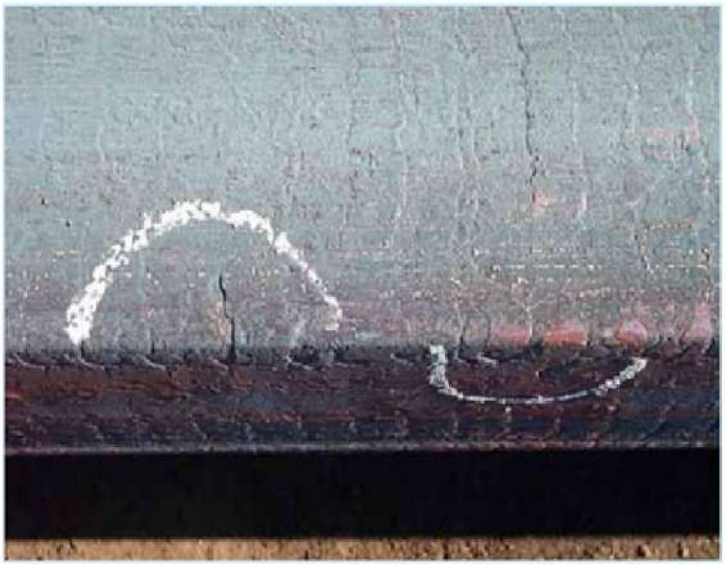


Рис 4

Рис 5

Рис.1.1 Поперечні тріщини на кутовій ділянці заготовки

1 – Множинна кількість поперечних тріщин на кутовій ділянці;

2 – Поперечні кутові тріщини за нижнім слідом гойдання кристалізатора;

3 – Одиночна поперечна кутова тріщина на кутовій ділянці заготовки;

4 і 5 – Фотографії поперечних тріщин на кутовій ділянці заготовки.

Якщо виникають такі тріщини, необхідно дуже ретельно перевірити кристалізатор та роликову проводку відповідного струмка та здійснити їх техобслуговування.

Табл.1.1

Вплив хімічного складу сталі(%) на чутливість до утворення тріщин

Збільшується		Не впливає		Зменшується	
C	0,15-0,25;>0,60	C	<0,15	Mo	>0,0025
Mn	>1,00	C	0,25-0,60	Al	0,0025-0,0050
Si	>0,50				
S	>0,025				
P	>0,030				
Mn/S	<20				
Cr	>0,030				
Ni	>0,010				
Al	>0,0050				
H	>0,0004				

Ще одним з поверхневих дефектів є бульбашки газу, що розкриваються на поверхні заготовки, їх прийнято називати «газовими порами». Вони розташовуються хаотично, мають круглу, кулясту або еліптичну форму, розмір від 0,5 до 3 мм і розташовуються на відстані 5-10 мм від поверхні. Причини дефекту:

- Недостатнє розкислення сталі, високий вміст H і N ;
- Занадто велика кількість мастила або вологи в ній ;
- Волога в шлаковій суміші або вогнетривких матеріалах ;
- Занадто багато аргону видувається в чашку для розливу через пробку проміжного ковша ;
- Коливання рівня рідкої сталі в кристалізаторі ;
- Вторинне окислення ;
- Занурювальний стакан занадто глибокий.

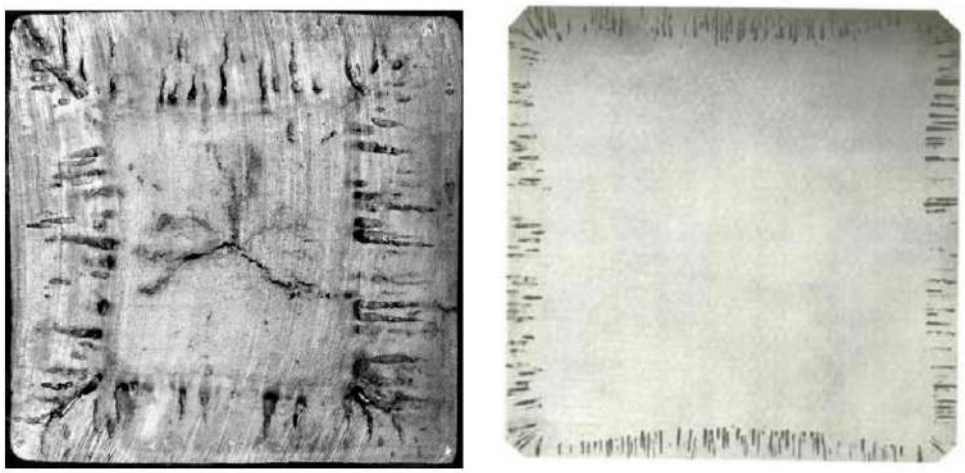


Рис. 1.2. Газові пори та підкоркові канали

Додатково є види шлакових дефектів, що на поверхні злитка часто створюють серйозні проблеми якості, що потребують повного або часткового шліфування/обробки. Шлакові включення - це скупчення неметалевих частинок на поверхні заготовки, які можуть виникати разом зі скупченнями пор, заворотом кори і заливина (плена).

На поверхні заготовки після розшарування разом з окалицею можуть залишитися поглиблення (окремі або грона) неправильної форми, локальні

або витягнуті в напрямку витягування заготовки. Розміри, форма і глибина залягання можуть варіюватися в широких межах.

Неметалеві включення накопичуються на металевому меніску в прес-формі за рахунок плавання частинок шлаку, в тому числі з проміжного ковша машини безперервного лиття заготовок, продуктів розкислення, ерозії вогнетривких матеріалів, відділення від стінок ковша неметалевих включень, що стягують їх, які відносяться і тверднуть в поверхневих шарах заготовки, головним чином в корі.

Проблеми із заготовками виникають під час розливки відкритим струменем і з використанням рідкого мастила.

Причини виникнення дефекту:

- Переважно утворюються внаслідок розкислення сталі;
- Ситуація погіршується при високому вмісті Al_2O_3 у сталі та низькому вмісті SiO, MnO і FeO (сталь, розкислена алюмінієм);
- Низькоякісні вогнетривкі матеріали;
- Поганий покривний флюс у промковші або низькоякісна шлакоутворююча суміш у кристалізаторі;
- Низький рівень рідкої сталі у промковші, через що шлак захоплюється потоком сталі;
- Введення алюмінію в кристалізатор;
- Забруднення занурювального стакана промковша і захисної труби може призвести до утворення великих шматків шлаку в процесі розливки, які час від часу можуть падати в кристалізатор.

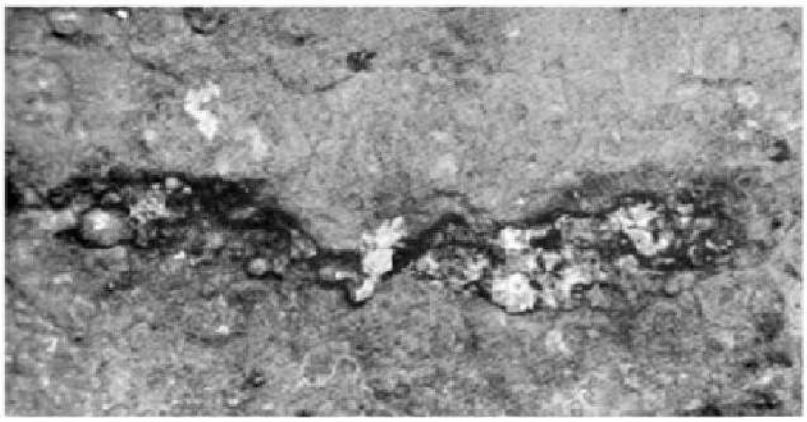


Рис 1

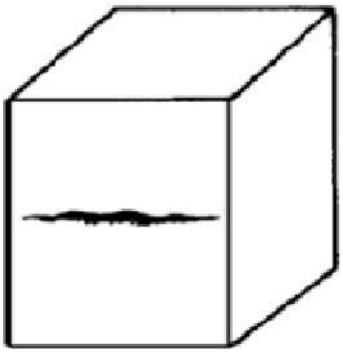


Рис 2

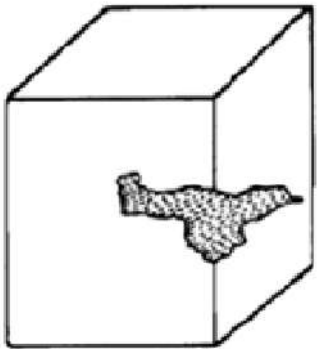


Рис 3

Рис. 1.3 Шлак на поверхні заготовки

1 – Скупчення шлаку на поверхні заготовки;

2 – Захоплений шлак на грані заготовки, схема;

3 – Захоплений шлак на поверхні кута заготовки, схема.

Дефект шлакові включення є одним із найпоширеніших дефектів, який виявляється на поверхні металевих виробів. Особливо яскраво він проявляється після проведення піскоструминного очищення, коли поверхня стає більш чіткою і всі нерівності та вкраплення стають помітними неозброєним оком.

Причин виникнення цього дефекту може бути багато, і всі вони пов’язані як з особливостями хімічного складу сталі, так і з умовами процесу лиття. Найпоширенішими з них є надмірна кількість шлаку, що накопичується у промковші. Саме велика кількість шлаку збільшує ризик його потрапляння у струмінь сталі під час розливання. Додатково до цього

дефект може бути спричинений захопленням продуктів розкислення або ерозії вогнетривкої футерівки. У випадках, коли співвідношення марганцю до кремнію ([Mn]:[Si]) в сталі опускається нижче 2,5, це також сприяє виникненню небажаних включень.

Ще однією суттєвою причиною є нерівномірний розподіл захисної суміші по поверхні промковша, що створює умови для локального попадання шлаку в струмінь. До цього додаються технологічні фактори — зокрема, раптові й нестабільні зміни рівня сталі в кристалізаторі. Такі коливання створюють збурення струменя, що підвищує ймовірність захоплення сторонніх включень. Не менш небезпечною є ситуація, коли працює кисень у промковші або відкрито шибер — це створює додаткові турбулентності в потоці металу.

Крім основних причин, існують і супутні, що поглиблюють проблему. Це може бути низький рівень сталі в промковші, неякісні вогнетривкі матеріали, які не витримують необхідного режиму, а також невідповідність типу захисної суміші до конкретної марки сталі. Хімічний склад сталі та процеси її вторинного окиснення також мають значення — за відсутності належного контролю хімічного аналізу ризик утворення шлакових включень зростає.

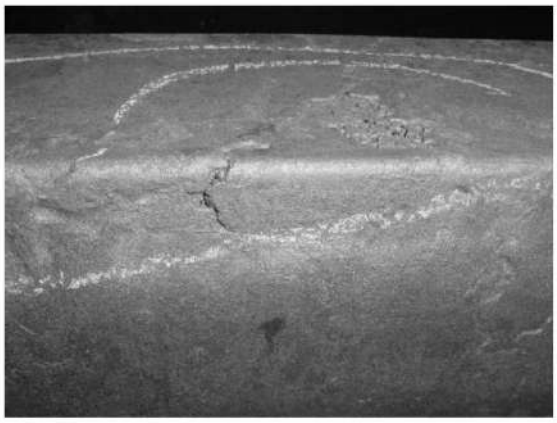
Запобігти виникненню цього дефекту можна за допомогою цілого комплексу технологічних заходів. Насамперед, важливо своєчасно й ефективно видаляти шлак з поверхні сталі в кристалізаторі за допомогою спеціальних щипців або механічних захватів. Також необхідно забезпечити якісний захист струменя металу під час його переміщення з ковша через промковш до кристалізатора. Важливу роль відіграє й вибір вогнетривких матеріалів — вони мають бути високої якості, стійкі до термічного і хімічного впливу. Також рекомендовано використовувати захисні суміші, які відповідають марці сталі і умовам розливання.

Якщо дефект уже виявлено, його можна частково або повністю усунути шляхом обробки поверхні — найчастіше застосовується вогнева зачистка та

шліфування. Ці методи дозволяють видалити включення або згладити поверхню виробу, однак вони не завжди забезпечують повне відновлення якості, особливо у випадку глибоких або численних включень.

Вплив шлакових включень на кінцеву продукцію є дуже суттєвим. У металевих профілях можуть утворюватися чітко видимі тріщини, розриви, порожнини. Можуть з'являтися закати, що містять шлак, які не лише погіршують зовнішній вигляд виробу, а й знижують його механічну міцність. Особливо це небезпечно для сталевих профілів із не повністю сформованими зовнішніми кромками — вони часто залишаються частково не заповненими металом, що призводить до їх деформації в процесі подальшого використання.

Таким чином, для забезпечення високої якості металевої продукції важливо не лише своєчасно виявляти дефекти шлакових включень, але й глибоко розуміти причини їх виникнення та впроваджувати комплексну систему запобігання на кожному етапі виробництва.



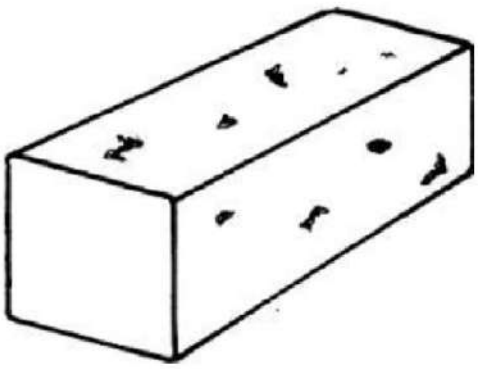


Рис 1 Рис 2

Рис. 1.4. Шлак більше 5 мм на поверхні заготовки

1 – Шлак розміром більше 5 мм на поверхні оброблюваної деталі;

2 – Шлак більше 5 мм на поверхні заготовки, схема.

Дефекти, пов’язані з дрібним шлаком розміром менше 5 мм, досить часто виявляються при візуальному огляді поверхні металевих виробів. Хоча

ці включення мають невеликі розміри, вони можуть істотно впливати на якість готового прокату.

Серед основних причин виникнення подібного типу дефекту виділяють надмірну кількість шлаку в промковші. Якщо вміст шлаку перевищує допустимі межі, його частинки легко потрапляють у струмінь рідкої сталі під час розливання. Додатковим чинником є занадто низьке відношення марганцю до кремнію ([Mn]:[Si] < 2,0), що погіршує стійкість металу до окиснення. Також слід враховувати вторинне окиснення рідкої сталі, яке може виникати під впливом кисню під час транспортування струменя. Часто шлакові частки потрапляють у кристалізатор разом із захисною сумішшю, якщо вона захоплюється потоком металу з промковша.

До додаткових причин, що сприяють формуванню дефекту, належать: знижений рівень сталі в промковші, який не дозволяє створити достатню плавну течію струменя; раптові або нестабільні зміни рівня сталі в кристалізаторі, які викликають турбулентні потоки та захоплення домішок; помилки в хімічному аналізі сталі; невідповідність захисної суміші марці сталі або її нерівномірний розподіл у промковші; недостатньо якісні вогнетривкі матеріали, які не виконують свою функцію.

Для запобігання подібним дефектам доцільно впровадити ряд технологічних заходів. Найперше — це своєчасне видалення шлаку з поверхні металу в кристалізаторі. Також необхідно ефективно захищати струмінь металу на всьому шляху від ковша до кристалізатора (використовуючи спеціальні системи захисту струменя). Рекомендується використовувати вогнетривкі матеріали високої якості, які не руйнуються під час експлуатації. Крім того, потрібно проводити обробку сталі перед розливанням, щоб знизити ймовірність виникнення включень.

Якщо такі дефекти вже з’явилися на поверхні, можлива їх механічна або термічна обробка. Найчастіше застосовують часткову або повну зачистку (вогневу або шліфування), що дозволяє усунути дефектні ділянки або принаймні зменшити їхній вплив на механічні характеристики виробу.

Щодо впливу на прокат, то наявність дрібних шлакових включень може призводити до утворення тріщин різного розміру, що безпосередньо залежить від розміру включень. Частинки шлаку іноді виявляються у структурі сталі у вигляді окремих вкраплень, які не завжди призводять до руйнування, але залишають лунки або порожнини. У мікроструктурі це може проявлятись як тонкі волосовидні тріщини глибиною до 0,15 мм, які знижують якість кінцевого виробу та його надійність.

Таким чином, навіть дрібні шлакові включення, розміром менше 5 мм, становлять серйозну загрозу для якості прокату, особливо в критичних деталях конструкцій. Їх своєчасне виявлення, аналіз причин виникнення та впровадження системи попередження дозволяють зменшити кількість дефектної продукції та покращити технологічну стабільність виробництва.

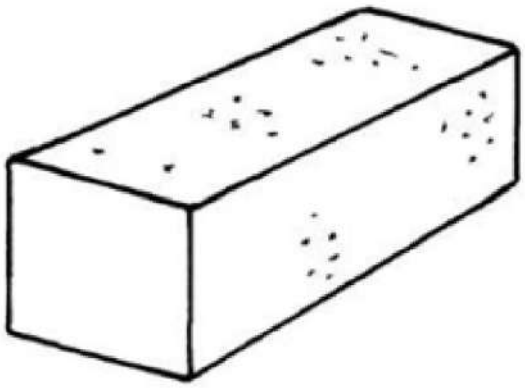


Рис. 1.5. Шлак розміром менше 5 мм на поверхні заготовки, схема.

Дефект бризок металу на поверхні заготовки — це досить характерне пошкодження, яке виникає в процесі безперервного лиття і може суттєво впливати на якість поверхні готової продукції. Його візуально легко розпізнати — на поверхні металевої заготовки спостерігаються нерегулярно розташовані краплини або напливи металу, які утворилися ще до повного затвердіння сталі.

Причиною таких дефектів зазвичай є потрапляння розплавленого металу між затверділою коркою і стінками кристалізатора. Це може статися через неузгоджену або нестабільну подачу металу в кристалізатор. Якщо

струмінь металу подається з коливаннями або втрачає рівномірність, це створює умови для розбризкування — частина металу не потрапляє в центр зони лиття, а замість цього прилипає до бокових стінок або затверділої оболонки заготовки.

Рис 1

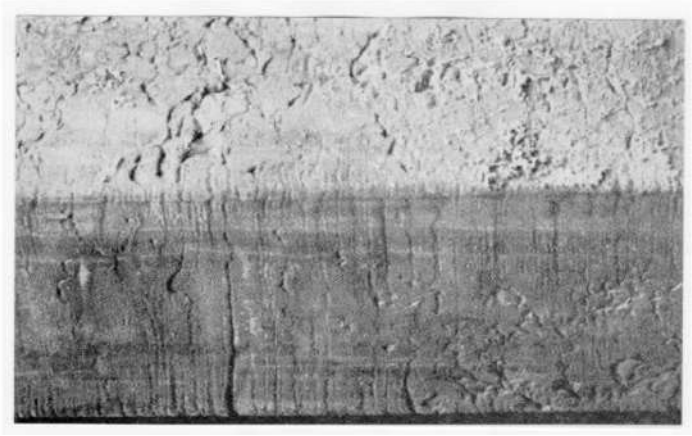


Рис 2

Рис. 1.6. (1 і 2) Металеві бризки на поверхні заготовки

Крім основних причин, існують і додаткові супутні чинники, які посилюють ймовірність появи дефекту. Зокрема, це неправильне встановлення розливного стакана, через що потік металу може бути направлений під невдалим кутом. Пошкодження каналу стакана після очищення його киснем також змінює характер потоку та провокує утворення бризок. Важливу роль відіграє і якість самих розливних стаканів — якщо вони виготовлені з неякісного матеріалу або мають конструкційні недоліки, це неминуче призведе до порушення процесу розливання.

Щоб запобігти виникненню бризок металу, рекомендується ретельно готувати розливний вузол перед кожною розливкою. Підготовка повинна включати перевірку стану всіх елементів, особливо розливного стакана, а також точне встановлення обладнання відповідно до технологічних інструкцій. Важливо також використовувати розливні стакани високої якості, виготовлені відповідно до стандартів, які забезпечують стабільність подачі рідкого металу в кристалізатор.

Якщо дефекти вже виникли, можливе їх усунення шляхом механічної обробки, зокрема вирубки (видалення дефектних зон) та подальшого шліфування. Ці методи дозволяють відновити поверхню заготовки та уникнути подальшого поширення тріщин або нерівностей у процесі прокатки.

Вплив такого дефекту на прокат є очевидним: бризки розплавленого металу викликають поверхневі нерівності, які можуть трансформуватися в тріщини, мікродефекти або знижувати естетичну якість виробу. У деяких випадках подібні дефекти ускладнюють подальшу механічну обробку або зварювання.

Таким чином, бризки металу на поверхні заготовки — це серйозна проблема, яка потребує уваги як на етапі підготовки обладнання, так і під час самого процесу лиття. Правильна організація технологічного процесу та контроль якості допоможуть зменшити ймовірність появи таких дефектів і підвищити загальну якість готової металопродукції.

Висновки по аналітичній частині

У аналітичній частині дипломної роботи було досліджено конструкцію, принцип роботи та особливості функціонування машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) на підприємстві ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

З’ясовано, що процес безперервного лиття є складним і багатофакторним, а якість готової заготовки значною мірою залежить від стабільності технологічних параметрів, стану обладнання та контролю над процесом кристалізації.

Аналіз основних дефектів литих заготовок — таких як поперечні тріщини, газові пори, шлакові включення, бризки металу — дозволив встановити, що більшість із них виникає внаслідок турбулентності потоку розплавленої сталі в кристалізаторі, нестабільності рівня сталі та вторинного окиснення. Причини дефектів часто пов’язані з хімічним складом сталі, якістю шлакоутворювальних сумішей, станом вогнетривких матеріалів і неправильним налаштуванням параметрів лиття.

Визначено, що своєчасне виявлення дефектів, їх аналіз і впровадження технологічних заходів з профілактики мають вирішальне значення для забезпечення якості готової продукції та зменшення кількості браку

2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Вступ

Електромагнітне «гальмування» потоку гарячого металу в прес-формі машини безперервного лиття заготовок є важливим технологічним процесом, який сприяє покращенню якості литої сталі. Це досягається завдяки зменшенню проникнення неметалевих включень у металеву масу. Особливо актуально це під час швидкісного закидання, коли ризик утворення дефектів значно зростає.

Наукові дослідження, проведені в компанії АББ Industrial Systems, допомогли краще зрозуміти, як саме електромагнітне гальмування впливає на поведінку потоку металу в прес-формі. Вони показали, що використання магнітних полів дозволяє ефективно контролювати процес лиття, роблячи його більш стабільним і передбачуваним.

Безперервне лиття було розроблено як відповідь на зростаючі потреби промисловості. Воно дозволяє не лише підвищити темпи виробництва, але й покращити якість сталі. На відміну від традиційного виробництва дискретних злитків, цей метод забезпечує безперервне формування металевих плит або слябів, які потім можуть бути використані для подальшого прокату в листовий або сортовий метал.

Проте цей процес супроводжується низкою викликів. Зокрема, існує ризик потрапляння неметалевих включень, таких як шлак або газ, у розплавлений метал. Це може статися через високу швидкість лиття, коли струмінь розплавленої сталі проникає глибоко в форму, захоплюючи із собою порошок прес-форми та інші домішки. Наявність таких включень у готовій сталі може значно погіршити її якість.

Рис 2.1. Безперервне лиття слябів на сталеливарному заводі SSAB у Лулео, північна Швеція

Для вирішення цієї проблеми компанія АББ розробила і запатентувала технологію електромагнітного гальмування (ЕМГС). Ця система використовує статичне магнітне поле для контролю потоку розплавленого металу в прес-формі. Завдяки цьому можна рівномірно регулювати швидкість лиття й температуру, що позитивно впливає на якість кінцевого продукту

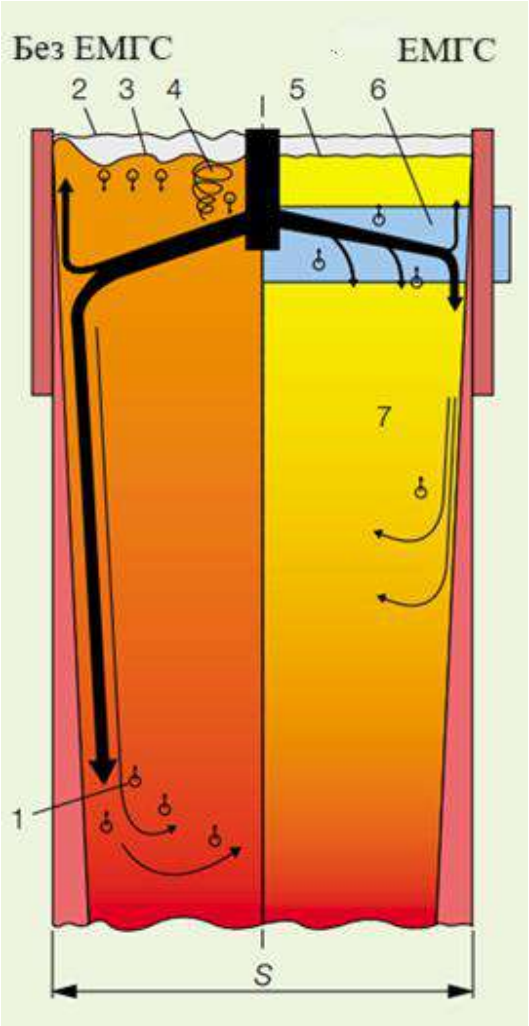


Рис 2.2. Потік у безперервно відлитому пасмі без ЕМГС (ліворуч) і з ЕМГС (праворуч)

S - Ширина нитки

Без ЕМГС

1 – Глибоке проникнення з неметалевих включень

2 – Шар порошку форми

3 – Порушений меніск неметалевих включень

4 – Вихори

З ЕМГС

5 – Спокійніший, гарячіший меніск

6 – Зона гальм

7 – Зменшена глибина проникнення

Знижуючи ризик появи неметалевих включень, ЕМГС значно покращує якість литої сталі.

Хоча термін «електромагнітне гальмо» став загальним для опису систем такого типу, його функція краще передається через назву «електромагнітний регулятор потоку». Це важливе уточнення, яке допомагає зрозуміти, чому ця технологія, яка, здається, повинна уповільнювати процес, насправді дозволяє збільшити швидкість лиття.

Технологія ЕМГС забезпечує рівномірний розподіл швидкості для розплавленої сталі по всьому поперечному перерізу металевої стрічки. Це означає, що кожна частина потоку рухається з однаковою швидкістю, що запобігає утворенню турбулентності та зменшує ризик утворення дефектів. В результаті, швидкість лиття може бути збільшена без погіршення якості сталевої плити.

Для досягнення оптимальних результатів були протестовані різні механізми статичних магнітних полів. Це дозволило досягти значних удосконалень у процесі лиття. Однак такі тести є досить дорогими та трудомісткими, а також залежать від умов навколишнього середовища, які можуть впливати на результати.

З огляду на ці виклики, компанія ABB Industrial Systems зосередила увагу на розробці теоретичних моделей. Ці моделі допомагають обчислити поведінку потоку металу при різному розташуванні котушок магнітного поля. Вони дозволяють передбачити, як саме буде вести себе потік металу, що допомагає оптимізувати процес без необхідності проведення великої кількості експериментів.

Для вивчення ефективності електромагнітного гальмування було розроблено три різні конфігурації:

1 Звичайний ЕМГС - у цій конфігурації два магнітних поля розташовуються локально по всій ширині нитки. Це дозволяє контролювати потік металу на окремих ділянках, що зменшує

глибину проникнення струменя та знижує ризик утворення дефектів.

2 Лінійка ЕМГС (EMBR Ruler) - використовується одне магнітне поле, яке охоплює всю ширину металевої стрічки. Такий підхід забезпечує більш рівномірний контроль потоку по всій ширині, що сприяє підвищенню якості сталі.

3 FC Mold (Форма для контролю потоку) - тут на всю ширину нитки діють два паралельних магнітних поля, між якими розташоване сопло для розплавленої сталі. Це дозволяє ефективно контролювати потік металу та мінімізувати утворення дефектів.

Розроблені математичні моделі були перевірені шляхом порівняння обчисленого потоку рідини з результатами натурних вимірювань у різних установках. Це дозволяє підтвердити ефективність моделей і їх здатність точно передбачати поведінку потоку металу в реальних умовах.

Цей підхід до опису технології електромагнітного гальмування допомагає зрозуміти її важливість для промисловості та потенційні вигоди, які вона може принести, зокрема підвищення якості сталі та збільшення швидкості виробництва.

2.2 Висновки числових досліджень

На основі проведених числових досліджень вдалося зробити кілька важливих висновків, які допомагають зрозуміти, як електромагнітне гальмування впливає на процес безперервного лиття сталі.

Перш за все, було встановлено, що газ аргон і статичне магнітне поле мають значний вплив на потік розплавленої сталі в нитці. Найбільш ефективною технологія електромагнітного гальмування є тоді, коли струмінь розплавленої сталі спрямований у зону, покриту магнітним полем. Це

дозволяє контролювати потік металу, зменшувати турбулентність і забезпечувати рівномірність процесу.

Ще одним важливим результатом стало зменшення кількості неметалевих включень, які проникають глибоко в центр плити. Це досягається завдяки використанню конфігурації магнітного поля, яке діє на всю ширину нитки, на відміну від локальних магнітних полів. Такий підхід значно покращує якість сталі.

Додатково було виявлено, що температура в зоні меніска підвищується на 5–15 °C при використанні електромагнітного гальмування. Це має велике значення для уникнення замерзання розплавленої сталі та забезпечення стабільності процесу. Однак, при литті широких плит на низькій швидкості може виникнути ситуація, коли потужність магнітного поля доведеться зменшити. Це пов’язано з тим, що потік сталі на вузьких гранях плит може стати застійним, якщо гальмівний ефект буде надто сильним. У таких випадках температура може знизитися настільки, що розплавлена сталь на меніску почне замерзати, що зводить нанівець усі переваги гальмування.

Також було встановлено, що дія статичного магнітного поля в прес-формі часто викликає значне зниження середньої швидкості потоку сталі безпосередньо під меніском. Це зменшує ризик утворення дефектів і покращує стабільність процесу.

Особливо цікавою є конфігурація FC Mold, у якій сопло розташоване між двома паралельними магнітними полями. У цьому випадку обмежене «гальмування» струменя відбувається в напрямку вузьких граней плити, що призводить до меншого зниження середньої швидкості на меніску. Основна перевага цієї конфігурації полягає в тому, що потік сталі від вузьких граней до сопла підтримується, що сприяє рівномірності розподілу температури і якості сталі.

Глибина проникнення струменя металу зменшується у всіх трьох конфігураціях ЕМГС у порівнянні з «незагальмованим» потоком. Проте

оптимальна витрата металу та якість сталі залежать від кількох ключових факторів:

Розташування та інтенсивність магнітного поля. Правильна конфігурація поля дозволяє зменшити турбулентність і забезпечити рівномірний потік.

Придушення низькочастотних коливань великої амплітуди. Дія статичного магнітного поля в кристалізаторі ефективно зменшує ризик таких коливань, що знижує ймовірність втягування шлакового порошку вниз потоком. Це особливо важливо, оскільки втягування викликане високими прискореннями та середньою швидкістю потоку в зоні меніска.

Подальше застосування електромагнітного гальмування в процесі безперервного лиття сталі має великий потенціал. Особливо перспективним є використання цієї технології під час лиття заготовок меншого перерізу. Менша глибина проникнення струменя сталі та підвищена температура нижче рівня меніска позитивно впливають на якість сталі. Завдяки системі EMBR (електромагнітне гальмування розплаву) у майбутньому стане можливим значне збільшення швидкості лиття без втрати якості. Це має особливе значення для виробництва тонких слябів, де якість поверхні та внутрішньої структури сталі є критично важливими.

2.3 Звичайні електромеханічні галімівники: Локальні магнітні поля

Одна з перших конфігурацій ЕМГС передбачала використання двох магнітних полів, які розташовуються локально по ширині металевої стрічки. Метою цієї конфігурації було придушення глибокого проникнення струменя розплавленої сталі та зменшення кількості неметалевих включень у металі. Результати вимірювань показали, що така конфігурація дозволила зменшити глибину проникнення струменя до 50%. При цьому температура трохи нижче рівня меніска підвищувалася на 5–10 °C, що позитивно впливало на процес затвердіння.

Однак існує ризик застою потоку при застосуванні повного гальмівного зусилля. Крім того, під час лиття вузьких плит основний потік металу може концентруватися в одному каналі, що іноді викликає збільшення кількості неметалевих включень, які потрапляють у затверділу оболонку. Це підкреслює важливість проведення моделювання для визначення оптимальної конфігурації ЕМГС.

У ЕМГС першого покоління були розміщені два магнітних поля, які діють локально по ширині, як показано на рисунку 2.3.

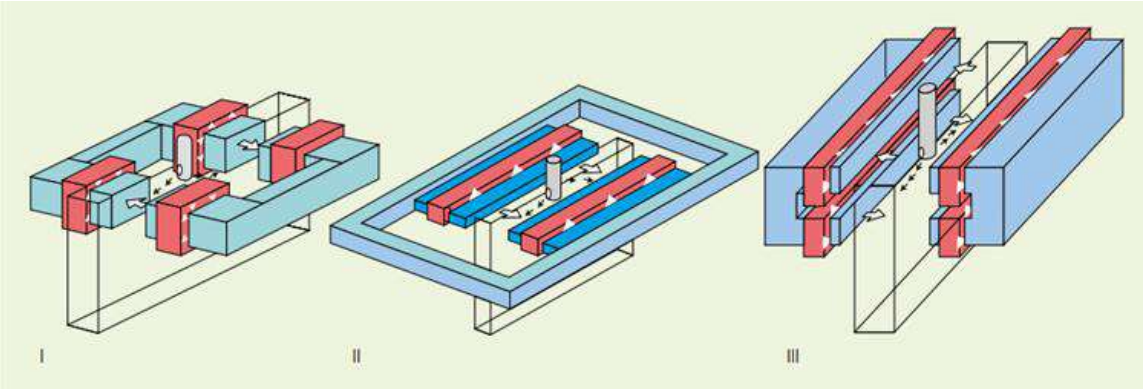


Рис. 2.3 Конфігурації електромагнітного гальма (ЕМГС)

1 – Conventional ЕМГС: два магнітних поля розміщуються і діють локально по всій ширині нитки; 2 – Лінійка ЕМГС: одне магнітне поле охоплює всю ширину пасма; 3 – FC Mold: два паралельних магнітних поля покривають всю ширину нитки; Отвір сопла між полями

Розрахований тривимірний потік розплаву демонструє, як магнітне поле впливає на рух сталі. На основі цих моделей можна також побачити індуковані струми та сили Лоренца, які виникають у процесі. Ці сили є ключовими для регулювання потоку, оскільки вони забезпечують його стабілізацію та зменшення турбулентності. Розрахунковий тривимірний потік показаний в 2.4, індуковані струми і сили Лоренца на рис 2.5.

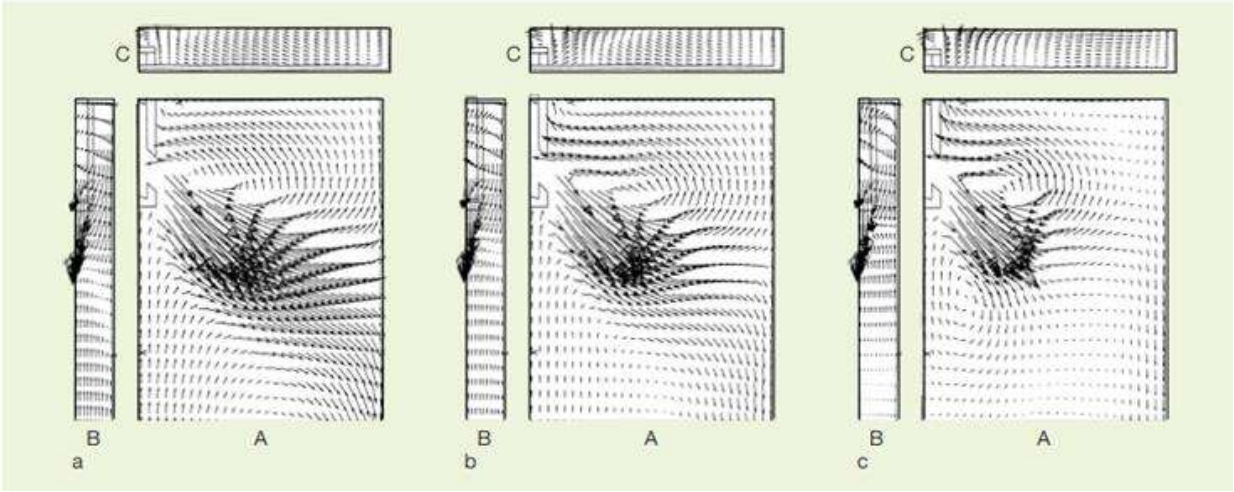


Рис 2.4 Базова конфігурація ЕМГС: розрахункове поле потоку на перерізах A, B і C для різних густин потоку B локальних магнітних полів

Розмір пасма 245x1600 мм

Швидкість закидання 1,6 м/хв

Глибина зануреного сопла 190 мм

Кут виходу сопла –45°

Питома потужність меніска 75 кВт/м2

Витрата газу аргону 10 л/хв

Температура перегріву 10 °C

A Поперечний переріз посередині пасма	а Б = 0 Т
B Поперечний переріз 100 мм від сопла до вузької поверхні пасма	б Б = 0,16 Т
C Поперечний переріз на 20 мм нижче меніска	с Б = 0,32 Т

Температура перегріву 10 °C

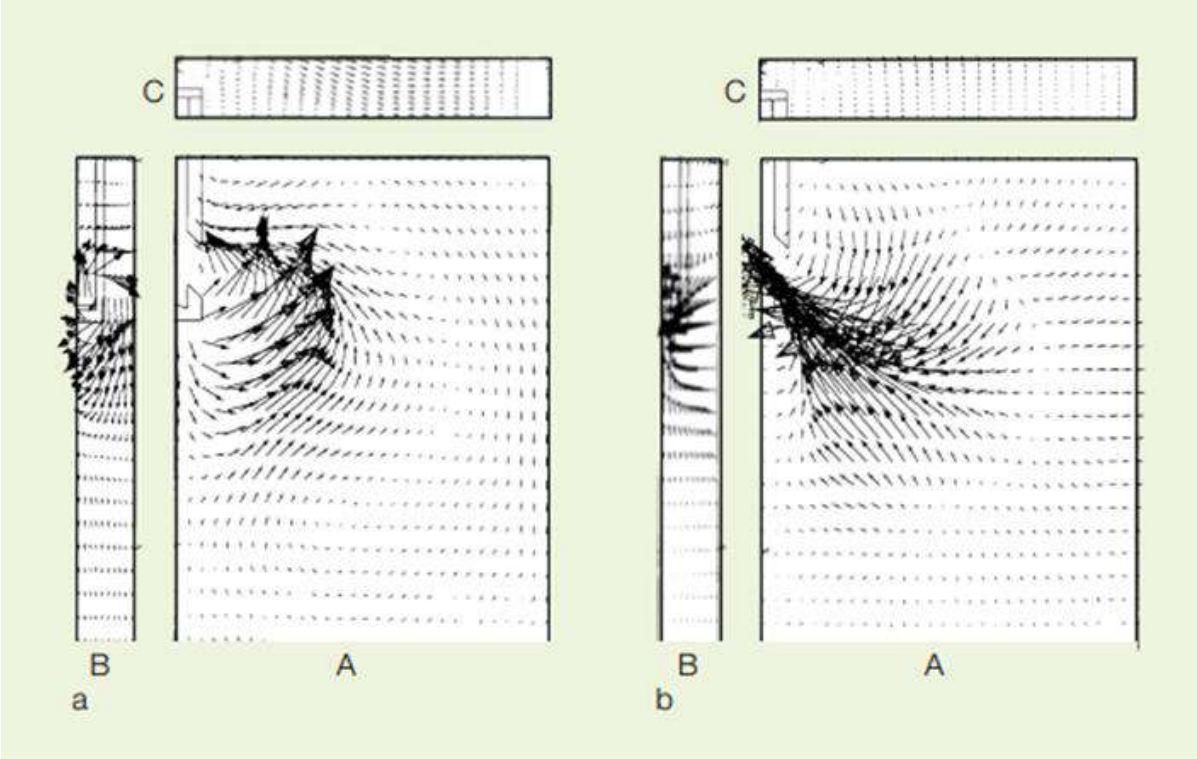


Рис 2.5 Індуковані струми (а) і сили Лоренца (б) в поперечному перерізі A, B і C з локальними магнітними полями.

Дані лиття такі ж, як і на рис.2.4 , однак при щільності магнітного потоку 0,32 Т

2.4 Лінійні електромеханічні гальмівні системи – одне магнітне поле охоплює всю ширину пасма

ЕМГС другого покоління, відомий під назвою ЕМГС Ruler, являє собою сучасну і значно вдосконалену систему електромагнітного гальмування розплавленої сталі. Її ключовою особливістю є застосування одного магнітного поля, яке рівномірно охоплює всю ширину литої нитки, на відміну від традиційних локальних систем, що діють лише на частину зони кристалізації. Така конструкція забезпечує більш стабільний і симетричний вплив на розплав, що суттєво покращує контроль за поведінкою струменя в критичних зонах кристалізатора.

Перші промислові випробування ЕМГС Ruler відбулися у 1991 році на ливарних заводах Sollac у Дюнкерку (Франція) та Hoogovens в Еймюдені (Голландія). Ці об’єкти стали одними з перших, хто впровадив подібні технології в умовах серійного виробництва, що дозволило провести глибокий аналіз ефективності цієї конфігурації в реальних умовах лиття.

Важливим фактором у роботі ЕМГС є взаємодія глибини зануреного сопла та параметрів потоку газу аргону, які подаються для створення інертного середовища. Як показано на рисунку 2.6 , поверхневий горизонтальний потік рідини, що виникає при малій глибині занурення сопла, має тенденцію залишатися над зоною дії магнітного поля, що знижує ефективність гальмування. У той же час, збільшення глибини та спрямованості сопла вниз у глибину форми дає змогу направити струмінь безпосередньо в область магнітного поля, забезпечуючи оптимальне гальмування потоку.

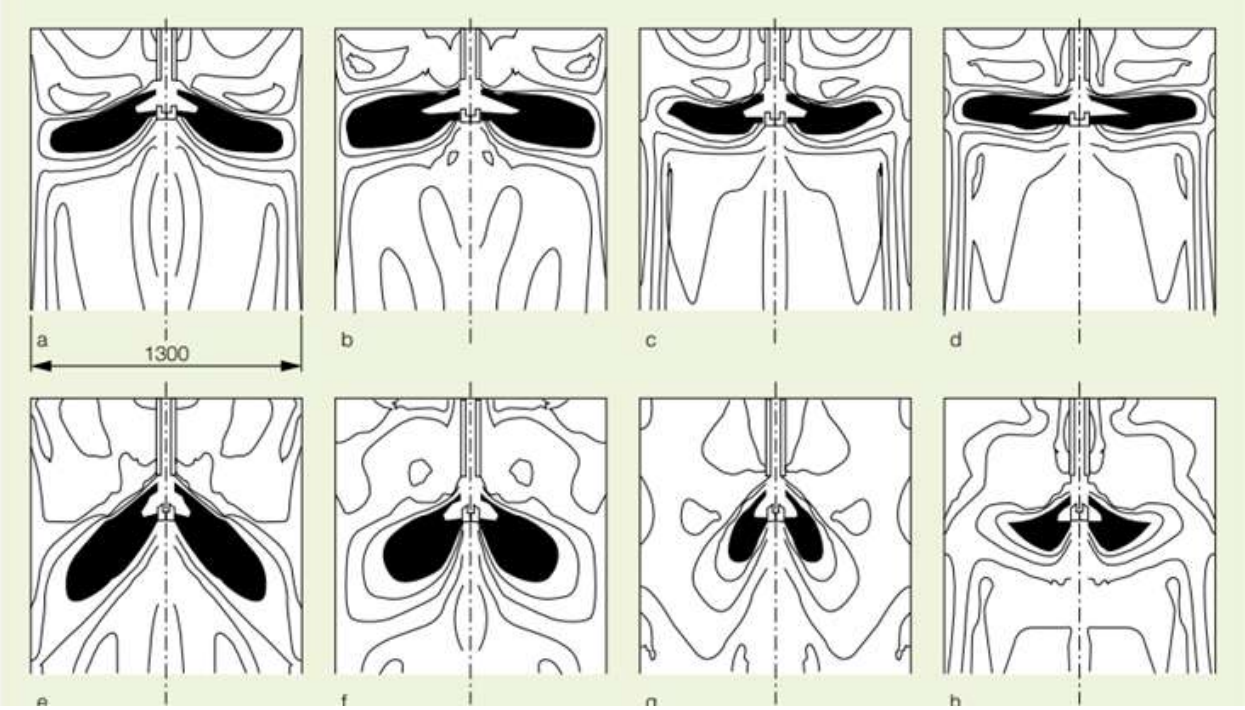


Рис 2.6 Лінійка ЕМГС: карти абсолютної швидкості в поперечному перерізі через середину нитки.

Дані дійсні для всіх карт:

Швидкість у чорних областях становить 0,4 – 1,0 м/с.

Дані дійсні для всіх карт:

Розмір пасма 225x1300 мм

Швидкість закидання 1,5 м/хв

Питома потужність меніска 75 кВт/м2

Температура перегріву 20 °C

Щільність потоку 430 мм нижче меніска 0,3 Т

Глибина зануреного сопла 150 мм, кут виходу сопла 0°	Глибина зануреного сопла 250 мм, кут виходу сопла –30°
a ЕМГС вимкнено, потік газу аргону 0	e ЕМГС вимкнено, потік газу аргону 0
b ЕМГС вимкнено, потік газу аргону 10 л/хв	f ЕМГС вимкнено, витрата газу аргону 10 л/хв
c ЕМГС увімкнено, потік газу аргону 0	g ЕМГС увімкнено, потік газу аргону 0
d ЕМГС включено, витрата газу аргону 10 л/хв	h ЕМГС включено, витрата газу аргону 10 л/хв

Проте тут слід враховувати ризики: якщо система ЕМГС розташована занадто високо, то газові бульбашки аргону можуть збиратися поблизу сопла, утворюючи зони нестабільності. Загалом же, використання «лінійки» ЕМГС, тобто суцільного магнітного поля, призводить до помітного підвищення температури в зоні меніска — на 5–15 °C, що позитивно впливає на стабільність процесу кристалізації.

Моделювання потоків та натурні експерименти засвідчили, що статичне магнітне поле в кристалізаторі дійсно ефективно впливає на поведінку розплаву. У відсутності ЕМГС витрата сталі, її напрямок та швидкість зазвичай визначаються геометрією плити, режимом лиття та налаштуванням аргону. Встановлення ЕМГС дає змогу точно регулювати швидкість потоку в зоні меніска, адаптуючи її до конкретних умов лиття. Зазвичай застосовується зменшення швидкості, але варто бути обережним: надмірне гальмування може спричинити реверс потоку, тобто його

відхилення від сопла до вузьких граней, що створює ризик затвердіння розплаву в цих зонах.

На рис. 2.7 наведено моделювання траєкторії частинок розміром 200 мкм, що дає уявлення про вплив конфігурації магнітного поля на розподіл включень. На рис. 2.8 показані температурні карти для слябу шириною 2500 мм, що демонструють, як повна гальмівна потужність призводить до майже повної зупинки потоку в зонах біля вузьких граней. Такий ефект, особливо при низькій температурі перегріву, може призвести до утворення застиглого металу, що порушує безперервність процесу лиття.

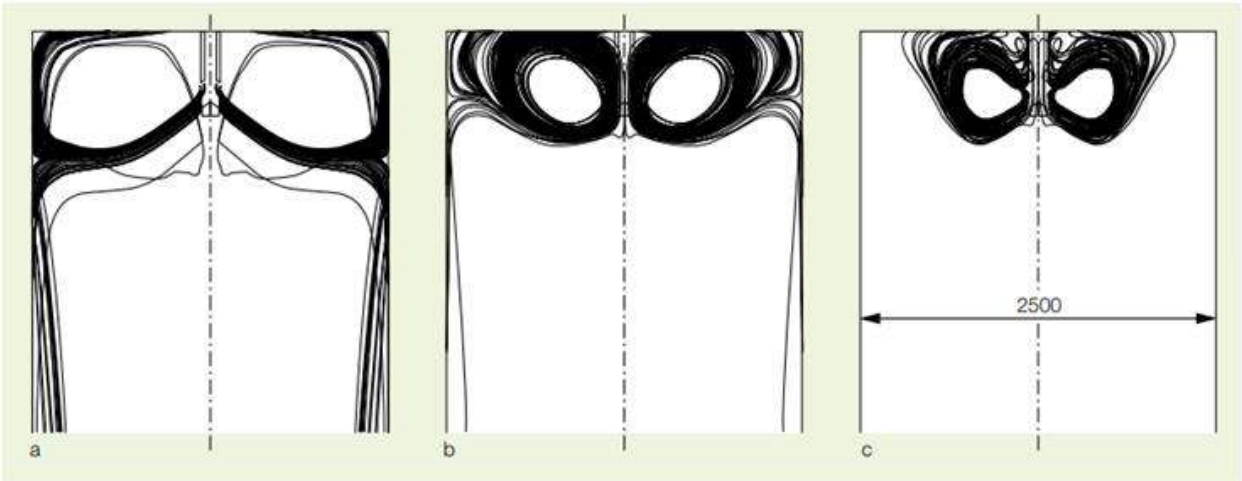


Рис 2.7 Лінійка ЕМГС: відстеження частинок розміром 200 мкм в середині нитки для щільності магнітного потоку 0 Т (а), 0,15 Т (б) і 0,30 Т (в)

Розмір пасма 250х2500 мм

Швидкість закидання 0,9 м/хв

Глибина зануреного сопла 225 мм

Кут виходу сопла –20°

Питома потужність меніска 150 кВт/м2

Витрата газу аргону 5 л/хв

Температура перегріву 15 °С

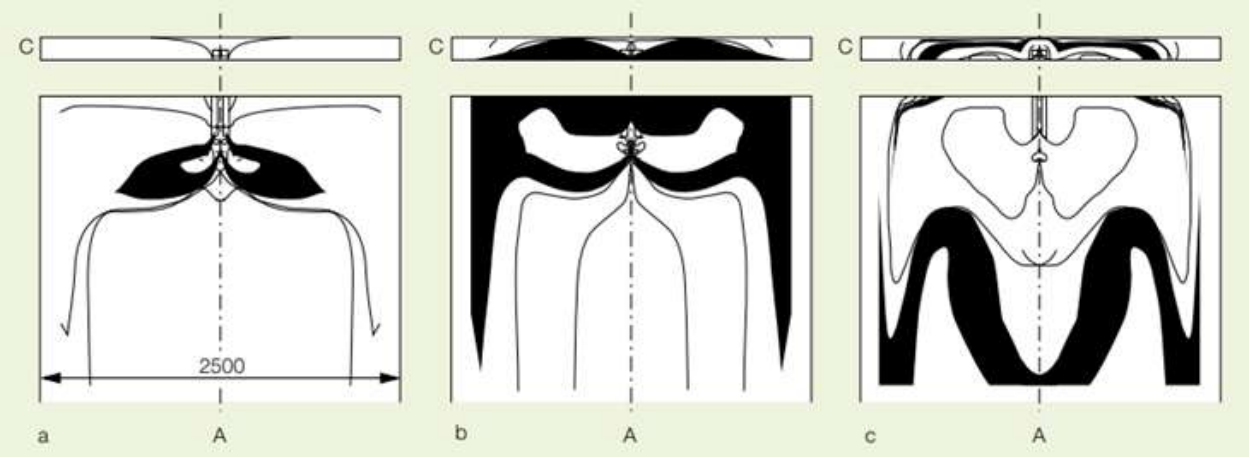


Рис 2.8 Карти температур для нитки шириною 2500 мм з лінійкою ЕМГС; щільність магнітного потоку становить 0 Т (а), 0,15 Т (б) і 0,30 Т (в).

Температура перегріву в чорній області становить 6-8 ° С (дані лиття, див. Рис. 2,4,2).

А Поперечний переріз посередині пасма

С Поперечний переріз на 20 мм нижче меніска

Щоб уникнути таких негативних наслідків, рекомендовано зменшувати щільність магнітного потоку, регулювати кут та глибину занурення сопла, або підвищувати швидкість лиття, якщо дозволяють умови. Такий підхід дозволяє уникнути ризиків, пов’язаних із переохолодженням у вузьких зонах кристалізатора.

Окремо варто відзначити, що ЕМГС Ruler також впливає на глибину проникнення неметалевих включень, значно її зменшуючи. Як підтверджують результати досліджень, проведених на компанії Preussag Stahl у Зальцгіттері (Німеччина), впровадження ЕМГС дає змогу суттєво скоротити зону перемішування, яка зазвичай виникає в момент зміни хімічного складу сталі під час переходу з одного сорту на інший. Це означає зменшення відходів і підвищення однорідності слябів.

Таким чином, ЕМГС другого покоління (Ruler) є ефективним інструментом для оптимізації процесу безперервного лиття, зниження

дефектності, покращення температурного режиму в зоні меніска та підвищення загальної якості сталевого продукту.

Як показали вимірювання в компанії Preussag Stahl в Зальцгіттері (Німеччина), електромагнітне гальмування зменшує зону перемішування, що виникає в пасмі при зміні ступеня 2.8

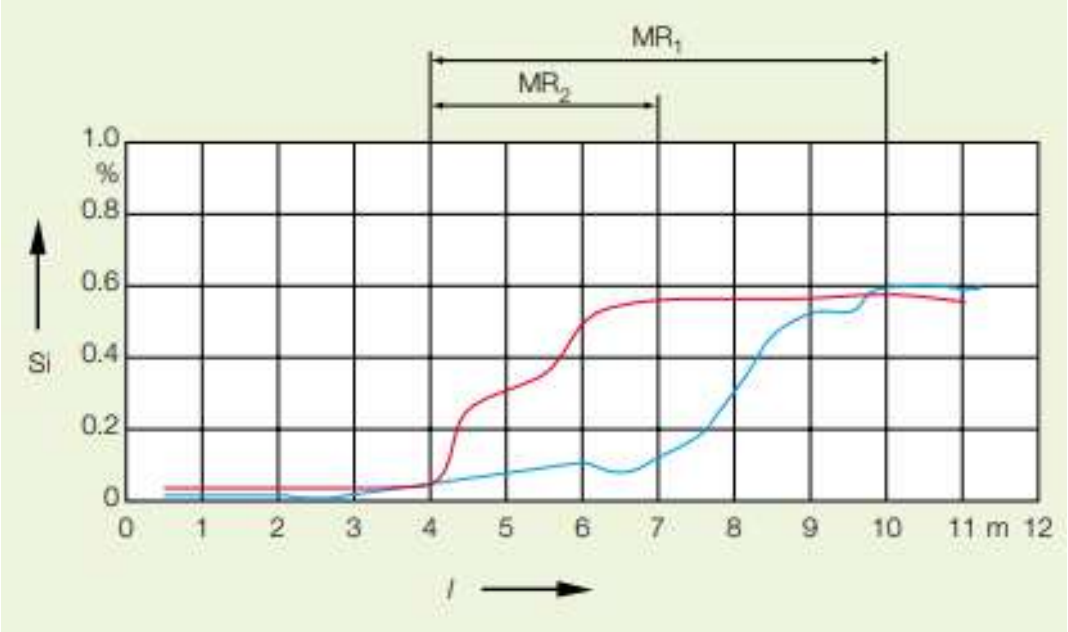


Рис 2.9 Зменшення зони змішування з 6 до 3 м під час зміни сорту на заводі Preussag Stahl AG у Зальцгіттері, Німеччина, без ЕМГС (синій) та з ЕМГС (червоний)

I – Довжина пасма

Si – Вміст кремнію

MR_1 – Зона змішування без ЕМГС

MR_2 – Зона змішування з ЕМГС

2.5 Паралельні магнітні поля

Конфігурація FC Mold (див. рис. 2.3.) була створена в рамках спільного інженерного проєкту, який реалізували японська корпорація Kawasaki Steel у тісній співпраці з компанією ABB — світовим лідером у сфері автоматизації та енергетичних технологій. Розробка цієї конфігурації стала логічною відповіддю на потребу покращити контроль над динамікою потоків рідкої сталі в зоні кристалізатора під час безперервного лиття. Серед ключових

завдань — зменшення глибини проникнення струменя та зниження кількості неметалевих включень, що негативно впливають на якість кінцевого металу.

Головною особливістю FC Mold є застосування двох паралельних магнітних полів, які повністю охоплюють ширину сталевого пасма у формі. Така конструкція дає змогу створити симетричне магнітне середовище, в якому рідка сталь зазнає контрольованого впливу індукованих струмів. Це дозволяє досягти більш стабільного потоку, особливо в критичній зоні меніска, де навіть незначні порушення можуть призвести до виникнення дефектів поверхні чи внутрішньої структури слябу.

На рисунку 2.9 продемонстровано результати моделювання, які відображають індуковані струми в рідкому металі та розподіл фракцій газу аргону під впливом FC Mold. Як видно з аналізу, навіть за умови відносно невеликої щільності магнітного потоку, система демонструє високу ефективність: глибина проникнення струменя розплаву зменшилася приблизно на 50%. Це суттєвий показник, який підтверджує спроможність такої конфігурації значно знижувати ризик утворення внутрішніх вкраплень та дефектів.

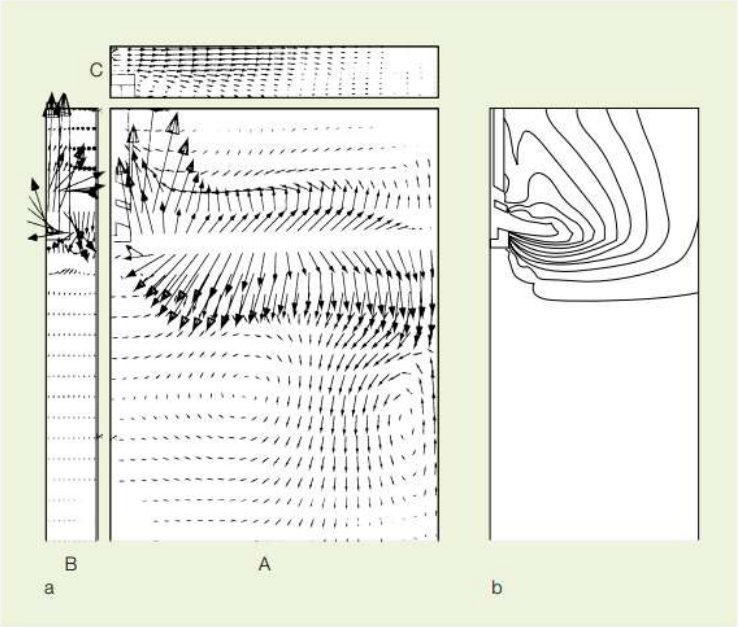


Рис 2.10 Конфігурація FC Mold: струми, індуковані в поперечних перерізах. A, B і C (а) і фракція порожнечі газу аргону в поперечному перерізі A (б). Щільність потоку 0,3 Т.

Чотири виходи сопла лежать між двома магнітними полями. Хоча щільність магнітного потоку відносно невелика і індуковані струми протікають в різних напрямках, глибина проникнення включень знижується до 50 відсотків.

Розмір пасма 260x1700 мм
Швидкість закидання 1,7 м/хв
Глибина зануреного сопла 200 мм
Кут виходу сопла –20°
Питома потужність меніска 75 кВт/м2
Витрата газу аргону 16 л/хв
Температура перегріву 25 °C

Результати полів це підтверджують.
A Поперечний переріз посередині пасма
B Поперечний переріз 100 мм від сопла до вузької поверхні пасма
C Поперечний переріз 20 мм нижче меніска

Ще одним важливим аспектом є поведінка підменіскового потоку. Хоча середня швидкість потоку під меніском у присутності FC Mold знижується лише незначною мірою, ця зміна позитивно впливає на стабільність процесу лиття. Зменшення турбулентності сприяє збереженню цілісності шлакового шару, знижує ризик захоплення порошку форми в рідкий метал і мінімізує термічні втрати.

Крім того, ефективність гальмування потоку, яка забезпечується FC Mold, може регулюватися завдяки зміні глибини занурення сопла та кута його виходу. Це дозволяє операторам адаптувати роботу установки до різних режимів лиття, забезпечуючи оптимальну якість сталі в широкому діапазоні умов.

Завдяки поєднанню теоретичного моделювання та практичних випробувань, було підтверджено, що FC Mold — це не лише ефективна альтернатива іншим типам електромагнітного гальмування, але й універсальний інструмент для стабілізації процесу лиття у складних виробничих умовах.

2.6 Результати з використанням перехідної моделі

Статичне магнітне поле, що використовується у системах електромагнітного гальмування (ЕМГС), зарекомендувало себе як надзвичайно ефективний засіб для зменшення низькочастотних, високоамплітудних коливань у зоні прес-форми під час безперервного лиття сталі. Ці коливання, які виникають поблизу меніска, здатні значно ускладнити процес кристалізації, призводити до нестабільності шлакового шару та збільшувати ризик утворення дефектів на поверхні або всередині злитка.

На відміну від підвищення температури в зоні меніска, яка спостерігається лише приблизно через дві хвилини після ввімкнення ЕМГС, ефект зменшення коливань починає проявлятися практично миттєво. Це свідчить про те, що магнітне поле впливає на поведінку струменя не лише через зміну теплового балансу, а й безпосередньо — за рахунок взаємодії з потоками рідкого металу, змінюючи їх динаміку.

Розрахункові значення підменіскової швидкості, заміряної на відстані 325 мм від середини нитки, наочно демонструють, як змінюється швидкість потоку у відповідь на дію магнітного поля (див. рис. 2,6,1). Такі дані дозволяють точно змоделювати і передбачити поведінку розплавленої сталі в найважливіших зонах кристалізатора.

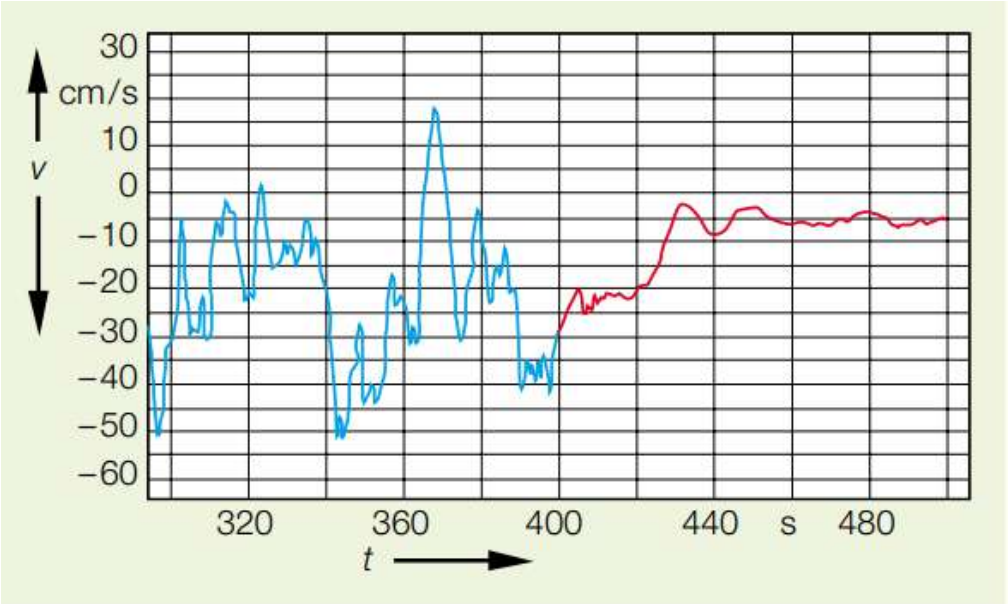


Рис 2.11 Швидкість на меніску без ЕМГС (синій) і з ЕМГС (червоний), розрахована за допомогою моделі LES

Розмір пасма 50 х1300 мм

Швидкість закидання 5,5 м/хв

Крім теоретичних обчислень, ефективність цієї технології була підтверджена практичними спостереженнями у польових умовах. Зокрема, на кількох промислових установках ЕМГС, де проводилися систематичні вимірювання параметрів потоку, фіксувалося стійке зменшення амплітуди коливань, а також покращення загальної стабільності процесу лиття.

Показовим прикладом є досвід ливарного заводу Hoogovens у Нідерландах(рис 2,6,2) , де після встановлення ЕМГС спостерігалося значне зниження як середньої швидкості потоку, так і інтенсивності коливань. Таке зниження є надзвичайно важливим, оскільки воно прямо впливає на зменшення ризику захоплення шлакового порошку в рідку сталь. Відомо, що саме захоплення шлаку є однією з головних причин утворення неметалевих включень, що псують структуру й поверхню металевої заготовки.

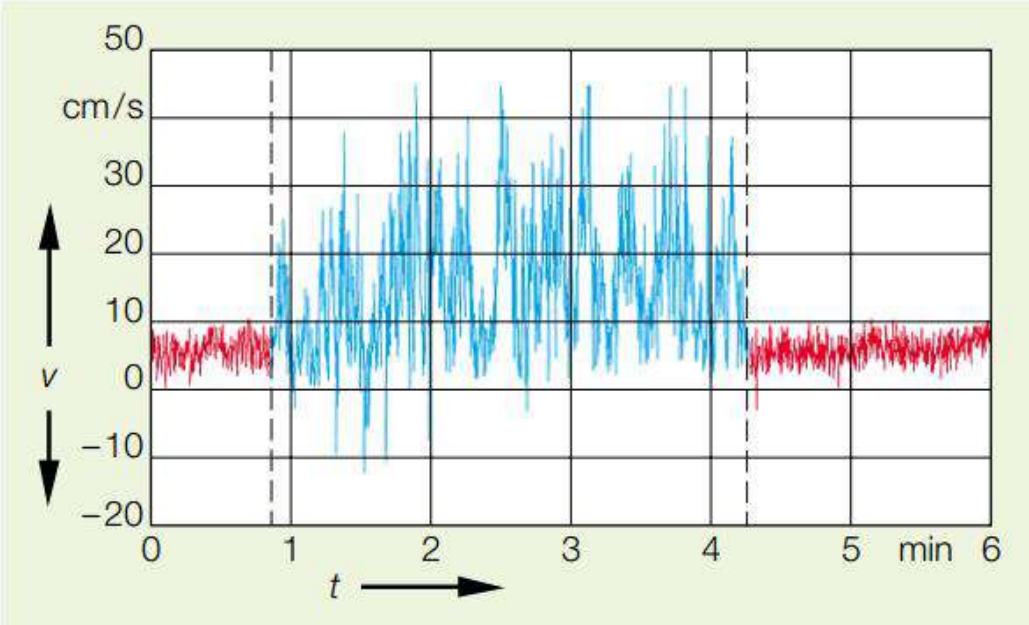


Рис 2.12 Виміряна швидкість v на меніску, без ЕМГС (синій) і з ЕМГС (червоний)

Розмір пасма 225x2100 мм

Швидкість закидання 1,3 м/хв

Таким чином, результати як моделювання, так і практичного застосування однозначно доводять, що використання ЕМГС забезпечує швидкий і надійний контроль динаміки потоку розплаву, знижуючи небажані коливання та запобігаючи утворенню дефектів у готовій продукції.

2.7 Фізичні та математичні принципи, що застосовуються до моделей

Були розроблені дві математичні моделі з метою прогнозування впливу електромагнітного гальмування на потік розплавленої сталі. Перша з них — модель турбулентності у стаціонарному режимі — застосовується для визначення середнього характеру руху сталі в кристалізаторі за різних конфігурацій. У цій моделі враховується підйомна сила аргону, що подається

в рідку сталь, а також особливості розподілу неметалевих включень під дією різних електромагнітних умов. Розрахунок тривимірного магнітного поля здійснювався за допомогою програмного забезпечення TOSCA від компанії Vector Fields, а результати цих розрахунків використовувалися в програмі Harwell Flow3D для подальшого моделювання потоків сталі.

Друга модель — це нестаціонарна модель LES (Large Eddy Simulation), яка дозволяє детально аналізувати турбулентні процеси у потоці, зосереджуючи увагу на великих вихорах. Такий підхід дає змогу глибше зрозуміти, як електромагнітне гальмування впливає на коливання меніска — поверхневого шару розплаву в кристалізаторі. Оскільки стабільність меніска є критично важливою для якості литої заготовки, ця модель відіграє важливу роль у покращенні процесів безперервного лиття сталі.

Висновки по основній частині

У основній частині дипломної роботи було досліджено вплив електромагнітного гальмування (ЕМГС) на процес безперервного лиття заготовок. На основі числових моделей та аналізу експериментальних даних встановлено, що застосування статичного магнітного поля дозволяє зменшити турбулентність потоку, знизити глибину проникнення струменя та зменшити кількість неметалевих включень у металі.

Порівняння трьох конфігурацій ЕМГС — звичайної, лінійки EMBR та FC Mold — показало, що кожна з них має свої переваги в залежності від умов лиття. Найефективнішою в умовах стабільного виробництва виявилась конфігурація FC Mold, яка дозволяє досягти симетричності потоків, підвищити температуру в зоні меніска та уникнути застійних зон.

Результати дослідження підтверджують, що ЕМГС суттєво покращує рівномірність розподілу температури, стабільність меніска та знижує ймовірність утворення дефектів. Це створює передумови для підвищення швидкості лиття без втрати якості продукції, особливо актуально при виробництві тонких слябів.

Таким чином, впровадження електромагнітного гальмування є ефективним інженерним рішенням для удосконалення процесу безперервного лиття сталі.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Про кожний нещасний випадок потерпілий або працівник, який його виявив, або інша особа - свідок нещасного випадку повинні негайно повідомити безпосереднього керівника робіт чи іншу уповноважену особу підприємства і вжити заходів до надання необхідної допомоги потерпілому.

Надання першої допомоги потерпілому повинно проводитися в такій послідовності:

а) усунути впливу на організм потерпілого ушкоджує чинників, що загрожують здоров'ю і життю (звільнити від дії електричного струму, погасити палаючий одяг, витягти з води і т. д.), оцінити стан потерпілого;

б) визначити характер і тяжкість травми у потерпілого і послідовність заходів щодо його врятування;

в) виконати необхідні заходи щодо порятунку постраждалого (відновити прохідність дихальних шляхів ; провести штучне дихання , непрямий масаж серця ; зупинити кровотечу ; накласти павязку і т. д.);

г) підтримувати основні , життєві функції організму потерпілого до прибуття медичного працівника;

д) при нещасному випадку, що стався в межах структурного підрозділу підприємства, слід викликати швидку медичну допомогу за тел. 103, або прийняти заходи для транспортування постраждалого в найближчий лікувальний заклад.

При ураженні електричним струмом необхідно якомога швидше звільнити потерпілого від дії струму, оскільки від тривалості його дії на організм залежить тяжкість електротравми. Відключення електроустановки можна виконати за допомогою вимикача, рубильника або іншого пристрою, що вимикає, а також шляхом зняття запобіжників, роз'єму штепсельного з'єднання, створення штучного короткого замикання на повітряній лінії (набросом) і т. д. При одночасному ураженні блискавкою кількох людей, допомогу необхід-

но надавати спочатку потерпілим, які знаходяться в стані клінічної смерті, а вже потім іншим, у яких ознаки життя збереглися.

Якщо потерпілий від ураження електричним струмом знаходиться в несвідомому стані, але дихання і пульс стійкі, його слід зручно укласти, розстебнути одежу, створити приплив свіжого повітря, піднести до носа змочений нашатирним спиртом ватний тампон і забезпечити повний спокій. При відсутності дихання - робити штучне дихання і зовнішній (непрямий) масаж серця безперервно до прибуття лікаря.

Навіть якщо потерпілий знаходиться у свідомості і каже про хороше самопочуття, його необхідно направити до лікувального закладу у супроводі медика і на носилках, оскільки стан таких людей може раптово погіршитися в будь-який момент!

Надати хворому відповідне положення: укласти на тверду поверхню, поклавши під лопатки валик з одягу. Голову максимально закинути назад. Очистити ротову порожнину від слизу і блювотних мас намотаним на вказівний палець носовою хусткою.

При непрямому масажі серця долоні однієї руки встановлюють на нижній третині грудини, а долоню іншої поміщають на тил першої, перпендикулярно до її осі; пальці першої кисті повинні бути злегка підняті і не чинити тиску на грудну клітку потерпілого. Руки повинні бути випрямлені в ліктьових суглобах. Продукує масаж повинен стояти достатньо високо як би нависаючи своїм тілом над потерпілим і чинячи тиск на грудину не тільки зусиллям рук, але і вагою свого тіла. Сила натискання повинна бути достатньою, для того щоб змістити грудину у напрямку до хребта на 4-6 см.

Темп масажу повинен бути таким, щоб забезпечити не менше 60 стиснень серця в 1 хв.

Через кожні 10-12 натискань на грудну клітку робити 2-3 глибоких вдування в рот або ніс потерпілого, попередньо розкривши рот шляхом висування нижньої щелепи вперед (для цього по два пальці обох рук поставити позаду кутів нижньої щелепи і, впираючись великими пальцями в її край, ви-

сунути нижню щелепу вперед так, щоб нижні зуби були попереду верхніх).Якщо неможливо відкрити рот потерпілого, вдувати повітря в його легені слід через ніс, щільно закривши при цьому його рот.

Штучне дихання припиняється при поновленні самостійно дихання потерпілого. Час проведення серцево-легеневої реанімації повинно проводитися не менше 30-40 хвилин або до прибуття медичних працівників.

Перша допомога при зовнішній кровотечі залежить від його характеру. Так, при невеликому капілярному або венозній кровотечі з рани на руці або нозі достатньо накласти стерильну пов'язку і тугіше її прибинтувати.

Мікротравму необхідно обробити розчином антисептичний засіб і звернутися в поліклініку або травматичний пункт, тому що будь-яке пошкодження шкірного покриву може привести до розвитку важкого гнійного процесу, а також правця.

При пошкодженні кровоносної судини і зовнішнього кровотечі необхідно досить сильно притиснути пальцями судину, що кровоточить до підлягає кістки вище рани і накласти тугу пов'язку поверх стерильної або чистої серветки. При будь-якій кровотечі пошкодженої частини тіла надають піднесене положення і забезпечують спокій. Остаточна зупинка кровотечі проводиться в лікувальному закладі, в яке негайно повинен бути доставлений потерпілий.

Якщо мова йде про найстрашніше артеріальній кровотечі, не варто витрачати дорогоцінний час на пошуки джгута. Як найшвидше пережміть пальцями фонтан червоної крові, інакше до моменту застосування джгуту людина може не дожить. Але тому вже через 10-15 хв руки починають втомлюватися, і тиск слабшає, то у зв'язку з цим, відразу ж після притиснення артерії, потрібно покликати на допомогу тих, хто поруч і викликати швидку допомогу.

Кровотеча з кінцівки можна швидко зупинити шляхом згинання кінцівок в суглобах. Для цього необхідно засукати рукав або штанину штанів потерпілого, зробити грудку (валик) з будь-якої матерії і вкласти його в місце згину суглоба, розташованого вище місця поранення, і сильно до відмови зі-

гнути суглоб. У цьому положенні руку або ногу треба зв'язати або прив'язати до тулуба потерпілого.

Якщо цей спосіб застосувати неможливо через перелом кінцівок, необхідно накласти джгут, використовуючи для цього пружну, що розтягується тканина, гумову трубку або стрічку. Але не слід для цього використовувати дріт!

Накладати джгут треба вище місця поранення, причому обов'язково поверх тканини або одягу. Перший виток роблять особливо тугим, а наступні три поступово послаблюють так, щоб між ними не ущемляє шкіра. Тиск на кінцівку має бути достатнім для припинення кровотечі, але не викликає повного знекровлення кінцівки.

Після накладення джгута надійно прикріпити до нього записку із зазначенням часу, дати накладення, прізвища та посади рятувальника. Необхідно пам'ятати, що накладений джгут не можна тримати довше 1,5-2 годин, а в холодну пору року - 0,5-1 год. Періодично через 30-60 хв. джгут слід послабити, розпустити на кілька хвилин (на цей час перетиснути судину вище джгута пальцем), помасажувати (легко) борозну від джгута, попередньо передаючи кровоточить посудину пальцем або долонею, і накласти джгут знову, якщо кровотеча не зупинено. Категорично забороняється накладати поверх джгута пов'язки, він повинен бути добре видно.

Кровотеча з малої артерії найкраще зупинити накладенням пов'язки, що давить на оброблену рану поверх стерильної або чистої серветки (бинта).

Перша допомога при опіках полягає у припиненні дії вражаючого фактора. При опіках полум'ям слід загасити одяг, винести потерпілого із зони пожежі; при опіках гарячими рідинами або розплавленим металом - швидко видалити одяг з області опіків (одяг краще розрізати, можна по швах, але таким чином, щоб вся рана стала добре доступна). Правильно охолоджувати уражене місце холодною водою на протязі 10-15 хвилин.

Обпечену поверхню прикрити бинтом або марлею. При неглибоких опіках бинт або марлю змочити спиртом.

При опіках очей електричною дугою необхідно прикласти до очей холодні примочки.

При опіках міцними кислотами (сірчаної, соляної) уражене місце негайно промити під струменем води протягом 10-15 хвилин, а потім обробити 10 % - м розчином питної соди.

При попаданні кислоти або її парів в очі або порожнину рота промити очі і порожнину рота 5 % - м розчином питної соди.

При опіках хімічними речовинами - одяг або її обривки, просочені хімічною речовиною, негайно видаляють. Уражену область добре обмивають великою кількістю проточної води протягом 10-15 хв., а при запізнілому зверненні - протягом 30-40 хв. Не можна застосовувати промивання водою при опіках, викликаних алюміній органічними сполуками, так як ці речовини при зіткненні з водою спалахують. Після обмивання використовують нейтралізуючі засоби: при опіках кислотою накладають стерильні серветки, змочені 4 %-м розчином бікарбонату натрію (питної соди), при опіках лугом серветки змочують слабким розчином борної або оцтової кислоти (1 чайна ложка на склянку води). Потім обов'язково викликають фельдшера для подальшого надання допомоги.

При проходженні електричного струму через тіло людини може виникнути небезпека ураження його окремих органів або організму загалом. Основними видами поразки є: опіки електричною дугою, електричний удар, розрив м’язових тканин та ін.

Величина струму 0,01-0,02 А для змінного струму самтотою 50 Гц і 0,05 А для постійного струму є небезпечною для життя, а 0,1 А і вище – смертельною.

Існує чотири особливості ураження електричним струмом:

- відсутність зовнішніх ознак небезпеку ураження електричним струмом. Людина не може побачити, почути, нюхати або якось інакше завчасно виявити можливість ураження;

- тяжкість електротравм. Втрата працездатності при електротравма, як правило, буває тривалою, можливий смертельний результат;

- струми промислової частоти величиною 10-25 мА можуть викликати інтенсивні судоми м'язів, внаслідок чого відбувається так зване "приковування" до струмоведучих частин. Людина при цьому не може самостійно звільнитися від дії електричного струму;

- існує можливість подальшого механічного травмування.

Кожен працівник, повинен знати безпечні способи звільнення потерпілого від дії електричного струму, забезпечивши при цьому особисту безпеку від ураження електрострумом.

Безпосередньо перед початком роботи необхідно перевірити:

- відповідність напруги і частоти струму електричної мережі до напруги і частоти струму електродвигуна електроінструмента, зазначених в паспортних даних;

- надійність закріплення робочого виконавчого інструмента;

- наявність бирок із зазначенням інв. номера та дати наступного випробування опору ізоляції.

Забороняється працювати з електроінструментом, у якого закінчився термін періодичної перевірки, а також у разі виникнення хоча б однієї з таких несправностей:

- пошкодження штепсельного з'єднання, кабелю або його захисної трубки;

- пошкодження кришки вимикача;

- ненадійна робота вимикача;

- іскріння щіток на колекторі, що супроводжується круговим вогнем на його поверхні;

- витікання масла з редуктора або вентиляційних каналів;

-поява диму або специфічного запаху, характерного для ізоляції, що горить;

- поява підвищеного шуму, стуку, вібрації;

- поломка або поява тріщин в корпусних деталі, рукоятці, захисному огородженні;

- пошкодження робочої частини інструмента;

- зникнення електричного зв'язку між металевими частинами корпусу та нульовим захисним штирем штепсельної вилки.

Виробництво сталі пов'язане із значним промисловим впливом на довкілля. Основні цілі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в області екології – це виконання природоохоронних зобов'язань і забезпечення екологічної безпеки. Для цього удосконалюєть система екологічного менеджменту, оновлюються природоохоронні об'єкти, розробляються нові методи переробки і зберігання відходів. Для ефективного управління питаннями охорони довкілля ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» одним з перших металургійних підприємств України упровадило систему екологічного менеджменту. Щорічно підприємство підтверджує відповідність системи екологічного менеджменту вимогам міжнародного стандарту ISO 14001:2015 що свідчить про її високу надійність і результативність. На підприємстві затверджена Екологічна політика в якій викладені основні принципи відношення заводу до охорони довкілля.

Виконуючи вимоги міжнародного стандарту і природоохоронного законодавства України вся виробнича діяльність підприємства здійснюється згідно Дозволяючим документам.

У 2019 році «АрселорМіттал Кривий Ріг» виконав низку екологічних проектів, з них основні:

1. Реконструкція установки очистки газу (ГОУ) від агломашини № 4 аглоцеху № 2

Виконано будівництво агломашини № 4 та ГОУ від зони спікання, збудовано сучасний електрофільтр ESP FLS (виробництво – Данія). Для контролю у режимі реального часу за обсягом викидів пилу та газоподібних впроваджено автоматичну систему екологічного моніторингу на ГОУ від

зони спікання. Обсяг викидів по пилу в атмосферу від агломашини знижено на 80%.

Для локалізації неорганізованих викидів збудовано:

- ГОУ від хвостових частин агломашин №№ 3-4 – електрофільтр (виробництво – Данія).

- ГОУ В-6 рукавний фільтр FLS від обладнання корпусу первинного змішування, відділення бункерів звороту № 2, перевантажувальних вузлів гарячого звороту № 13 та № 14.

Екологічний ефект:

- концентрації по пилу не перевищують 50 мг/м³.

У теперішній час виконуються роботи з реконструкції агломашини № 1 і ГОУ від зони спікання та хвостових частин агломашин №№ 1, 2.

2. Реконструкція установки очистки газу від обертової печі № 3 вогнетривно-вапняного цеху

Під час реконструкції обертової печі № 3 електрофільтр замінили сучасним рукавним фільтром. Для зниження споживання кількості природного газу встановлено підігрівач вапняку та сучасна система автоматизації.

Екологічний ефект:

- знижено викиди по пилу до 90%;

- концентрації по пилу не перевищують 50 мг/м³.

3. Також продовжується поетапна реконструкція хвостосховищ «Об'єднане» та «Миролюбівське», будівництво першої чеги хвостосховища «Центральне» та їхнього зворотнього водопостачання.

Хвостосховища – це спеціальні гідротехнічні споруди, які використовуються для розміщення відходів збагачення. Створено додаткові корисні ємності для складування хвостів збагачення виробництва без використання додаткових земельних ресурсів.

Впровадження автоматизованої системи моніторингу атмосферного повітря на межі санітарно-захисної зони підприємства

В 2014 році на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» упроваджена та метрологічно атестована система, яка включає три пости контролю якості атмосферного повітря в зоні впливу металургійного, коксохімічного виробництв і гірничого департаменту підприємства на межі санітарно – захисної зони. Пости контролю оснащені сучасними газоаналізаторами для вимірювання концентрацій оксиду вуглецю, оксидів азоту, діоксиду сірки, аміаку, сірководню і пиломірами. Поточні дані вимірів в режимі онлайн передаються на підприємство для оперативного реагування на зміни або відхилення.

У 2015 році ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» продовжило практику регулярного розміщення на своєму веб-сайті інформації про результати контроль якості атмосферного повітря Щомісячна інформація містить результати вимірів максимально-разових, середньодобових і середньомісячних концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі на стаціонарних постах контролю.

З 2017 року дані автоматизованих постів спостережень в режимі онлайн розміщуються на веб-сайті підприємства у вільному доступі. Така інформація дозволяє повною мірою інформувати громадськість Кривого Рогу про якість атмосферного повітря в зоні впливу металургійного, коксохімічного виробництв та гірничого департаменту підприємства.

З метою передачі даних до виконкому Криворізької міської радив травні 2019 року підписано двосторонній «Меморандум взаємодії щодо передачі даних автоматизованих стаціонарних постів ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» про стан атмосферного повітря до виконкому Криворізької міської ради для висвітлення у модулі «ЕКОМОНІТОРИНГ» на офіційному веб-порталі міста Кривого Рогу «Криворізький ресурсний центр».

Підприємство забезпечило інтеграцію власних постів автоматизованого контролю стану атмосферного повітря в міську систему моніторингу, в тому числі передачу даних в режимі онлайн, архівування даних, реєстрацію причин відсутності даних, внесення термінів повірки приладів, тощо.

Висновки по Охороні праці

Питання охорони праці займає центральне місце в системі безпечної організації виробництва, особливо в умовах потенційно небезпечного середовища, такого як металургійне підприємство. Аналіз наведеного матеріалу свідчить про критичну важливість своєчасного реагування на нещасні випадки, вміння надавати першу медичну допомогу та дотримання вимог безпечної експлуатації обладнання, зокрема електроінструменту.

Забезпечення ефективної допомоги потерпілому на виробництві вимагає чітких дій — від негайного усунення небезпеки до проведення реанімаційних заходів, якщо це необхідно. Успішне надання першої допомоги значно підвищує шанси на збереження життя і здоров’я працівника. Знання послідовності дій, вміння діяти спокійно, точно і швидко — це не лише обов’язок, а й показник високої культури безпеки на підприємстві.

Особливу увагу необхідно приділяти ситуаціям, пов’язаним із ураженням електричним струмом. Через відсутність зовнішніх ознак небезпеки, електротравми часто виявляються несподівано і мають тяжкі наслідки. Тому дотримання техніки безпеки під час роботи з електрообладнанням, своєчасна перевірка інструментів, а також усвідомлення ризиків — надзвичайно важливі профілактичні заходи.

Не менш актуальним залишається питання правильного реагування на кровотечі, опіки, хімічні ураження. Усі працівники повинні мати базову підготовку з домедичної допомоги, вміти користуватися підручними засобами, джгутами, бинтами, а також розуміти особливості впливу хімічних і термічних факторів на організм людини.

Окремо слід відзначити екологічну відповідальність підприємства ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», яка тісно пов’язана з охороною праці. Зниження промислового впливу на довкілля, модернізація систем очищення викидів, автоматизований екологічний моніторинг — усе це не лише

покращує стан навколишнього середовища, а й знижує рівень шкідливих факторів, що впливають на працівників.

Таким чином, ефективна система охорони праці — це не лише формальна вимога, а життєво необхідна частина стратегії підприємства, що охоплює як оперативні дії у разі інцидентів, так і системну профілактику, навчання персоналу, технологічну безпеку та екологічну відповідальність. Тільки завдяки комплексному підходу можна досягти головної мети — збереження життя, здоров’я і працездатності кожного працівника.

ВИСНОВКИ

У межах дипломного дослідження було проаналізовано процес безперервного лиття заготовок на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», зосереджуючи увагу на типових дефектах металопродукції та шляхах їх запобігання. Основну увагу приділено впровадженню технології електромагнітного гальмування (ЕМГС) як ефективного інструменту покращення якості сталі.

Встановлено, що дефекти, зокрема шлакові включення, газові пори, тріщини та металеві бризки, значно впливають на якість кінцевої продукції та обумовлені переважно турбулентною поведінкою струменя розплавленої сталі в кристалізаторі. Аналіз показав, що одним з найефективніших методів стабілізації потоку є використання ЕМГС.

Проведене числове та експериментальне моделювання трьох основних конфігурацій ЕМГС (звичайна, лінійка EMBR та FC Mold) дозволило визначити їхню ефективність у зменшенні глибини проникнення струменя, зниженні рівня включень і стабілізації температури в зоні меніска. Особливої уваги заслуговує конфігурація FC Mold, яка забезпечує симетричний вплив на потік і мінімізує зони застою металу.

Використання магнітного поля дозволяє зменшити амплітуду низькочастотних коливань і уникнути залучення шлакового порошку в метал. Це покращує не лише якість поверхні, але й внутрішню структуру литої заготовки, що є критично важливим при виробництві відповідальних виробів.

Таким чином, впровадження технології електромагнітного гальмування в процесі безперервного лиття сталі є доцільним і економічно обґрунтованим кроком, який дозволяє значно підвищити якість продукції, зменшити брак і стабілізувати процес виробництва. Подальший розвиток цієї технології має значний потенціал для модернізації металургійної галузі.

Перелік бібліографічних джерел

1. Атлас металургійних дефектів безперервнолитих заготовок – Технічний відділ ПАТ АрселорМіттал Кривий Ріг
2. Сучасний атлас дефектів безперервнолитої заготовки і причин проривів в кристалізуючій кірці металу. Друге видання.
3. G. Cabai. Continuous casting of steel. Some principles and practical notes. - STS s.r.l., 1993. – 71 p.
4. П. Е. Рамірес-Лопес, П. Д. Лі, К. К. Міллс, у: Д. М. Майєр, С. Кокрофт Моделювання лиття, зварювання та вдосконалених процесів затвердіння XII, Товариство мінералів, металів та матеріалів (TMS), Ванкувер, Каліфорнія, 2009, с. 61-68.
5. Б. Г. Томас, Ю. Менг, Металургійні операції та операції з матеріалами. B, Процесна металургія та наука про обробку матеріалів, 34B (2003) 658- 705.
6. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна: Справочник. Т.3 - Термическая и термомеханическая обработка стали и чугуна/ под ред. Рахштадта А.Г., Капуткиной Л.М. и др. –М.: Интермет Инжиниринг 2007.-919 с.
7. К. Охеда, Дж. Сенгупта, Б. Г. Томас, у: Технологія AfIS (ред.) AISTech 2006: Конференція з технологій заліза та сталі, Клівленд, Огайо; США, 2005. EM Moulds: We give shape to steel./ Ed. S.Carretti. – EM Moulds s.r.l., 2010.– 21 p. 10. G.Cabai, F.Cabai. Continuous casting of steel. Some principles and practical notes. – STS s.r.l., 2010. – 112 p.
8. F.Fossi. Measuring instrument and auxiliary plant for continuous casting. – Sider Sistem s.r.l., 2007. – 12 p. Z. Y. Pi: ‘Study on heat stability measuring method for industrial briquette’, Coal Technology/National Coal Quality Supervision Test Center, Beijing100013, China, December, 2003, (31), 37–39.

9. A. F. Lehman et al: Fluid flow control in continuous casting using various configurations of static magnetic fields. International Symposium on Electromagnetic Processing of Materials, Nagoya/Japan, 1994.
10. G. Tallbäck et al: Simulations of EMBR influence on fluid flow in slabs. 17th Advanced Symposium 1994, Phoenix, AZ/USA, Report GRT 40681 (1994).

Звіт подібності

метадані

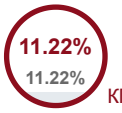
Назва організації
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY
Заголовок
Заяць Катерина Андріївна

Автор | Науковий керівник / Експерт
Заяць Катерина Андріївна | **Чупринов Є.В.**

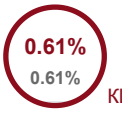
підрозділ
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

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.



КП 1



КЦ

25
Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

8624
Кількість слів

66157
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		0
Інтервали	A→	0
Мікропробіли		0
Білі знаки		65
Парафрази (SmartMarks)	a	71

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://allrefrs.su/1-6519.html	81 0.94 %
2	https://uadoc.zavantag.com/text/23589/index-1.html?page=6	50 0.58 %
3	https://ukraine.arcelormittal.com/index.php?id=10&pr=420	42 0.49 %
4	https://uadoc.zavantag.com/text/23589/index-1.html?page=6	40 0.46 %
5	https://nadoest.com/nacionalena-akcionerna-kompaniya-naftogaz-ukrayini-dochirnya-k-v3	34 0.39 %

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

ВІДГУК КЕРІВНИКА НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

бакалавра
(бакалавра, магістра)

Студента Заяць Катерина Андріївна
(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи МТ-21

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)
Аналіз різних методів безперервного лиття з метою підвищення якості металопродукції

Обсяг пояснювальної записки і графічної частини:

пояснювальна записка	56
таблиць	1;
схем і рисунків	26;
листів графічної частини (демонстраційного матеріалу)	6.

Якісні відмінності кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

У роботі досліджено вплив електромагнітного гальмування (ЕМГС) на процес безперервного лиття сталевих заготовок з метою покращення якості продукції та зменшення дефектів. Розглянуто три основні конфігурації систем: Conventional EMBR, EMBR Ruler та FC Mold. Встановлено, що застосування електромагнітної гальмівної системи забезпечує зниження турбулентності потоку, глибини проникнення струменя та кількості неметалевих включень. Найвищу ефективність показала конфігурація FC Mold, яка дозволяє досягти симетричного розподілу швидкості, стабільності температурного режиму та уникнення застійних зон у кристалізаторі. Встановлено, що температура в зоні меніска підвищується на 5–15 °C, що знижує ризик утворення тріщин і дефектів замерзання. Завдяки стабілізації потоку забезпечується підвищення швидкості лиття без втрати якості металопродукції.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Проаналізовані результати досліджень, які стали основою дипломної роботи, можливо, не розкриті у повній мірі, що, тим не менше, не впливає на цінність роботи. Також наявні деякі стилістичні та пунктуаційні помилки.

Характеристика загальної, спеціальної і виробничої підготовки автора кваліфікаційної роботи бакалавра, ступінь самостійності виконання:

Під час написання дипломної роботи Заяць К.А.. проявила себе, як спеціаліст у галузі металургії. Всі поставлені завдання були виконані вчасно та у повній мірі. Дипломна робота виконана самостійно студентом із незначною допомого наукового керівника щодо оформлення та напрямків пошуку інформації.

Можливість використання кваліфікаційної роботи **бакалавра**

Робота може бути використана в якості теоретичної бази для впровадження нових технологічних рішень у процес виробництва окатишів.

Оцінка кваліфікаційної роботи **бакалавра** – відмінна

Керівник Чупринов Євгеній Валерійович
(прізвище, ім'я та по-батькові)

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

« 07 » 06 2025 р.

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

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра
(бакалавра, магістра)

Студента Заяць Катерини Андріївни
(прізвище, ім'я та по-батькові)

групи

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Аналіз різних методів безперервного лиття з метою підвищення якості металопродукції

Тема спеціальної частини кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Аналіз впливу електромагнітного гальмування на процес безперервного лиття сталевих заготовок

Переваги кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Дипломна робота спрямована на вдосконалення процесу безперервного лиття сталевих заготовок шляхом дослідження впливу електромагнітного гальмування на формування структури металу, зниження дефектності продукції та підвищення стабільності технологічного процесу.

Недоліки кваліфікаційної роботи бакалавра
(бакалавра, магістра)

Суттєвих недоліків не виявлено

Рекомендації: робота рекомендується до захисту в екзаменаційній комісії

Рецензент Кассім Дар'я Олександрівна
(прізвище, ім'я та по-батькові)

професор, д.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

«Аналіз різних методів безперервного лиття з метою підвищення якості металопродукції»,
(назва)

автором/авторами або виконавцем якої є:

Залець Катерина Андріївна
(ПІБ)

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

обсягом 56 сторінок друкованого тексту перевірено програмно-технічним засобом «Strike Plagiarism».

Рівень оригінальності становить 88,78 %.

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 в ЕК 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) Кассім Д.О.
Ініціал, ПРІЗВИЩЕ

Дата 12.06.2025

ЗГОДА

здобувача(чки) вищої освіти

Державного університету економіки і технологій

про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату

та розміщення в Репозитарії Університету

Я, Заяць Катерина Андріївна, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська робота« Аналіз різних методів безперервного лиття з метою підвищення якості металопродукції »» 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 _____ Заяць К. А.

(ініціали, прізвище, власноруч)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ДОВІДКА

про підготовку студента-випускника

ЗАЯЦЬ КАТЕРИНА АНДРІЇВНА
(прізвище, ім'я та по-батькові)

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

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Аналіз різних методів безперервного лиття з метою підвищення якості металопродукції

Керівник кваліфікаційної роботи: доцент, к.т.н., Чупринов Є.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	Чупринов Є.В.	зарах	07.06.25		
2	Основна частина	Чупринов Є.В.	зарах	07.06.25		
3	Охорона праці	Чупринов Є.В.	зарах	07.06.25		

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

« 07 » 06 2025 р.