

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

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

Пояснювальна записка

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз дефектів безперервнолитої заготовки: основні види, причини
формування та способи їх усунення

Виконав: студент II курсу, групи 8.1361-мчм-з
спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми металургія чорних металів

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

Карченко А.Ю.

(ініціали та прізвище)

Керівник канд. техн. наук, доц. Воденнікова О.С.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент канд. техн. наук, доц. Нестеренко Т.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

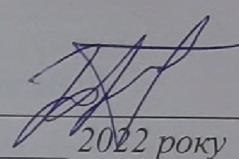
Спеціальність 136 Металургія
(код та назва)

Освітня програма металургія чорних металів
(код та назва)

Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«02» 06 2022 року 

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Харченко Андрію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Аналіз дефектів безперервнолитої заготовки: основні види, причини формування та способи їх усунення

керівник роботи Воденнікова О.С., канд. техн. наук, доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «02» червня 2022 року №598-с

2 Строк подання студентом роботи 08.12.2022р.

3 Вихідні дані до роботи науково-технічна література, ДСТУ, патенти

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Аналіз закономірностей кристалізації безперервнолитої заготовки. Матеріали та методика дослідження. Моделювання дефектів та теплового стану безперервнолитої заготовки. Охорона праці та техногенна безпека. Висновки. Перелік джерел посилання. Додатки.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Титульний лист – 1. Реферат – 1. Розділ 1 – 0. Розділ 2 – 1. Розділ 3 – 6. Розділ 4 – 0. Висновки – 1. Додатки – 0.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз закономірностей кристалізації безперервнолитої заготовки	Воденнікова О.С., доц.	03.06.2022 <i>О.В.В.</i>	03.06.2022 <i>О.В.В.</i>
Матеріали та методика дослідження	Воденнікова О.С., доц.	03.06.2022 <i>О.В.В.</i>	03.06.2022 <i>О.В.В.</i>
Моделювання дефектів та теплового стану безперервнолитої заготовки	Воденнікова О.С., доц.	03.06.2022 <i>О.В.В.</i>	03.06.2022 <i>О.В.В.</i>
Охорона праці та техногенна безпека	Воденнікова О.С., доц.	03.06.2022 <i>О.В.В.</i>	03.06.2022 <i>О.В.В.</i>

7 Дата видачі завдання 03.06.2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Анотація. Реферат. Вступ	01.09.2022-04.09.2022	
2	Розділ 1	05.09.2022-30.09.2022	
3	Розділ 2	01.10.2022-13.10.2022	
4	Розділ 3	14.10.2022-14.11.2022	
5	Розділ 4	15.11.2022-30.11.2022	
6	Висновки. Перелік джерел посилання. Додатки	01.12.2022-06.12.2022	
7	Презентаційний матеріал	01.12.2022-07.12.2022	

Студент *А.Ю.* (підпис) Харченко А.Ю. (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) *О.С.* (підпис) Воденнікова О.С. (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер *Ю.О.* (підпис) Белоконь Ю.О. (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 66 с., 6 табл., 29 рис., 28 джерел посилання.

Тема кваліфікаційної роботи – аналіз дефектів безперервнолитої заготовки: основні види, причини формування та способи їх усунення.

Мета роботи – пошук шляхів поліпшення якості безперервнолитої заготовки.

Поставлена мета в роботі вирішується наступними завданнями:

1. Визначити закономірності кристалізації безперервнолитої заготовки.
2. Проаналізувати основні дефекти макроструктури безперервнолитої заготовки та можливі причин їх виникнення.
3. Проаналізувати результати моделювання формування внутрішніх дефектів мідної заготовки, отриманій на роторній МБЛЗ, та моделювання теплового стану безперервнолитої заготовки.

Об'єкт дослідження: макроструктура безперервнолитої заготовки; процес формування дефектів структури в безперервнолитої заготовці.

Предмет дослідження: кінетика затвердіння безперервнолитої заготовки.

Методи дослідження: при узагальненні та аналізі науково-технічної літератури з напрямку дослідження дефектів безперервнолитої заготовки використовувався комплексний підхід; обробку аналітичних даних проводили з використанням персонального комп'ютера.

Наукова новизна одержаних результатів. Моделювання формування внутрішніх дефектів мідної заготовки, отриманої на роторній МБЛЗ, дозволить визначити можливі шляхи зменшення дефектів заготовки.

Практичне значення одержаних результатів. Результати аналітичних досліджень можуть бути використані в навчальному процесі при викладанні дисципліни «Теорія та технологія розливки і кристалізації сталі» для здобувачів за спеціальністю 136 «Металургія».

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідались і обговорювались на 1 конференції.

Ключові слова: БЕЗПЕРЕРВНОЛИТА ЗАГОТОВКА, ДЕФЕКТИ СТРУКТУРИ, МАШИНА БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ КРИСТАЛІЗАЦІЇ БЕЗПЕРЕРВНОЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ.....	8
1.1 Аналіз впливу технологічних параметрів розливки і кристалізації сталі на якісні безперервнолітої заготовки.....	8
1.2 Температурно-швидкісний режим розливки сталі на МБЛЗ.....	10
1.3 Структура безперервнолітої заготовки.....	12
1.4 Основні дефекти безперервнолітої заготовки.....	15
1.4.1 Фактори, які впливають на утворення та розвиток дефектів, а також якість безперервнолітого металу.....	15
1.4.2 Дефекти поверхні безперервнолітих заготовок.....	21
1.4.3 Дефекти внутрішньої структури безперервнолітої заготовки.....	29
1.5 Висновки.....	35
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	36
2.1 Методика моделювання формування внутрішніх дефектів мідної заготовки, отриманій на роторній МБЛЗ.....	36
2.2 Методика моделювання теплового стану безперервнолітої заготовки та вдосконалення процесу кристалізації металу.....	38
2.3 Висновки.....	38
3 МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФЕКТІВ ТА ТЕПЛОВОГО СТАНУ БЕЗПЕРЕРВНОЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ.....	39
3.1 Моделювання формування внутрішніх дефектів мідної заготовки, отриманій на роторній МБЛЗ.....	39
3.2 Моделювання теплового стану безперервнолітої заготовки та вдосконалення процесу кристалізації металу.....	45
3.3 Висновки.....	50

4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	52
4.1	Основні вимоги безпеки праці під час роботи на ноутбучі.....	52
4.2	Огляд заходів з поліпшення умов праці при роботі за ноутбуком.....	53
4.3	Висновки.....	55
	ВИСНОВКИ.....	56
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	57
	ДОДАТКИ.....	60
	ДАДАТОК А НАУКОВІ ПРАЦІ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА.....	60

ВСТУП

Відомо, що перехід при розливці сталі від застосування виливниць до машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) неминуче посилив вимоги до якості гарячекатаного прокату. Проміжні технології ковшового доведення сталі і циркуляційного вакуумування, що з'явилися в сталеплавильному виробництві, не вирішують повністю проблеми отримання високоякісного гарячекатаного прокату для спеціалізованого масового виробництва в оборонній, трубній, суднобудівній та інших галузях промислового виробництва [1].

Порівняно зі зливками, що відливаються у виливниці, кристалічна будова безперервнолитої заготовки має деякі особливості. Це пов'язано з її інтенсивним охолодженням у кристалізаторі й зоні вторинного охолодження (ЗВО), що в кінцевому підсумку сприяє формуванню більш однорідної кристалічної структури. Безперервнолита заготовка, на відміну від зливка, характеризується дуже незначними коливаннями хімічного складу (повне виключення зональної і зниження мікрофізичної (дендритної) ліквациї) і більш однорідними властивостями як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках [2].

Формування якісних показників безперервнолитої заготовки (розмір структурних зон, центральна осьова пористість, осьова ліквация, тріщини та інші) визначають переважно технологічними параметрами процесу розливки рідкої сталі. Істотний вплив при цьому мають температура металу в проміжному ковші й подальша швидкість витяжки заготовки [3].

Підвищення перегріву металу над температурою ліквідус під час розливки металу збільшує протяжність зони стовпчастих кристалів, величина якої також залежить і від умісту вуглецю в сталі [4-6].

1 АНАЛІЗ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ КРИСТАЛІЗАЦІЇ БЕЗПЕРЕРВНОЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ

1.1 Аналіз впливу технологічних параметрів розливки і кристалізації сталі на якісні безперервнолитої заготовки

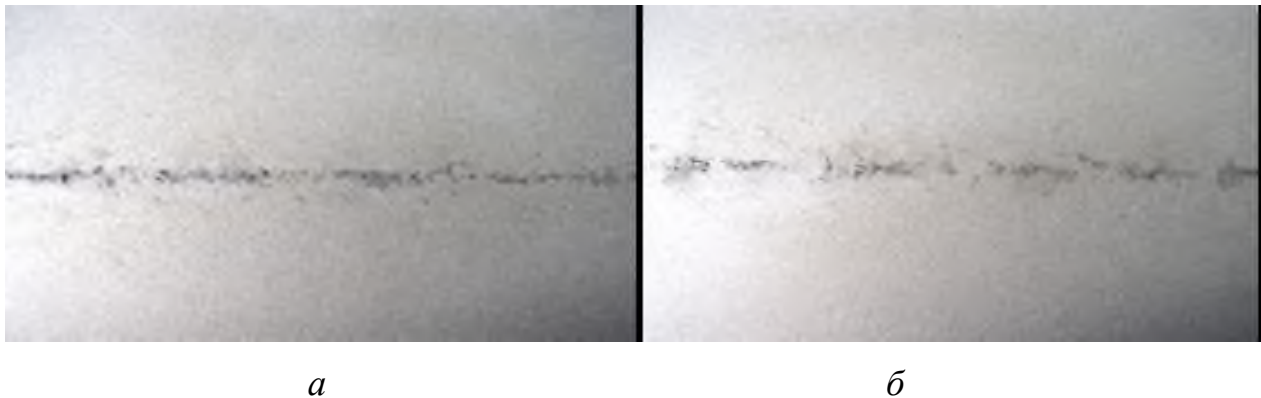
Порівняно зі зливками, відлитими у виливниці, кристалічна будова литої заготовки має деякі особливості. Це пов'язано з її інтенсивним охолодженням у кристалізаторі й зоні вторинного охолодження (ЗВО), що в кінцевому підсумку сприяє формуванню більш однорідної кристалічної структури. Безперервнолито заготовка, на відміну від зливка, характеризується дуже незначними коливаннями хімічного складу (повне виключення зональної та зниження мікрофізичної (дендритної) лікваций) і більш однорідними властивостями як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках.

Формування якісних показників безперервнолитої заготовки (таких як розмір структурних зон, осьова ліквация, тріщини, центральна осьова пористість та інші) визначають переважно технологічними параметрами процесу розливки рідкої сталі. Істотний вплив при цьому мають температура металу в проміжному ковші й подальша швидкість витягання заготовки. Підвищення перегріву металу над температурою ліквідус під час розливки металу збільшує протяжність зони стовпчастих кристалів, величина якої також залежить і від вмісту вуглецю в сталі.

Відповідно до останніх світових тенденцій провідні компанії-виробники металургійного устаткування (Danieli, Concast Standard, Siemens VAI та інші) упроваджують прогресивні технологічні режими безперервної розливки високовуглецевих марок сталі, які характеризуються підвищенням інтенсивності водяного охолодження заготовки на перших двох секціях ЗВО, що сприяє підвищенню швидкості кристалізації металу.

Так, наприклад, в умовах ВАТ «Молдавський металургійний завод»

(м. Рибниця, Молдова) із застосуванням різних швидкостей кристалізації рідкої сталі та інтенсивністю водяного охолодження у ЗВО середня швидкість витягування заготовки по шести струмкам МБЛЗ становила: струмок № 1 – 2,41–2,43 м/хв., струмки № 2–5 – 2,38–2,70 м/хв., струмок № 6 – 3,21–3,28 м/хв. При цьому макроструктура поздовжніх темплетів безперервнолитої заготовки зі сталі С86D, відлитої з різними швидкостями, приведена на рис 1.2. Центральна пористість має значний розвиток у заготовках малого перетину, зростання ступеня ураженості таким типом дефекту фіксують за підвищення швидкості розливки сталі.



a – середня швидкість витягування заготовки 2,43 м/хв.; *б* – середня швидкість витягування заготовки 3,28 м/хв.

Рисунок 1.1 – Макроструктура поздовжніх темплетів безперервнолитої заготовки зі сталі типу С86D, що відлита з різними швидкостями

А компанія Danieli рекомендує під час виробництва заготовок із високовуглецевих марок сталі вести охолодження у ЗВО з інтенсивністю витрати води $\sim 1,6$ л/кг, а компанія Concast Standard є прихильником інтенсивнішого водяного охолодження з витратою води $\sim 2,0$ л/кг. При цьому рекомендують застосування високошвидкісних форсунок у кристалізаторі, таких як, наприклад, фірми Lechner. Стає можливим підвищити швидкість розливки сталі та знизити розвиток ліквацийних процесів [7].

1.2 Температурно-швидкісний режим розливки сталі на МБЛЗ

Вибраний температурно-швидкісний режим розливки сталі на МБЛЗ є одним з найістотніших параметрів процесу. Недотримання вибраних для кожної марки сталі оптимальних температурно-швидкісних режимів та перетин заготовки, яку відливають, є причиною порушення якості сталі. В деяких випадках це може привести до аварійних ситуацій.

Низька температура розливки сприяє утворенню мула, поясів, скупчень шлакових включень, утворення настилів. Висока температура металу сприяє утворенню тріщин, підвищеному зношенню вогнетривів в проміжному ковші.

Коливання температури металу, що подається на розливку, в обов'язковому порядку необхідно коректувати відповідним зменшенням швидкості лиття. При однаковій робочій швидкості розливки температура металу в проміжному ковші при литті заготовок без подовжніх тріщин є на 4–7 °С нижче, ніж при литті заготовок, на яких утворилися подовжні тріщини.

Температура металу в кристалізаторі є на 12–25 °С нижче, ніж в проміжному ковші, і знаходилася в межах 1510–1518 °С. Перегрів над температурою ліквідусу складає 15–10 °С (з врахуванням концентрації елементів, що становлять), який створює умови для отримання коефіцієнта твердіння в середньому в межах 2,6–2,8 см/хв.^{0,5} і сприяє зменшенню поверхневих і внутрішніх дефектів безперервнолитих заготовок.

При виборі температурного режиму процесу лиття необхідно враховувати величину теплових втрат на всіх етапах від випуску до розливки в кожному конкретному випадку. Спільні рекомендації, сприяючі зменшенню теплових втрат, полягають в наступному:

- час випуску металу необхідно максимально скорочувати (150 т металу повинні випускати не більше 5–7 хв.);

- втрати тепла в сталерозливному ковші мають бути зведені до мінімуму.

Це досягається в результаті вживання мало зношених ковшів, накритих

вогнетривкими кришками;

– нагрів сталерозливного і проміжного ковшів перед розливкою дозволяє декілька знизити температуру перегріву металу. Нагрів ковшів проводиться за допомогою пальників, електричних і плазмових дуг.

Для кожного типу МБЛЗ, перетину заготовки і марки сталі існує інтервал оптимальних температур, при яких забезпечується стабільна розливка та якість продукції. Вихідною точкою для визначення оптимальної температури є температура ліквідусу сталі заданого складу.

Дуже важливим технологічним чинником є управління перегрівом сталі в проміжному ковші. В даний час це здійснюється шляхом вдування сталевого порошку в струмінь металу на ділянці ківш – проміжний ківш. Ефективність охолодження сталевим порошком є такою, що можна легко забезпечити температуру сталі всього на 10 °С вище температури ліквідусу.

Заданий інтервал температур при випуску із сталеплавильного агрегату отримати в реальних умовах виробництва вельми важко. Тому точне регулювання температури здійснюють на установках позапічного доведення металу. Як правило, із сталеплавильного агрегату метал випускають з температурою вище заданої. Доведення температури до оптимального значення проводять в процесі продування металу інертним газом або присадкою в ківш металевого охолоджувача.

Найширше застосовують продування сталі аргоном, використовуючи для цього занурені фурми, пористі елементи в днищі ковша або шибєрні затвори спеціальної конструкції. Під час продування відбувається інтенсивне перемішування і усереднювання температури та хімічного складу металу в об'ємі ковша.

Швидкість розливки є дуже важливим технологічним параметром, від якого залежить якість заготовки, продуктивність МБЛЗ та інші техніко-економічні показники. Із швидкістю розливки безпосередньо пов'язані такі дефекти, як тріщини.

Вплив підвищення швидкості розливки на збільшення кількості заготовок з подовжніми тріщинами пояснюється тим, що із зростанням швидкості розливки зменшується товщина затверділої в кристалізаторі оболонки, зростає нерівномірність її товщини, підвищується напруга в тонких частках оболонки, що приводять до розриву металу з утворенням подовжніх тріщин. З ростом швидкості розливки збільшувалося і кількість заготовок, уражених павукоподібними і сітчастими тріщинами.

При литті заготовок великого перетину для оптимальної швидкості їх кристалізації необхідно:

- на дзеркалі металу наводити шар шлаку;
- у зоні вторинного охолодження мати конструкції, що підтримують оболонку зливка;
- у металі мати низький вміст сірки, фосфору та водню [7].

1.3 Структура безперервнолитої заготовки

Загальна схема формування структури заготовки згідно технологічній осі струмка МБЛЗ включає (рис. 1.2):

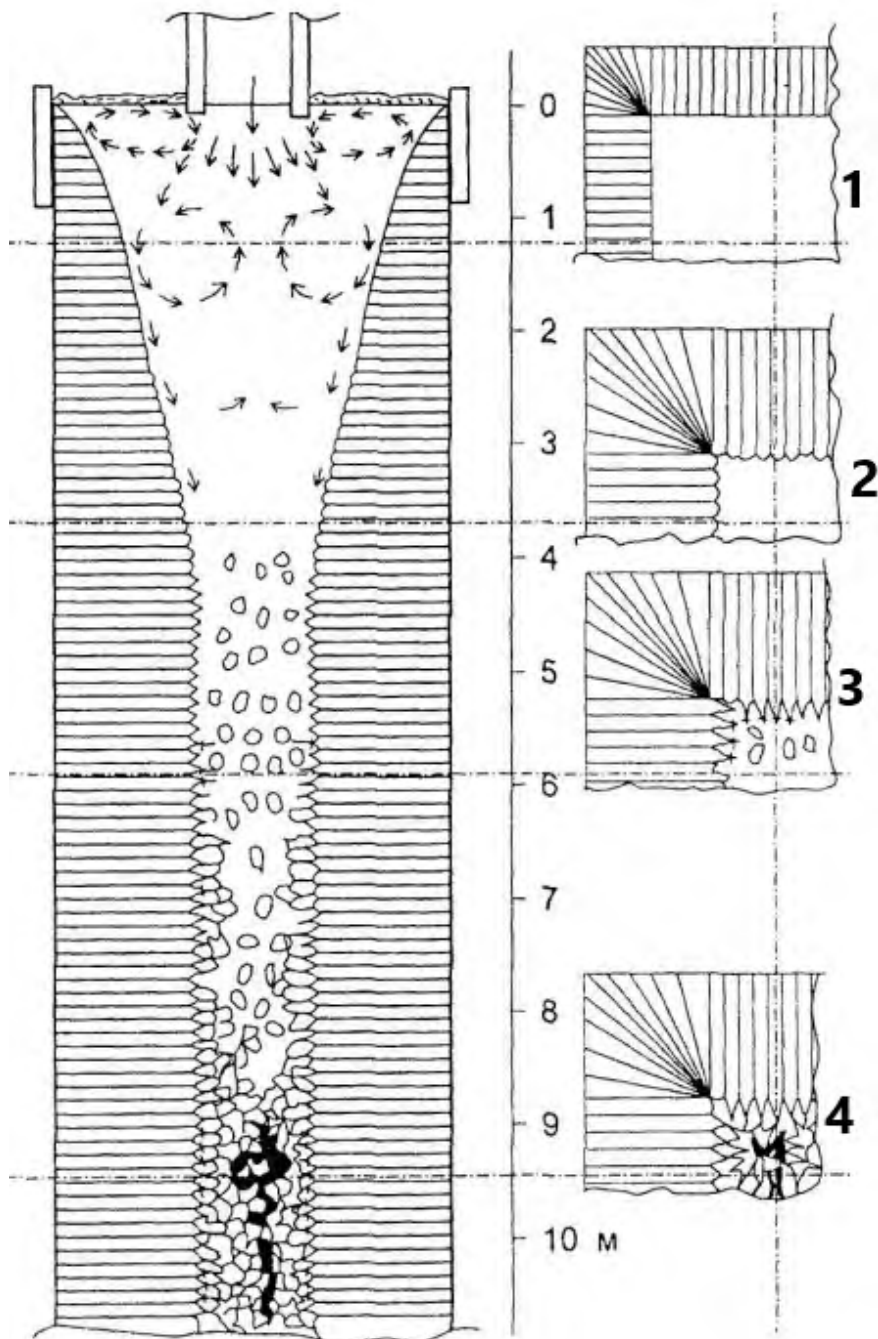
1. Кристалізатор та верхню частину ЗВО.

На початку затвердіння формується дрібнозерниста скоринка (приблизно 5–10 мм), яка складається з дрібних та рівноосних зерен, що утворюються в результаті швидкого охолодження (швидкість охолодження ~ 100 °С за 1 секунду). Потім утворюється суміжна зона, в якій зерна переростають у так звані дендрити, розташовані приблизно перпендикулярно до поверхні; це зростання є односпрямованим по відношенню до центру заготовки та виражений стовпчастою структурою.

2. Середню частину ЗВО.

Стовпчасті головки від'єднуються від фронту затвердіння та утворюють так

називні «кристаліти», але незабаром вони переплавляються через перегрівання, який, у свою чергу, стає нижче.



1 – кристалізатор; 2 – верхня частина зони вторинного охолодження;
 3 – середня частина зони вторинного охолодження; 4 – нижня частина
 зони вторинного охолодження та зона тягнучих валків

Рисунок 1.2 – Схема кристалізації безперервнолитої заготовки згідно

технологічній осі струмка МБЛЗ

Рідка сталь стає переохолодженою: її температура падає нижче температури ліквідусу, так що кристаліти можуть зберегтися і продовжувати зростати; опускаючись вниз, кристали захоплюються стовпчастими дендритами.

Перегрів поступово зменшується, і також знижується зростання односпрямованих дендритів: отже, утворення рівноосних (або глобулярних) дендритів більш ймовірно, ніж утворення стовпчастих дендритів.

3. Нижня частина зони вторинного охолодження.

Утворюється центральна зона, що складається з рівноосних дендритів; рідка ванна густіє, але при цьому поводитья як рідина. Плинність пухкої зони поступово зменшується, і лікванти починають просочуватися через пухку зону.

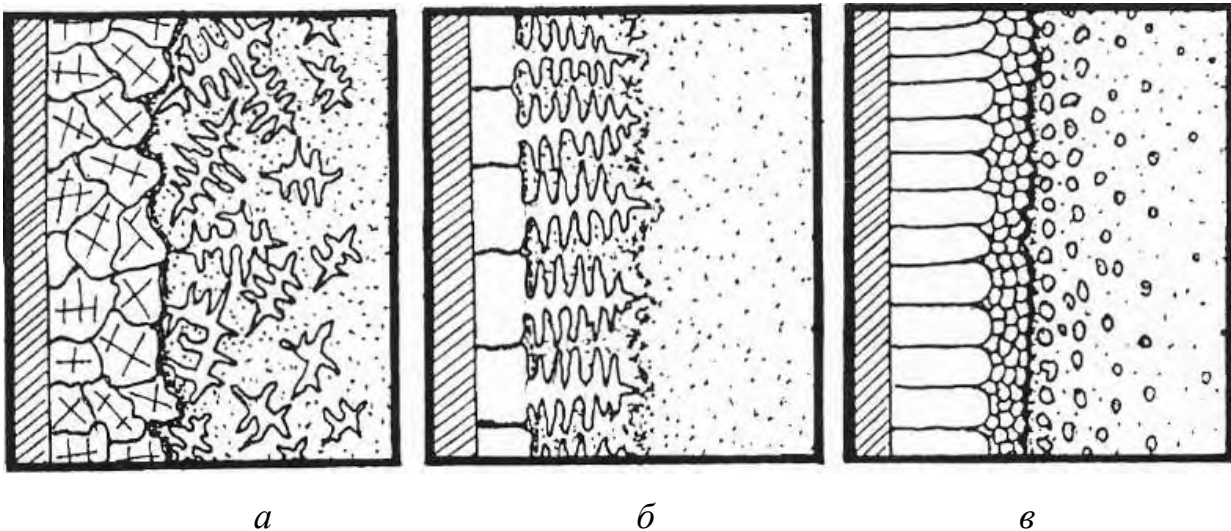
Відбувається остаточне затвердіння лікватів, залучених у тверду фазу. Зрештою, як результат зменшення об'єму, може також мати місце центральна пористість і V-подібна ліквація.

4. Зона перед та після тягнуче-правильного агрегату.

Напівлотні лікванти розтікаються вздовж маленьких каналів і концентруються на литій осі. Відбувається остаточне затвердіння лікватів, залучених у тверду фазу. Зрештою, як результат зменшення об'єму, може також мати місце центральна пористість і V-подібна ліквація.

Основні види кристалічних структур, які утворюються при твердінні безперервно-литих заготовок показано на рис. 1.3. Відомо, що більш частіше в заготовках зустрічається структура рівноосних дендритів (рис. 1.3 а), які ростуть і формуються всередині рідкотвердої зони та мають практично будь-яку спрямованість головних осей відносно поверхні заготовки. Характер розвитку зони рівноосних дендритів залежить як від хімічного складу металу, так і від ступеня його перегріву над температурою ліквідусу. При цьому твердіння в зоні рівноосних дендритів відбувається згідно механізму гетерогенного зародження центрів кристалізації або по механізму дендритної мультиплікації (множення числа зародків за рахунок руйнування гілок

дендритів). Якщо процес гетерогенного утворення зародків не отримує великого розвитку, а процес дендритної мультиплікації має мінімальний прояв (мінімальний розвиток процесів термогравітаційної конвекції при високому температурному градієнті), то в заготовках спостерігається переважно направлене зростання стовпчастих дендритів (рис. 1.3 б) [7].



a – структура рівноосних дендритів; *б* – структура стовпчастих дендритів;
в – рівноосна «не дендритна» структура

Рисунок 1.3 – Основні види кристалічних структур, які утворюються при твердінні безперервнолитих заготовок

1.4 Основні дефекти безперервнолитої затотковки

1.4.1 Фактори, які впливають на утворення та розвиток дефектів, а також якість безперервнолитого металу

Залежно від причин утворення дефектів їх можна розділити на дві групи:

– дефекти, специфічні для певного струмка (зустрічаються тільки на одному струмку через проблеми обладнання або його налаштування, наприклад, через дефекти кристалізатора, порушень вторинного охолодження,

неправильної настройки тягнучих і правлячих валків та інші);

– дефекти, специфічні для певної плавки (пов'язані з властивостями рідкої сталі та викликані перегрівом, наявністю домішок, розкисленням на етапі позапічної обробки сталі).

Кожну групу дефектів можна розділити на чотири основні типи: дефекти форми (геометрії); дефекти торців заготовки (дефекти різку); дефекти поверхні; внутрішні дефекти.

Деякі хімічні елементи, часто небажані та присутні в металі у вигляді домішок, можуть бути причиною утворення дефектів:

- Cu, Sn, Sb та As призводить до утворення поверхневих тріщин;
- O, S та Al призводить до утворення неметалевих включень;
- S та P: внутрішні або підкіркові тріщини, внутрішня ліквация;
- O, N та H призводить до утворення поверхневої пористості, газових бульбашок, газових та усадкових раковин [7].

Вплив процесу безперервної розливки на якість заготовки показано у табл. 1.1. Фактори, які впливають на утворення та розвиток дефектів геометрії та поверхні безперервнолитого металу представлені у табл. 1.2 та 1.3, а фактори, які впливають на розвиток внутрішніх дефектів безперервно литої заготовки представлені в табл. 1.4 [9].

Спотворення профілю заготовки або зміна геометрії окремих ділянок їх периметра можуть бути непрямыми показниками ураженості заготовки тріщинами та створює цілий ряд труднощів при подальшому переділі.

Дефекти торців заготовки є не тільки товарним видом заготовки, вони також є причиною зародження різних дефектів прокатної продукції. Для виключення та повної відсутності даного дефекту потрібно використовувати додаткові засоби (обладнання, механізми, робочі ресурси) для видалення дефектів торців.

Основним дефектом поверхні безперервнолитих заготовок круглого, квадратного і прямокутного перерізів є тріщини, які поділяють на «гарячі»

(кристалізаційні) та холодні. Кристалізаційні тріщини не перетинають осей дендритів; їх стінки або закінчення тріщин збагачені лікватами. Холодні тріщини перетинають осі дендритів.

Таблиця 1.1 – Фактори, які впливають на утворення та розвиток дефектів геометрії безперервнолитого металу [8]

Виробнича ділянка на МБЛЗ	Фактор впливу	Фактор, що піддається впливу		
		Неметалеві включення	Дефекти поверхні	Внутрішні дефекти
Проміжний ківш	Температура сталі	+	+	+
	Захисна труба на ділянці сталерозливний ківш – проміжний ківш	+		
	Форма та об'єм	+		
	Вогнетривка футеровка	+	+	
	Кришка	+	+	
	Стакан-дозатор (форма, захист струменя)	+	+	+
Кристалізатор	Форма та геометрія		+	
	Качання		+	
	Змащення		+	
	Контроль подачі мастила		+	
	Якість мастила		+	
	Хімічний аналіз сталі та структура затвердіння		+	+
	Контроль рівня металу		+	
Налаштування технологічної осі		+	+	
Вторинні ролики, що направляють, та охолодження	Тип та контроль вторинного охолодження		+	+
	Температура поверхні заготовки		+	+
	Хімічний аналіз сталі та структура затвердіння		+	+
	Центрування та геометрія роликів, що направляють		+	+
Тягнуче-правильний агрегат	Обтискання заготовки роликами		+	+

Таблиця 1.3 – Фактори, які впливають на утворення та розвиток дефектів поверхні безперервнолитого металу [8]

Фактор впливу	Тріщини					Грубі сліди гойдання крис- талізатора	Пухир	Шлакові включення	Пояс
	Кутові поперечні	Поперчні	Повздовжні реброві	Повздовжні	Сітчасті та павукопо- дібні				
Хімічний склад сталі	+	+	+	+	+		+	+	
Температура металу	+	+	+	+		+	+	+	
Півень металу в проміжному ковші								+	
Підведення металу в кристалізатор	+		+	+				+	
Захист металу в кристалізаторі	+	+	+	+	+	+	+	+	
Швидкість розливки сталі		+		+					
Режим вторинного охолодження	+	+	+	+	+				
Конусність гільзи	+	+	+	+					
Режим качання кристалізатора	+	+				+			
Неспіввісність кристалізатора і підтримуючої системи (порушення траєкторії руху кристалізатора)		+		+					
Порушення робочої геометрії гільзи кристалізатора	+	+	+	+					
Температура зливка у зоні розгину	+	+							
Різкі коливання рівня металу в кристалізаторі				+				+	
Зупинки витягування зливка		+							+
Нерівномірне мастило в кристалізаторі (масло або шлакоутворюючі суміші)	+	+		+					

Таблиця 1.4 – Фактори, які впливають на розвиток внутрішніх дефектів безперервнолитої заготовки [8]

Фактор	Кутові тріщини	Тріщини в проміжній зоні	Тріщини в осьовій зоні	Осьова ліквіація	Осьова пористість	Осьові тріщини	Пухир	Крайове кралокове забруднення
Хімічний склад сталі	+	+	+	+	+	+	+	+
Позапічна обробка сталі					+		+	+
Тип МБЛЗ								+
Температурно-швидкісний режим розливки		+	+	+	+	+		
Вторинне охолодження	+	+		+	+			
Подача металу в кристалізатор	+			+	+		+	+
Геометрія робочої сторони гільзи	+	+						+
Змащення в кристалізаторі	+						+	
Стан підтримуючої системи	+	+	+	+	+	+		
Стан тягнуче-правильного агрегату			+			+		

1.4.2 Дефекти поверхні безперервнолитої заготовки

Основними дефектами поверхні безперервнолитої заготовки є: поздовжні тріщини (по кутах і гранях); поперечні тріщини; пояса; заворот кірки; залівіни; шлакові включення; газові бульбашки; прориви скоринки, що кристалізується, на безперервнолитої заготовках та інші.

Поздовжні поверхневі тріщини, зображені рис. 1.4, представляють собою порушення цілісності у вигляді розривів металу. Утворення цих тріщин в безперервнолитої заготовці пов'язано, перш за все, з внутрішньою напругою, що виникає в процесі його формування, та обумовлено зниженою міцністю і пластичністю в різних температурних інтервалах.



a



б

a – білякутові; *б* – посередині широкої грані сляба

Рисунок 1.4 – Поздовжні поверхневі тріщини на поверхні безперервнолитої заготовки

Поверхневі поздовжні тріщини поширюються зсередини безперервнолитої заготовки уздовж діагоналі між тупими кутами. Зазвичай така тріщина згортає в сторону від діагоналі безпосередньо перед кутом і

з'являється на поверхні близько кута, де кірка заготовки найбільш тонка. Цей дефект заготовки при його грубому розвитку може привести до прориву металу при знаходженні зливка в ЗВО. Поздовжні тріщини, не пов'язані з спотворенням профілю безперервнолитої заготовки, можуть мати вигляд від коротких нитковидних (іноді не видимих без зачищення поверхні) до грубих зі значною шириною розкриття. Такі тріщини можуть розташовуватися безпосередньо по кутах, а також на деякому зсуві від кутів або по гранях заготовок.

На утворення поздовжніх тріщин впливає величина кутового радіуса (сполучення) гільз кристалізаторів. Вважається, що при кутовому радіусі гільз вище оптимального на заготовках можуть з'являтися тріщини по вершинах кутів.

Поперечні поверхневі тріщини розташовуються по кутах або гранях безперервнолитої заготовки в поперечному напрямку, тобто, перпендикулярно напрямку розливки металу (рис. 1.5). Поперечні тріщини можуть розташовуватися посередині граней, а також в кутах заготовки.

Серед основних причин виникнення поперечних тріщин слід виділити надлишкову конусність або деформацію робочої поверхні кристалізатора, недостатню кількість мастила в кристалізаторі, відхилення в центрі кристалізатора відносно технологічній осі струмка, відхилення при зворотно-поступальному русі кристалізатора від робочої траєкторії та інші. Все це викликає збільшення сил тертя між безперервнолитою заготовкою та робочою поверхнею кристалізатора.

Одним з основних факторів, що визначають можливість утворення поперечних тріщин на поверхні безперервнолитої заготовки, треба вважати налагодження режиму хитання кристалізатора.

Слід наголосити, що відхилення в роботі механізму хитання (зокрема люфти, биття), можуть призвести до зміни параметрів, які впливають на формування твердої скоринки, стати причиною її підвисання в кристалізаторі або розриву суцільності оболонки. Тобто при утворенні поперечних тріщин в

кристалізаторі можливе утворення напливів металу. Напливів металу значно погіршує якість поверхні безперервнолитої заготовки і вимагає її додаткового зачищення.

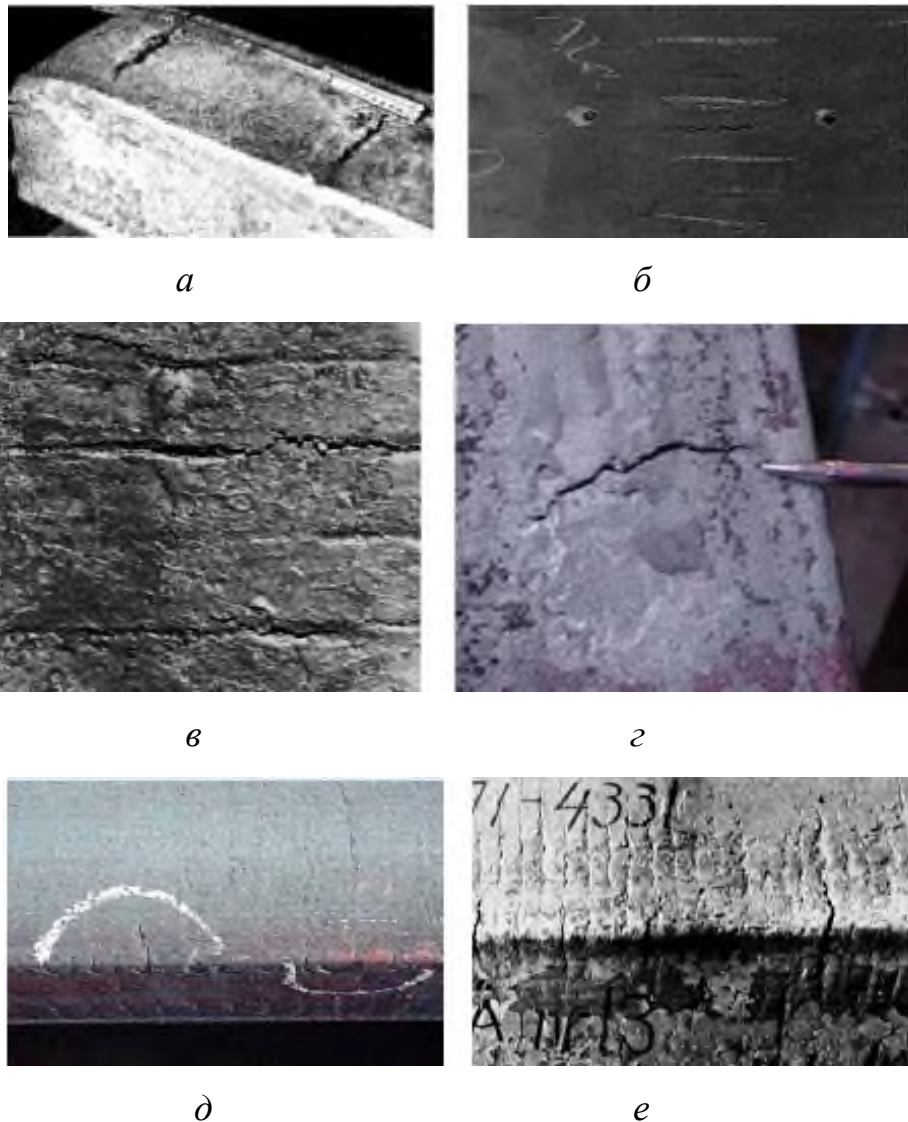


Рисунок 1.5. Поперечні поверхневі тріщини на межі сортової безперервнолитої заготовки (*a, б*) і сляба (*в, г*), а також на кутових ділянках (*д, е*)

Серед причин утворення поперечних тріщин також не слід забувати і про операцію розгинання заготовки в разі, якщо вона переохолоджена нижче області гарячої пластичної деформації.

Говорячи про пояс, не слід забувати, що він є грубим технологічним

дефектом, який легко ідентифікується на поверхні безперервнолитої заготовки. Він охоплює практично весь периметр безперервнолитої заготовки (рис. 1.6).

Пояси, як правило, утворюються через перерви в подачі металу в кристалізатор, або при надмірно різкому зниженні швидкості розливки, особливо при низькій температурі сталі. При цьому верхній край затверділої кірки по всьому периметру кристалізатора окислюється і при поновленні розливки в цьому місці утворюється пояс. Як зауваження слід не забувати, що пояс є слабким місцем в заготовці, так як одночасно з окисненням по контуру затверділої кірки безперервнолитої заготовки відбувається і окислення меніска. Грубі пояси, як правило, не піддаються зачистці та їх вирізують з безперервнолитої заготовки, що обумовлює додаткові втрати металу.

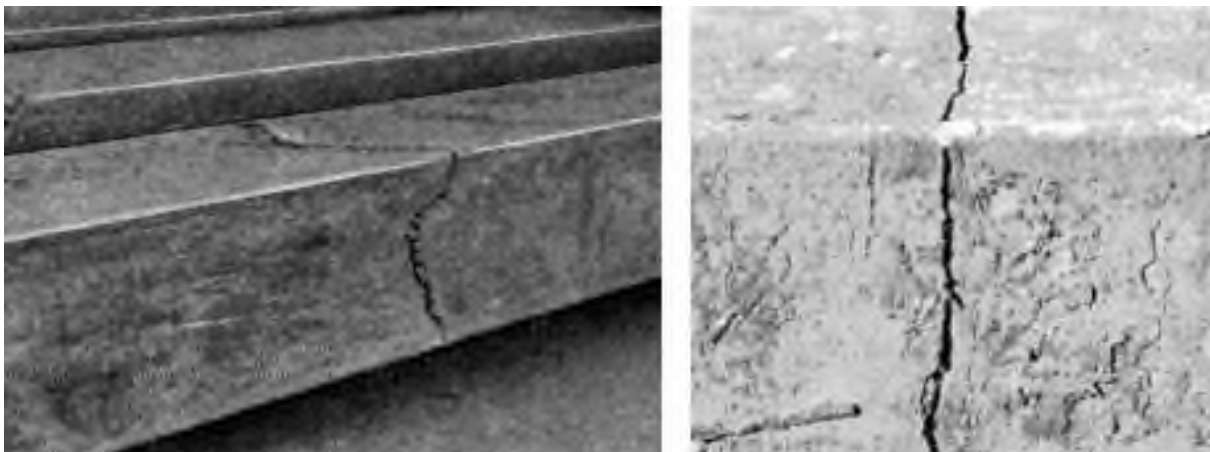


Рисунок 1.6 – Пояс на поверхні безперервнолитої заготовки

Завороти кірки утворюються в тих випадках, коли окислена кірка металу захоплюється з меніска на поверхню безперервнолитої заготовки. Найчастіше даний дефект структури безперервно литої заготовки виникає при розливі «холодного» металу, що зумовлює появу шматочків твердої фази на меніску. Значного розвитку цей дефект отримує при розливці сталей зі зниженою рідкотекучістю або містять елементи, що легко окислюються.

Наприклад, залівини утворюються в результаті попадання рідкого металу

в зазор між скоринкою зливка і стінкою кристалізатора, що утворюється внаслідок викривлення меніска в області їх зіткнення (рис. 1.7).

Утворення залівін найбільш ймовірно при перервах в подачі металу в кристалізатор, недостатнім або нерівномірним змащенням мастилом стінок кристалізатора, значних коливань рівня металу в ньому, розливка металу зі зниженою швидкістю і температурою та інших. Залівні утворюються також у разі прориву оболонки заготовки.

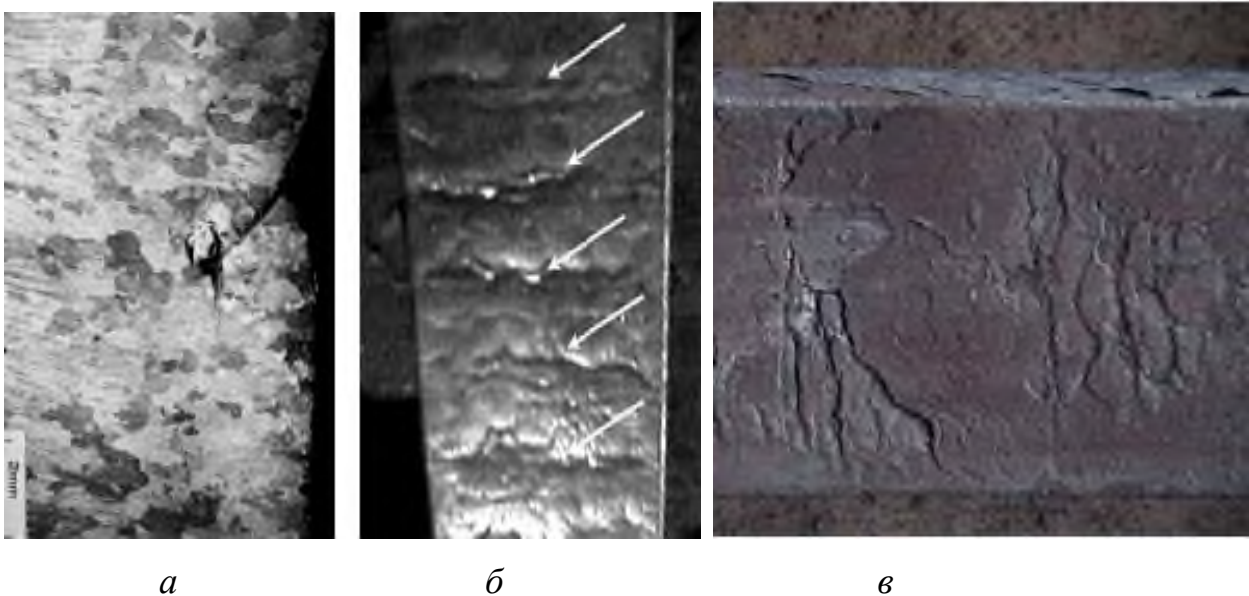


Рисунок 1.7 – Поздовжній перетин зразка безперервнолитої заготовки в місці розташування залівін (а) та її фото на поверхні заготовок (б, в)

В цілому для попередження таких дефектів як пояса, залівін та заворот скоринки безперервнолитої заготовки необхідно запобігати затягування дозуючих вузлів проміжних ковшів, мінімізувати амплітуду коливань рівня металу в кристалізаторі, оптимізувати режими роботи мастила його робочої поверхні, забезпечувати стабільність швидкості розливки та інше.

Шлакові включення, що зустрічаються на поверхні безперервнолитої заготовки і проникаючі всередину металу, є багатофазними, переважно силікатного характеру. Безпосередньо в сортових заворот скоринки безперервнолитої заготовках великі шлакові включення частіше зустрічаються

в районі ребер.

Шлакові включення на поверхні безперервнолитих заготовок з'являються внаслідок розмиву вогнетривів ковшів, затягування шлаку з проміжного ковша і з дзеркала кристалізатора, спливання в кристалізаторі продуктів розкислення сталі, коливань рівня металу та іншого.

Наприклад, для вуглецевих сталей (У7, У12, У13А та інші), розкислених переважно кремнієм та марганцем, істотну роль грає величина відношення марганцю до кремнію. Так на на практиці металургійного виробництва рекомендується підтримувати відношення марганцю до кремнію в сталі на рівні 3,0–3,5.

Значна кількість шлакових включень на меніску металу в кристалізаторі може привести до масових проривів твердої оболонки зливка в зоні вторинного охолодження під кристалізатором.

Розглядаючи основні заходи, що дозволяють знизити забрудненість безперервнолитої заготовки включеннями, треба виділити: дотримання заданих режимів розкислення сталі; підтримання постійного рівня металу в проміжному ковші та кристалізаторі; дотримання температурних режимів; застосування стійких до ерозії вогнетривких матеріалів; правильний підбір шлакоутворюючих сумішей та рівномірна подача їх в кристалізатор.

Поверхневі бульбашки представляють собою досить характерний дефект у вигляді поодиноких або групових пір, пустот округлої або витягнутої форм (рис. 1.8).

Бульбашки на поверхні безперервнолитої заготовки можуть бути результатом газовиділення при затвердінні зливка, при згорянні мастила в кристалізаторі, при використанні вогнетривів і шлакоутворюючих сумішей з підвищеною вологістю та інші.

Найбільший вплив на ураженість заготовки цим дефектом надає рівень «вільного» кисню в сталі. З огляду на високу швидкість охолодження заготовки, властивою процесу безперервної розливки, в металі присутній «вільний» кисень для утворення окису вуглецю. Щоб уникнути утворення

газових пір, рівень «вільного» кисню в сталі повинен бути знижений до мінімального рівня. Особливо важливо це при розливці низьковуглецевих марок сталі (таких як S15C, SS400, S15CBD та інших). Саме тому дуже важливо в технологічному плані ефективно проведення операції розкислення сталі.

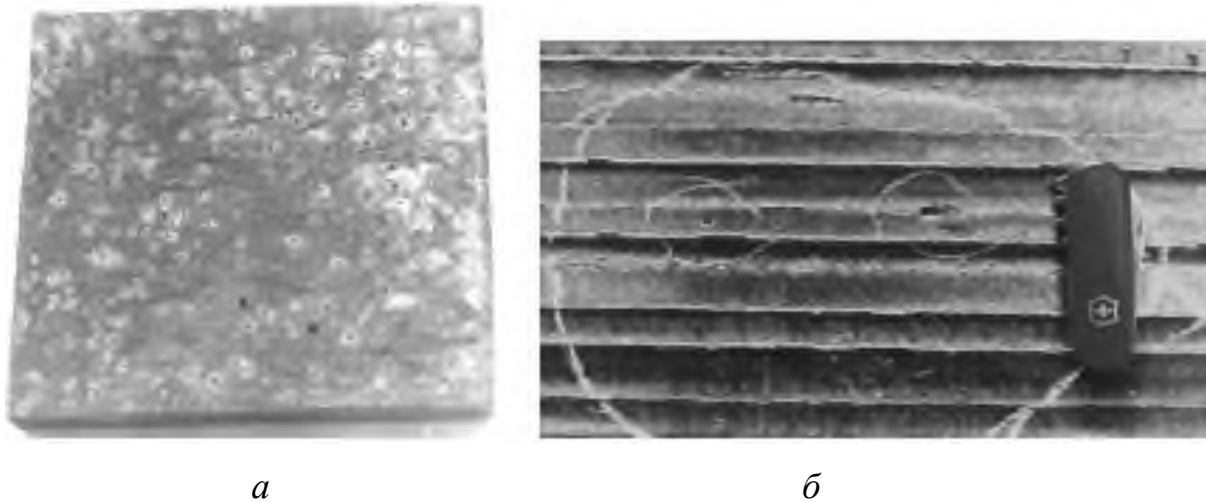


Рисунок 1.8 – Бульбашки і пори на поверхні безперервнолитої сортової заготовки (а) та сляба (б)

Витрата мастила (масла) при подачі сталі в кристалізатор відкритим струменем повинен бути встановлений на мінімальному рівні, достатньому для виключення підвисань зливка на його стінках. На практиці металургійного виробництва рекомендується обмежувати вміст вологи в мастилі.

Павукоподібні (зіркоподібні) тріщини, зображені на рис. 1.9, притаманні для перитектичного класу сталей з вмістом вуглецю 0,12–0,18 %.

Вони мають вигляд тонких тріщин довжиною кілька міліметрів у вигляді променів та утворюються під поверхнею безперервнолитої заготовки, що ускладнює їх візуальне виявлення безпосередньо після охолодження. Однак при подальшій прокатці вони розкочуються в тріщини або розриви, що призводить до дефектів металопродукції. На практиці металургійного виробництва для сталей, схильних до появи павукоподібних тріщин,

здійснюється додатковий контроль заготовок за допомогою механічного зачищення поверхні (наприклад, «змійкою»), глибиною 1–2 мм.



Рисунок 1.9 – Павукоподібні тріщини

Слід зауважити, що так як формування павукоподібних тріщин відбувається в кристалізаторі, то найбільш ефективним засобом їх уникнення є застосування шлакоутворюючих сумішей, які знижують відведення тепла від твердої скоринки.

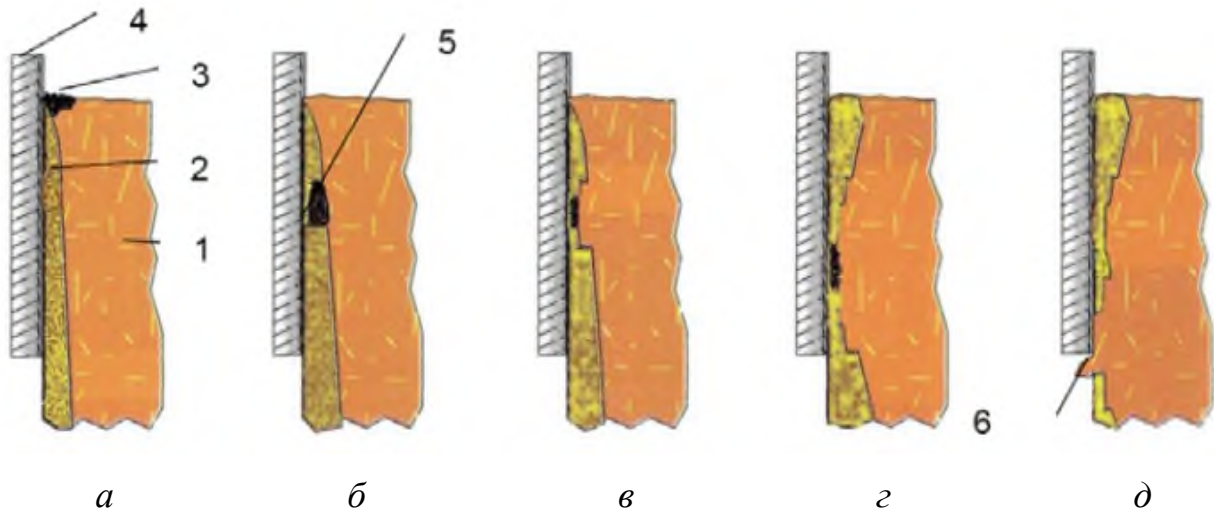
Прориви скоринки, що кристалізується, на безперервно-литих заготовках. Основною проблемою безперервного розливання сортових заготовок є утворення проривів рідкого металу через скоринку металу, що кристалізується.

Визначення справжньої причини прориву дозволяє надалі зменшити і навіть виключити кількість проривів. Зазвичай прориви скоринки поділяють на чотири типа: тартовий тип (на запуску струмка); охолодження; підвисання; шлаковий тип [10].

Тверді конгломератні включення, що утворилися на меніску металу в кристалізаторі (рис. 1.10 *a*) контактують з скоринкою металу. Значне скупчення цих включень на меніску металу і хитання кристалізатора призводить до прилипання їх до скоринки заготовки (рис. 1.10 *б*), тобто на оболонці безперервнолитої заготовки зароджується аномальна (дефектна) скоринка.

Швидкість зростання дефектної скоринки при подальшому проходженні

кристалізується заготовки через кристалізатор (рис. 1.10 *в, з*) відрізняється від швидкості росту решти, без оксидних включень, скоринки призводить до утворення проривів під кристалізатором (рис. 1.10 *д*) на дефектній ділянці під впливом феростатичного тиску рідкого металу всередині заготовки.



1 – рідкий метал; 2 – кірка металу; 3 – конгломератне включення на меніску металу; 4 – кристалізатор; 5 – дефектна скоринка з оксидним конгломератом;
6 – прорив металу під кристалізатором на виході дефектної скоринки з кристалізатора.

Рисунок 1.10 – Схема утворення шлакового прориву через тверді включення на меніску металу

Як правило прориви на запуску струмка відбуваються в перші секунди розливки на МБЛЗ після запуску струмка (15–25 с). Місце стартового прориву на запуску струмка сортової машини безперервного лиття заготовок – під кристалізатором (рис. 1.11).

1.4.3 Дефекти внутрішньої структури безперервнолитої заготовки

Основними дефектами макроструктури заготовок є: ліквацийні смуги і тріщини по перетину; кутові тріщини; тріщини в осьовій зоні; центральна

пористість; осьова ізоляція; газові бульбашки; скупчення неметалевих і шлакових включень.



a

б

a – прорив металу між затравкою і кристалізатором; *б* – нижня частина кристалізатора після стартового прориву

Рисунок 1.11 – Прорив на запуску струмка сортової МБЛЗ

Внутрішні тріщини по перетину безперервнолитої заготовки (перпендикулярні граням) (рис. 1.12) являють собою надриви, що розташовуються по міжосних просторів кристалічної структури, збагаченої лікватами.

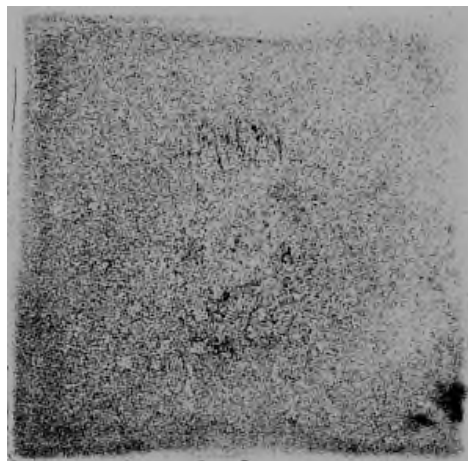


Рисунок 1.12 – Тріщини по перетину безперервнолитої заготовки (поперечний темплет)

Ці тріщини утворюються на кордоні твердої та рідкої фаз в інтервалі температур, при яких метал має мінімальну пластичність і міцність. Тріщини можуть розташовуватися в декілька рядів по перетину заготовки. Одна з причин утворення таких тріщин – високі термічні напруги внаслідок незадовільного режиму охолодження. Так, тріщини по перетину можуть виникати через підвищену швидкість розливки металу або надмірного відведення тепла в деяких секціях ЗВО.

Кутові внутрішні тріщини, також як і поверхневі, визначаються відхиленнями геометричної форми безперервнолитої заготовки (ромбічність, опуклість граней). Дані тріщини розташовуються по стиках кристалів заготовки проти його тупих кутів.

Осьові тріщини (рис. 1.13) утворюються під дією напруг, що розтягують та виникають в кінці затвердіння заготовки.

Напруження в даній зоні, в основному, обумовлені швидкістю розливки металу, режимом і роботою системи вторинного охолодження. До розвитку осьових тріщин може, наприклад, привести підвищене обтиску заготовок в тягнуче-правильної кліті. Центральна пористість є зосередження великих і дрібних пір уздовж теплового центру заготовки (рис. 1.14).

Причинами утворення центральної пористості є специфічні умови формування безперервнолитої заготовки, пов'язані з утворенням глибокої лунки рідкого металу. Фронт кристалізації по висоті зливка, зважаючи на значну протяжності лунки рідкого металу, сходиться до кінця затвердіння під дуже малим кутом, що визначає наявність мостів і перехоплень в центрі зливка, при яких утворюються усадкові раковини.

Залежно від величини і швидкості усадки металу в осьовій зоні, а це, в свою чергу, визначається маркою сталі, швидкістю розливки, інтенсивністю вторинного охолодження, розмірами перетину заготовки і рядом інших факторів, усадкові порожнини набувають різних форм та розмірів. Підвищена температура і швидкість розливки сприяють розвитку центральної пористості, так як при цьому збільшується довжина рідкої лунки металу.

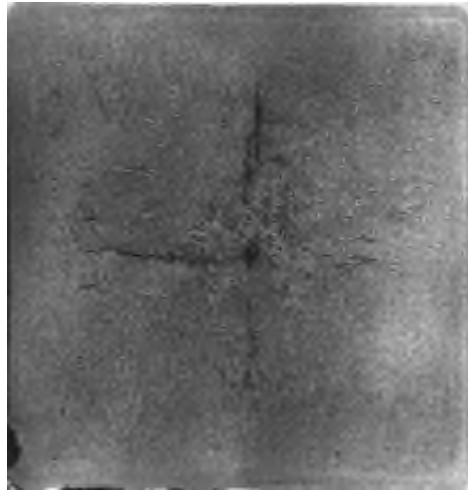
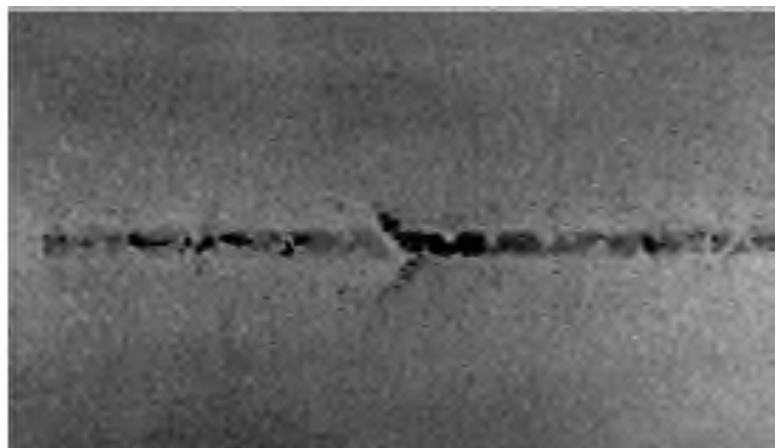


Рисунок 1.13 – Осьова тріщина в безперервнолитій заготовці (поперечний темплет)



a



б

a – поперечний темплет; *б* – поздовжній темплет

Рисунок 1.14 – Центральна пористість в безперервнолитій сортовій заготовці

Найбільший розвиток явище центральної пористості отримує при литті заготовок малого перерізу з високою швидкістю. Пористість має тенденцію до збільшення при розливці високовуглецевих марок сталі.

Існує певна залежність між видом пористості та кристалічною структурою заготовки. Зосереджена пористість зазвичай виявляється при розвиненні стовбчатої структури та концентрується уздовж вертикальної осі у

вигляді переривчастих пустот. Розсіяна пористість отримує розвиток в зоні рівноосних кристалів і обмеженій зоні стовпчастих дендритів. При такій будові безперервнолитої заготовки усадкова пористість утворюється у вигляді численних невеликих пір.

Осьова ліквіація обумовлена двома факторами: ліквіаційним збагаченням центральних зон домішками і усадкою осьової зони при затвердінні. Швидкість розливки не впливає на величину осьової ліквіації в заготовках (за винятком випадків, коли виникають порушення геометричної форми заготовки). Вплив інтенсивності вторинного охолодження заготовок також носить обмежений характер, так як при товстій кірці охолодження впливає переважно на зовнішню поверхню заготовки.

Значно знизити ступінь розвитку осьової ліквіації дозволяє посилення технологічних вимог до підготовки металу до розливки, зниження вмісту сірки і фосфору в сталі, а також стабільний процес лиття. Найбільш ефективним заходом проти розвитку осьової ліквіації є зниження температури перегріву металу в проміжному ковші. При наближенні температури металу, що розливається, до температури ліквідусу зона рівноосних кристалів найбільш розвинена, і осьова ізоляція буде мінімальною.

Підкіркові бульбашки (рис. 1.15) утворюються в результаті стрибкоподібного зниження розчинності газів (кисню, водню, азоту) при кристалізації сталі. При деформації бульбашки, близько розташовані до поверхні, в результаті окислення при нагріванні заготовок можуть не зварюватись і викликати утворення волосовин і полон на поверхні прокату (у разі поодиноких бульбашок) або рванина (у разі групового розташування великих бульбашок).

Виникнення підкіркових бульбашок в безперервнолитою заготовках найчастіше пов'язують з недостатнім ступенем розкислення сталі. До утворення газових бульбашок також можуть привести підвищений вміст вологи в мастилi кристалізатора, заворот окисленої кірки заготовки, пропалювання дозатора проміжного ковша.

Скупчення шлакових та неметалевих включень в безперервнолитих заготовках обумовлені, перш за все, впливанням і коагуляцією неметалічних включень в кристалізаторі, а також захопленням частинок шлаку безпосередньо з дзеркала металу внаслідок сплесків і конвективних потоків. У безперервнолитих заготовках зустрічаються ті ж види неметалевих включень, що і в зливках: оксиди, сульфідів та нітриди. Вони можуть розташовуватися по всьому перетину заготовки.

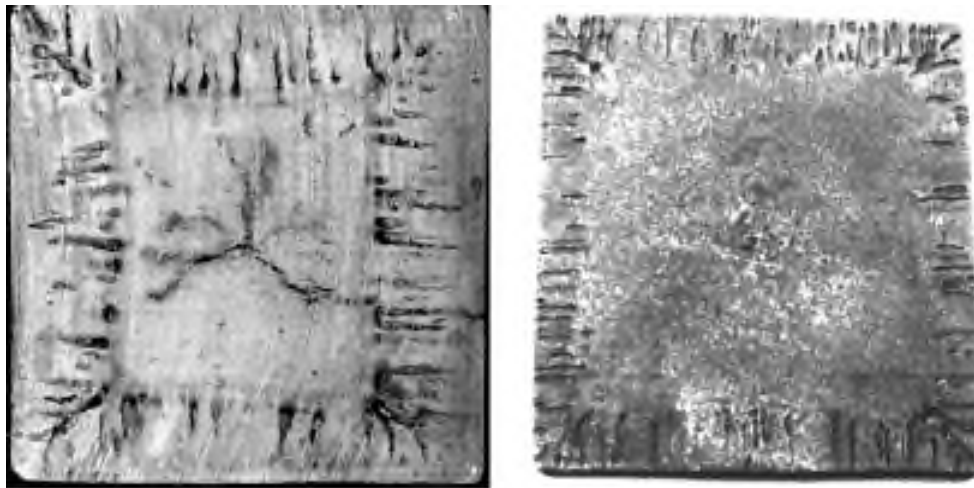


Рисунок 1.15 – Бульбашки в підкорковій зоні безперервнолитої заготовки (поперечний темплет)

При оцінці чистоти безперервнолитих заготовок на металургійних підприємствах використовують такий оціночний параметр, як крайові точкові забруднення. Крайові точкові забруднення проявляються у вигляді точкових скупчень лікватів (в основному сульфідів і оксидів) по перетину безперервнолитої заготовки та визначаються величиною точок і щільністю їх розташування. Для радіальних машинах безперервного лиття заготовок, наприклад, дуже характерно зосередження точкових забруднень по межі заготовки, відповідної малому радіусу.

Дуже важливим фактором появи оксидів є вторинне окислювання сталі, яке відбувається в ході технологічних переливів при безперервній розливці. Ще одним значущим джерелом неметалевих включень в сталі є ерозія

вогнетривів, що застосовуються для футеровки сталерозливних і проміжних ковшів. На забрудненість сталі неметалевими включеннями також має вплив точність і швидкість виконання технологічних операцій у процесі розливки сталі на машині безперервного лиття заготовок: наповнення проміжного ковша металом; кількість шлаку, що потрапляє з сталерозливного ковша в проміжний ківш; мінімізація рівня падіння сталі в проміжні ковші при заміні сталерозливного ковша та інші.

Завдяки останнім досягненням в області безперервної розливки сталі, на металургійних підприємствах створені всі необхідні передумови для виробництва сортової заготовки в сталеплавильних цехах з високою одиничною потужністю основних агрегатів. Це досягається шляхом використання багатострумкових сортових МБЛЗ з високою швидкістю витягання заготовки в сукупності зі застосуванням установки «ківш-піч», що забезпечують необхідну якість рідкого металу та ритмічність його подачі на МБЛЗ. Подальше підвищення якості безперервнолитої сортової заготовки та підвищення її конкурентоспроможності, мабуть, буде досягатися за рахунок розширення застосування методів захисту сталі від вторинного окислення, наприклад, при використанні розливки сталі через систему «стопор-моноблок» – «стакан-дозатор» – «стакан, що занурюється» [7].

1.5 Висновки

1. Світовий ринок сортової безперервнолитої заготовки розвивається в напрямку підвищення вимог до її якості як на макро-, так і на мікрорівнях. Разом з тим більшість виробників сортової заготовки віддають перевагу прямому отриманню сортових заготовок на високошвидкісних сортових МБЛЗ. При цьому перевага віддається заготівлях меншого перетину (максимально наближеним до розмірів перетину кінцевого продукту), оскільки в умовах прискореного затвердіння в меншій мірі розвиваються ліквацийні та усадкові процеси.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

При аналізі науково-технічної літератури з напрямку огляду дефектів безперервнолитої заготовки використовувалися емпіричні (спостереження, опис) та теоретичні (аналіз, синтез, узагальнення, пояснення) методи пізнання.

При аналізі науково-технічної літератури за напрямком, що досліджується, відбираються лише наукові факти. На основі наукових фактів визначаються закономірності явищ, вибудовуються теорії і виводяться закони.

При обробці результатів спостережень широко використовуються методи графічного зображення.

2.1 Методика моделювання формування внутрішніх дефектів мідної заготовки, отриманій на роторній МБЛЗ

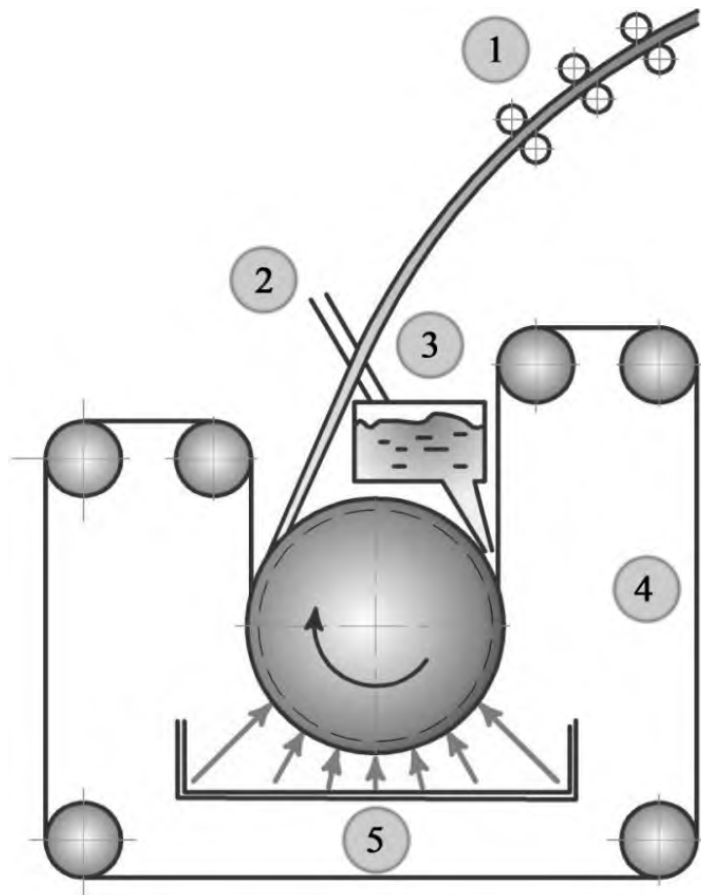
Комплексну технологію отримання якісної продукції з мідного брухту для електротехнічної промисловості реалізовано в умовах ПАТ «Артемівський завод з обробки кольорових металів» (ПАТ «АЗОЦМ»).

Технологічний процес виготовлення мідної катанки поєднує в одному технологічному ланцюжку наступні операції:

- плавка шихти;
- лиття безперервнолитої заготовки;
- прокатка заготовки до розміру катанки;
- освітлення;
- охолодження і смотка в бухти.

Отримана в умовах ПАТ «АЗОЦМ» методом вогневого рафінування мідь розливається на машині безперервного лиття заготовки роторного типу, схема якої представлена на рис. 2.1.

Основні характеристики роторної МБЛЗ (конструкція фірми Properzi) приведені у таблиці 2.1.



1 – заготовка, що отримується; 2 – жолоб для подачі міді із міксеру; 3 – проміжний ківш; 4 – сталеві стрічка; 5 – зона водяного охолодження колеса

Рисунок 2.1 – Схема розливки міді на роторній МБЛЗ

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики роторної МБЛЗ

№ п/п	Технічна характеристика	Значення
1	Діаметр ливарного колеса з бандажом, мм	2000
2	Продуктивність, т/год. (об/год.)	6,0-14,5 т (662-1580)
3	Конфігурація поперечного перерізу заготовки	трапеція
4	Висота заготовки, мм	35±10
5	Ширина заготовки, мм	65/55±10
6	Площа перерізу заготовки, що відливається, %	2100 мм ² ±10
7	Матеріал бандажу ливарного колеса	хромова бронза з добавкою цирконію
8	Довжина стрічки кристалізатора, мм	27200 (+ 300 / - 200)
9	Матеріал стрічки	низьковуглецева сталь

2.2 Методика моделювання теплового стану безперервнолитої заготовки та вдосконалення процесу кристалізації металу

Відомо, що повна модель двофазної зони бінарного сплаву представляє собою систему диференціальних рівнянь, яка охоплює рівняння енергії, масопереносу, нерозривності середовища та стану системи.

У запропонованій динамічній моделі враховуються вхідні теплофізичні властивості сталі, кристалізатора, зон охолодження і просторова конфігурація МБЛЗ.

Цифрова модель процесу теплообміну у кристалізаторі МБЛЗ розроблялася зі застосуванням пакету Matlab PDE Toolbox.

2.3 Висновки

1. Розглянуто методику моделювання формування внутрішніх дефектів мідної заготовки, отриманій на роторній МБЛЗ, та методику моделювання теплового стану безперервнолитої заготовки та вдосконалення процесу кристалізації металу.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФЕКТІВ ТА ТЕПЛОВОГО СТАНУ БЕЗПЕРЕРВНОЛИТОЇ ЗАГОТОВКИ

3.1 Моделювання формування внутрішніх дефектів мідної заготовки, отриманій на роторній МБЛЗ

В умовах а зростаючого рівня конкуренції перед металургійними виробниками міді та її сплавів гостро стоїть завдання підвищення ефективності виробництва та забезпечення відповідної якості. Високі якісні показники виробів з міді, у тому числі електротехнічні параметри і пластичність, забезпечуються мінімальним вмістом у ній домішок. Традиційно виробництво міді засноване на видобутку та переробці руд, наприклад, сполук міді з киснем і сіркою [11, 12].

Сьогодні при виробництві мідної продукції в Україні найбільш ефективним методом є отримання міді вогневого рафінування з вторинної сировини, оскільки цей метод дозволяє забезпечити достатній рівень якості технічної міді при її виробництві з місцевої сировини. Це дозволяє ефективно застосовувати таку мідь для виготовлення продукції для електротехнічної, будівельної та машинобудівної промисловості [13, 14]. При цьому найбільш актуальним завданням є розробка технологій та обладнання для виробництва металопродукції за принципом поєднаних технологій розливання та прокатки. Особливо ефективною така схема представляється у разі виробництва катанки для електротехнічної продукції, оскільки суміщення процесу розливання та прокатки дозволяє суттєво мінімізувати споживання енергії та знизити витрати праці на виробництво продукції порівняно з традиційною схемою прокатки зі злитків (анодів) [15, 16].

Для реалізації продукції з міді вогневого рафінування (особливо із залученням у виробництво низькосортної сировини) за міжнародними стандартами необхідно поряд з механічними властивостями контролювати і електротехнічні властивості. Однак при виробництві мідного прокату з

трапецієподібних заготовок, отриманих на роторній МБЛЗ, у деяких випадках спостерігається невідповідність параметрів готової продукції вимогам замовників. Зниження якості мідної катанки в основному пов'язане з внутрішніми дефектами литого трапецієвидного бруса (пористість, сторонні включення та інші), які заочуються в дрiт і погіршують її електротехнічні характеристики.

З метою ідентифікації причин формування внутрішніх дефектів (рис. 3.1) мідної заготовки трапецієподібного профілю було виконано дослідження особливостей формування кристалічної структури бруса, отриманого на розливній машині роторного типу.



Рисунок 3.1 – Дефекти внутрішньої структури в бруску трапецієподібного перерізу, який отриманий на роторній МБЛЗ

Найбільш ефективним методом дослідження затвердіння різноманітних заготовок є фізичне моделювання, оскільки воно дозволяє контролювати теплофізичні параметри системи (інтенсивність тепловідведення від моделі), а також візуалізувати процес формування кристалічної структури зливка [7–9]. При цьому особливого значення набуває вибір моделюючої речовини, яка повинна не тільки мати оптичну прозорість, але також мати певну сукупність

теплофізичних характеристик, що дозволяють забезпечити відповідну систему критеріїв подібності. Додатковою умовою, яка є вкрай важливою, є затвердіння речовини за дендритним механізмом.

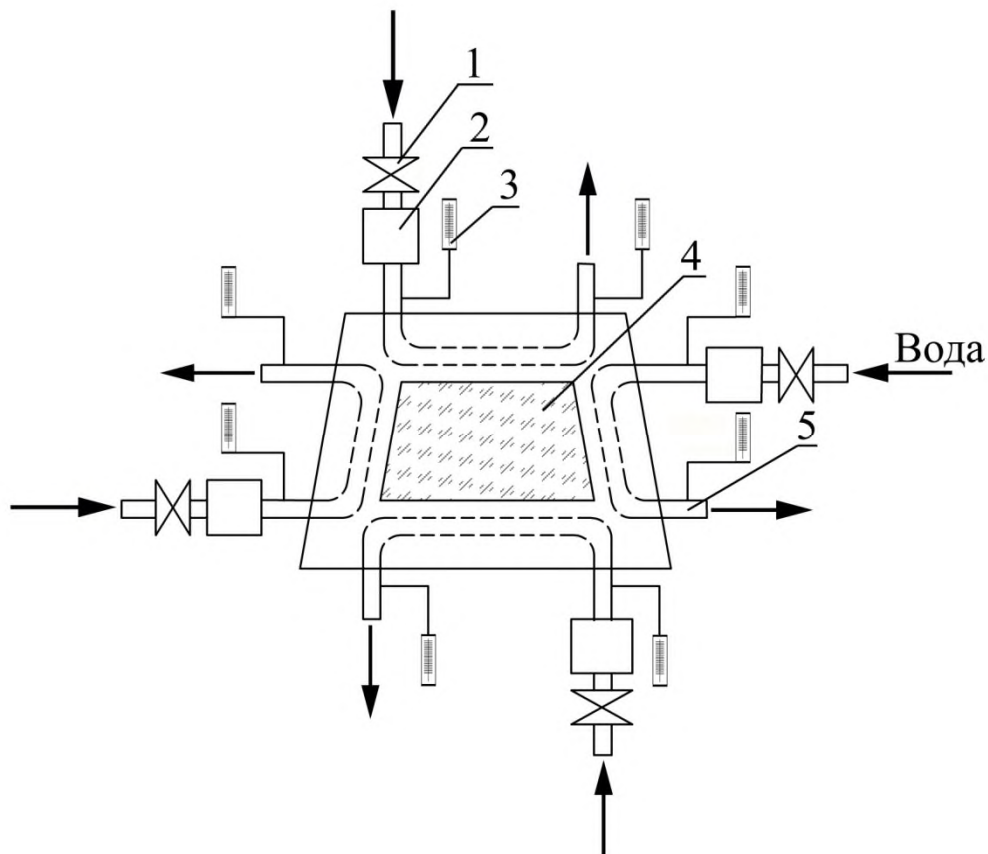
Як показує аналіз, найбільшою мірою вищепереліченим вимогам відповідає хімічна сполука камфен (2,2-диметил-3-метилен-біциклогептан), яка твердне з утворенням дендритної структури. При цьому в рідкому стані камфен зберігає оптичну прозорість аж до повного затвердіння [17–19]. Теплофізичні властивості камфена, визначені авторами в лабораторних умовах, наведені в таблиці 3.1.

Розплав камфена твердне в моделі кристалізатора, яка виготовлена з алюмінієвого сплаву, що забезпечує високу інтенсивність відведення тепла. У середині моделі кристалізатора вмонтовані мідні трубки (рис. 3.2, поз. 1) діаметром 5 мм, через які з певною витратою пропускається охолодна вода. До нижньої частини моделі приклеєно прозоре скло (рис. 3.2, поз. 3), яке дозволяє візуалізувати процеси затвердіння при пропусканні світла через рідку ванну. Відповідно, при такій схемі інтенсивність тепловідводу через водоохолоджувані стінки моделі на кілька порядків вище, ніж через меніск моделюючої речовини і прозоре скло.

Таблиця 3.1 – Фізичні та теплофізичні властивості камфена

Темпера-тура солідус, °С	Темпе-ратура ліквідус, °С	Теплота криста-лізації, кДж/кг	Теплоємність, кДж/кг·К		Темпера-туропровід-ність, м ² /с	Поверх-невий натяг, Н/м	Кінема-тична в'язкість, м ² /с
			рідін а	тверди й стат			
33	35	40,2	2,4	2,1	$1,3 \cdot 10^{-8}$	0,021	$7,2 \cdot 10^{-6}$

Для дослідження особливостей формування кристалічної структури мідного зливку була створена фізична модель, що імітує поперечний переріз трапецієподібного бруска. Схема лабораторної установки приведена на рис. 3.2.



- 1 – клапан регулювання подачі охолоджувальної води; 2 – термометр;
3 – витратомір; 4 – скло; 5 – мідна трубка

Рисунок 3.2 – Схема лабораторної установки для моделювання особливостей формування кристалічної структури мідного зливка

Фізична модель виконана в масштабі 1:1 по відношенню до об'єкта, що моделюється, – мідному трапецієподібному бруску перетином 50×65×35 мм. Температура заливки камфена складала $38 \pm 0,5$ °С. Середнє значення температури води для охолодження стінок моделі становило 18–20 °С. З метою запобігання впливу тепловідведення через скло та меніск розплавленого камфена на процес затвердіння висота модельного шару рідини була прийнята рівною 20 мм.

Процес формування твердої скоринки речовини в лабораторній моделі фіксувався за допомогою цифрового фотоапарата в режимі макрозйомки, що дозволило візуалізувати утворення кристалів і особливості формування дендритної структури.

У ході фізичного моделювання встановлено, що механізм затвердіння модельної речовини при дослідженні особливостей формування кристалічної структури мідної трапецієподібної заготовки має істотні відмінності від «класичного» механізму кристалізації, при якому кристали ростуть паралельно один одному (рис. 3.3).

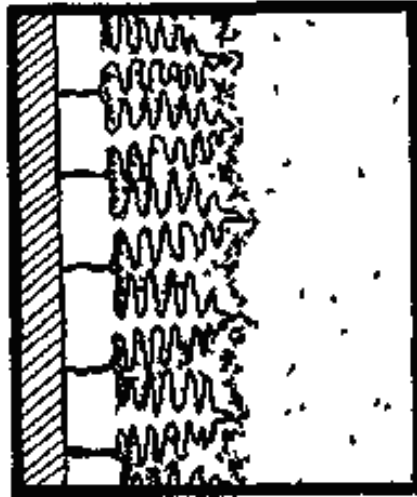
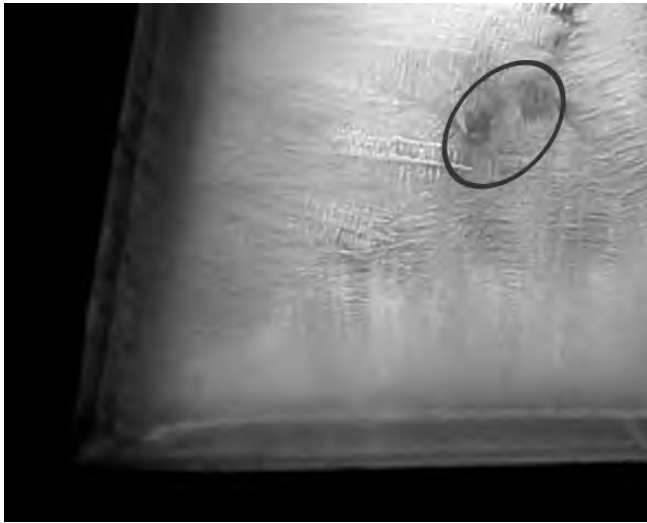


Рисунок 3.3 – Схема «класичного» механізму зростання дендритних кристалів

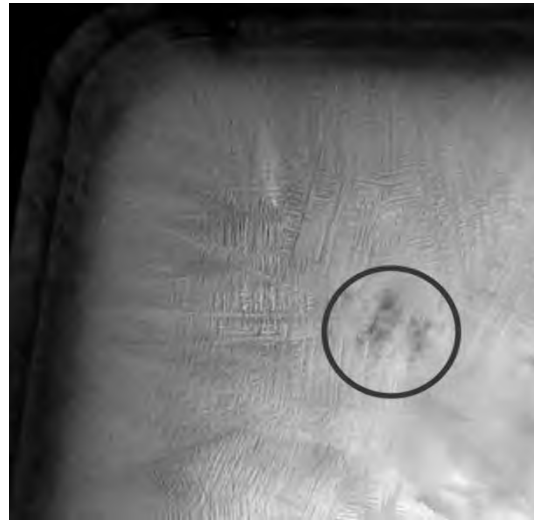
Основною особливістю формування кристалічної структури зливка міді є те, що напрям зростання дендритів у більшості випадків є хаотичним щодо поверхні тепловідведення, а швидкості росту окремих кристалів відрізняються на 25–35 %. При цьому розвиток довколишніх кристалів припиняється через зіткнення з вторинними гілками інтенсивніше розвиваються дендритів.

Також в процесі моделювання встановлено, що при кристалізації розплаву по описаному вище механізму можливе зіткнення кристалів, що найбільш інтенсивно розвиваються, ростуть на сусідніх гранях, при якому зникаються головні осі дендритів відокремлюють частину рідкої фази від загального обсягу (рис. 3.4). Цей ізольований об'єм рідкої фази не може підживлюватися розплавом з осьової частини заготовки. У процесі подальшого затвердіння така область сідає і формує садібну раковину всередині зливка. У

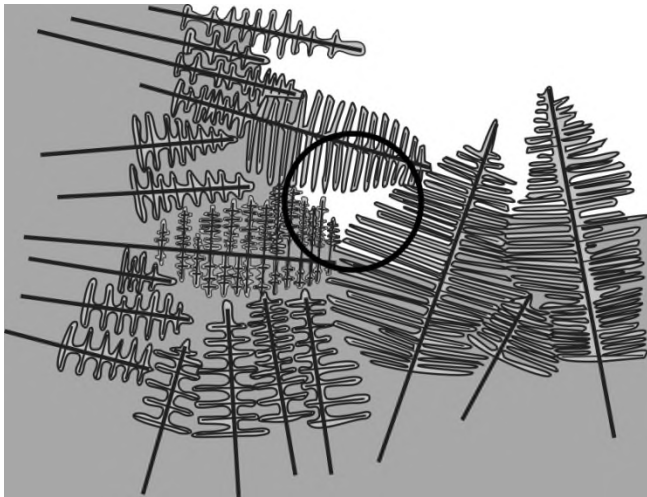
зв'язку з хаотичність напрямку зростання дендритних кристалів і високою швидкістю затвердіння міді формування подібного роду дефектів можливе в будь-якій точці поперечного перерізу заготовки.



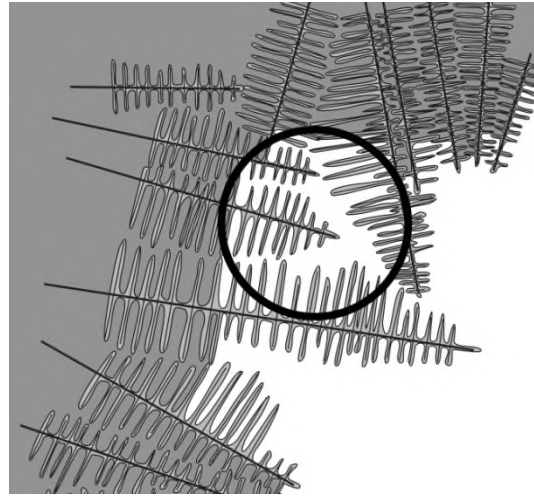
а



б



в



г

Рисунок 3.4 – Загальний вигляд (а, б) та схеми (в, г) ізольованих обсягів моделюючої рідини біля гострого та тупого кута моделі відповідно

В результаті виконаних досліджень встановлено, що формування внутрішніх дефектів, а зокрема пористості, в мідній заготівлі пов'язане з особливістю формування кристалічної структури міді при її розливанні на

МНЛЗ роторного типу. Показано, що в процесі затвердіння трапецієподібного зливка на колесі між кристалами сусідніх граней заготовки, що найбільш інтенсивно розвиваються, утворюються області рідкої фази, ізольовані від загального обсягу розплаву головними осями дендритів. Усадка таких областей у процесі затвердіння є причиною формування пор всередині зливка.

Невпорядковане розташування внутрішніх пір у поперечному перерізі трапецієподібного мідного бруска пояснюється хаотичністю напрямів росту дендритних кристалів, відмінностями швидкостей їхнього зростання [20].

3.2 Моделювання теплового стану безперервнолитої заготовки та вдосконалення процесу кристалізації металу

Відомо, що кристалізатор є одним із найбільш функціонально важливих вузлів в МБЛЗ. Він визначає раціональну роботу МБЛЗ і оптимальну якість безперервнолитої заготовки. Особливістю роботи кристалізатора є інтенсивний відвід тепла від заготовки. Температурний режим розливки визначає швидкість затвердіння сталі, глибину рідкої лунки та фізико-механічні характеристики сталі, що розливається. Нерівномірність температурного поля по перерізу і довжині безперервно литої заготовки призводить до температурних деформацій, які у свою чергу можуть виходити за межі пружності і текучості. Швидкість охолодження визначає структурні перетворення у сталі та іншими словами робить внесок у формування властивостей готового виробу [21–23].

У роботі розглядається математична модель теплообміну у безперервнолитої заготовці, що враховує нестационарну температурну залежність теплофізичних властивостей і трансляційне перенесення теплоти вздовж технологічної осі. З урахуванням сумірності розмірів граней безперервнолитої заготовки у поперечному перерізі температурне поле розглядається тримірним.

З застосуванням пакету Matlab PDE Toolbox пропонується цифрова модель процесу теплообміну у кристалізаторі МБЛЗ, що дозволяє виконувати

моделювання процесу теплообміну в процесі охолодження безперервнолитої заготовки:

1. Перший етап: визначення форми та розмірів безперервнолитої заготовки. Геометрична фігура (рис. 3.5) – квадрат перетином 150x150 мм – задається вручну або за допомогою вікна Object Dialog.

2. Другий етап: визначення для кожної з граней безперервнолитої заготовки граничних умови, що є однаковими для кожної сторони (рис. 3.6) і визначаються температурою стінок кристалізатора у певний момент часу.

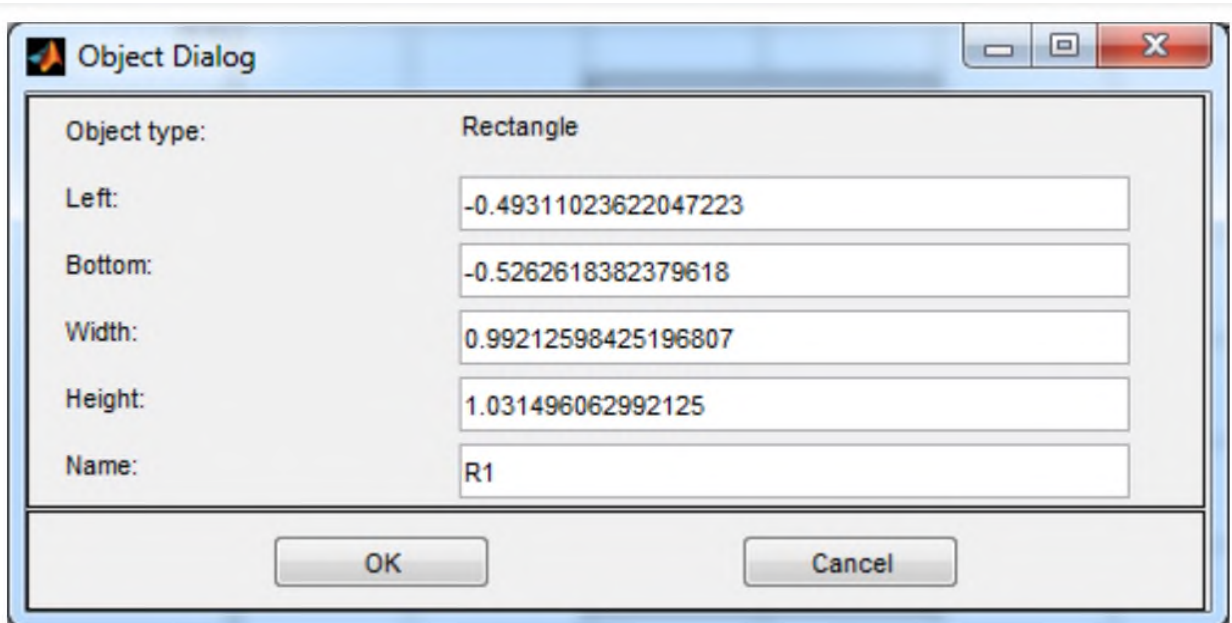


Рисунок 3.5 – Параметри геометричної фігури

Далі була сформована кінцево-елементна сітка (рис. 3.7), від щільності точок якої залежить швидкість розрахунку та точність розрахунку моделі й налаштовані параметри розв’язувача PDE у вікні Plot Selection (рис. 3.8).

Значення temperature у параметрі Height (3-D plot) дозволить бачити зміну температури металу у реальному часі на поверхні всієї заготовки у трьох вимірах (рис. 3.9). Експортуючи дані моделювання до вікна Workspace пакету Matlab, маємо змогу у подальшому будувати залежність розподілу температури уздовж поверхні безперервнолитої заготовки, оцінювати товщину застигаючої

кірки металу.

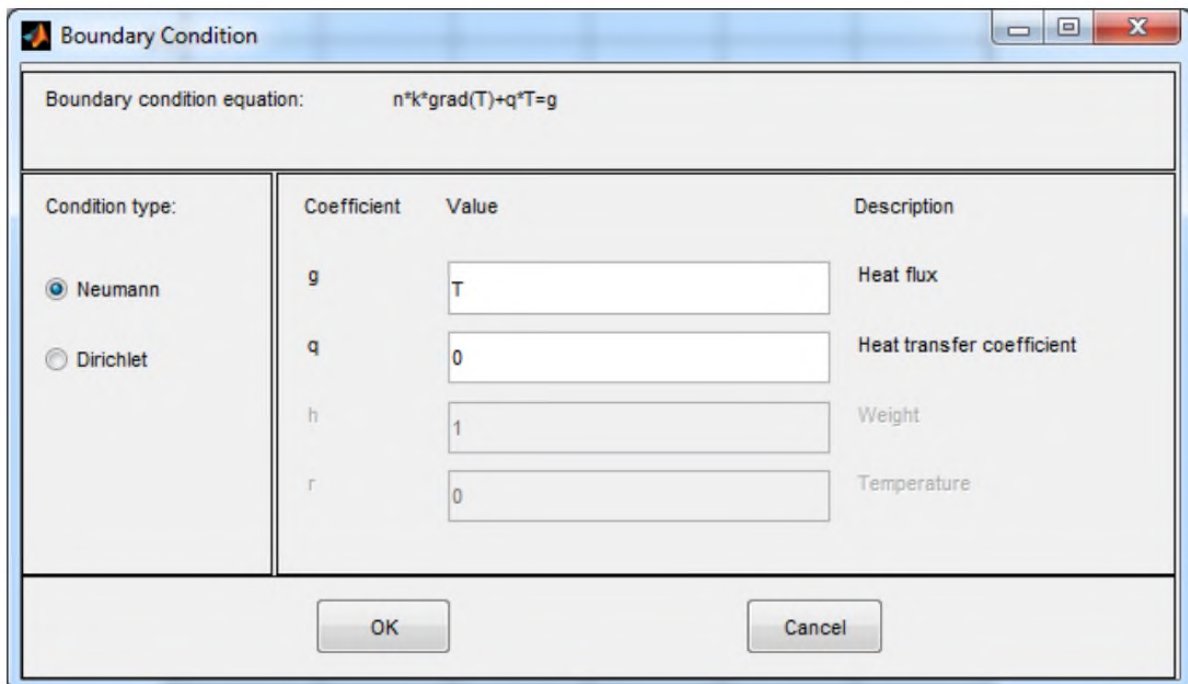


Рисунок 3.6 – Граничні умови для сторони заготовки

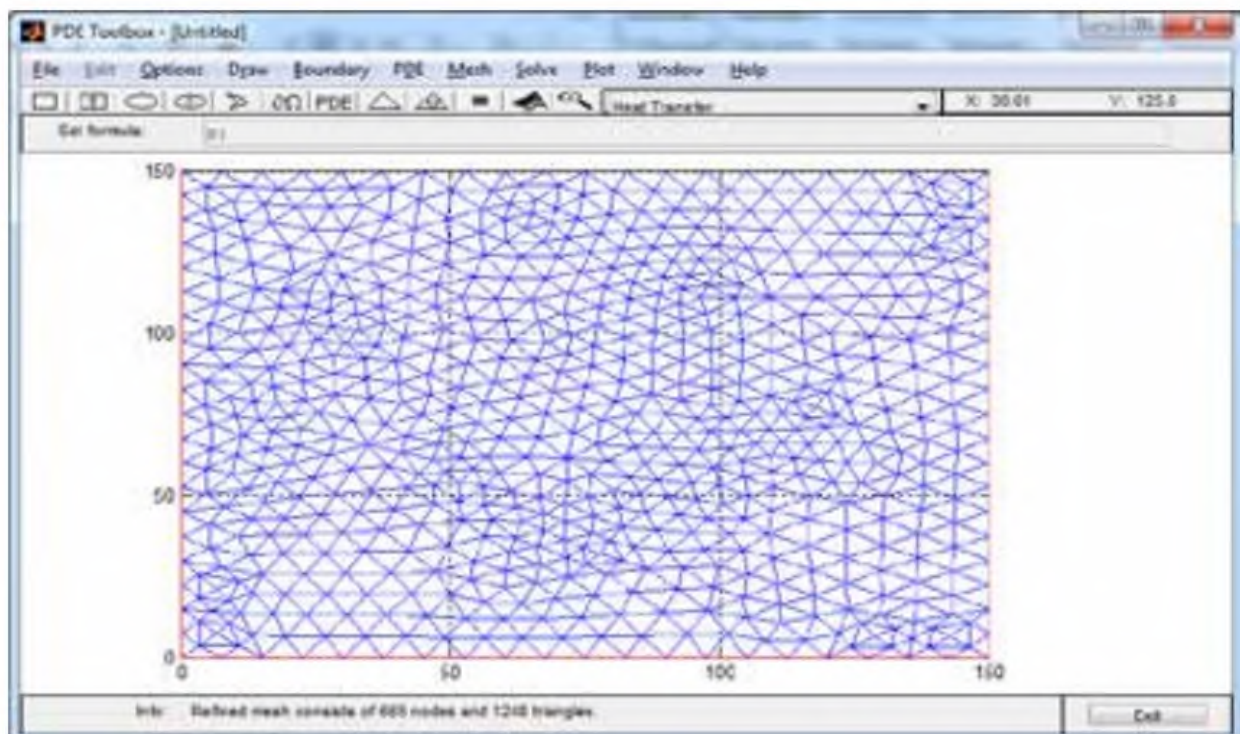


Рисунок 3.7 – Кінцево-елементна сітка моделі

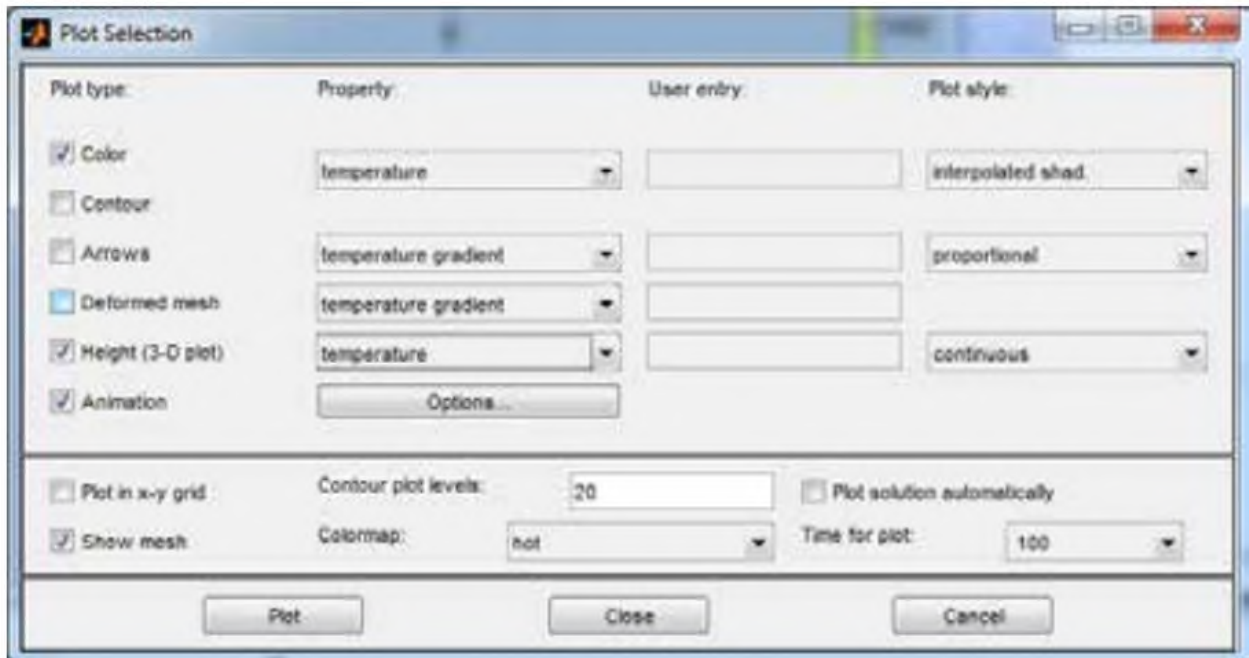
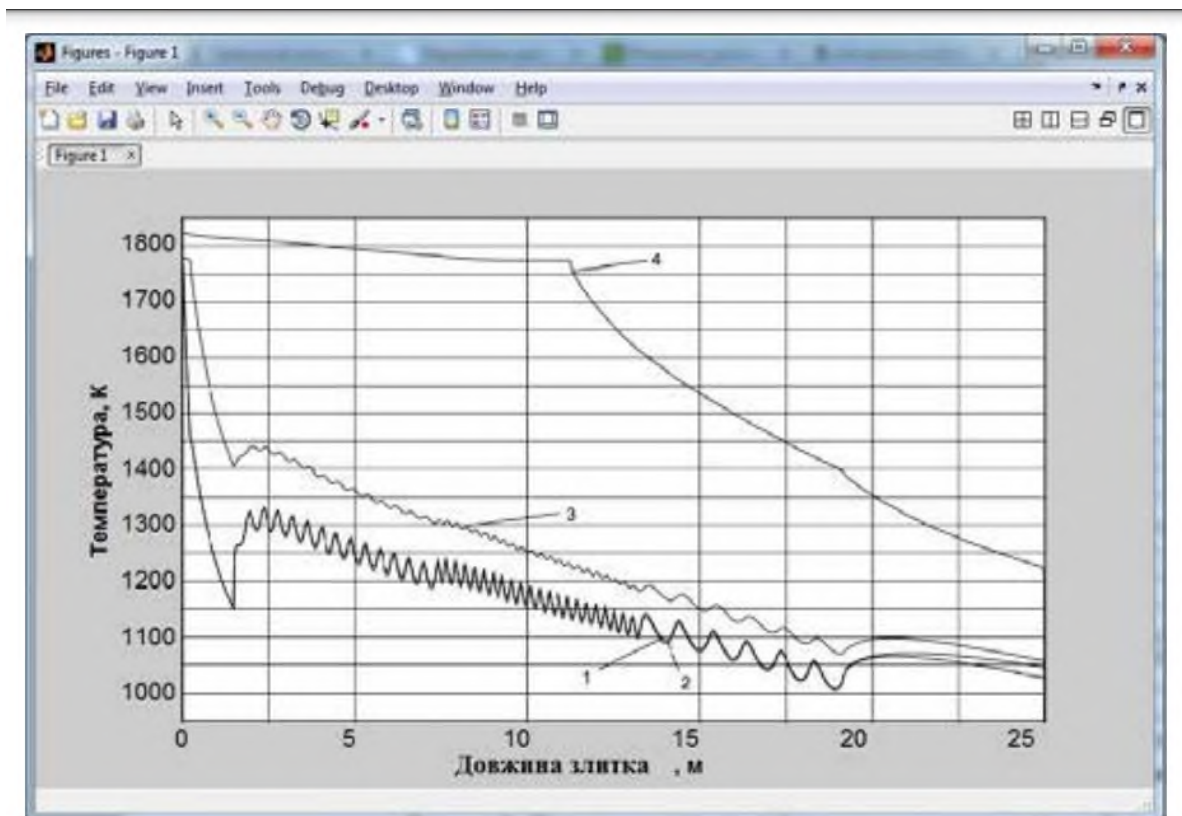


Рисунок 3.8 – Налаштування параметрів візуалізації моделі



1 – внутрішня поверхня зливка, 2 – зовнішня поверхня зливка, 3 – на відстані 4 мм від зовнішньої поверхні, 4 – на осі зливка

Рисунок 3.10 – Температура зливка у різних зонах

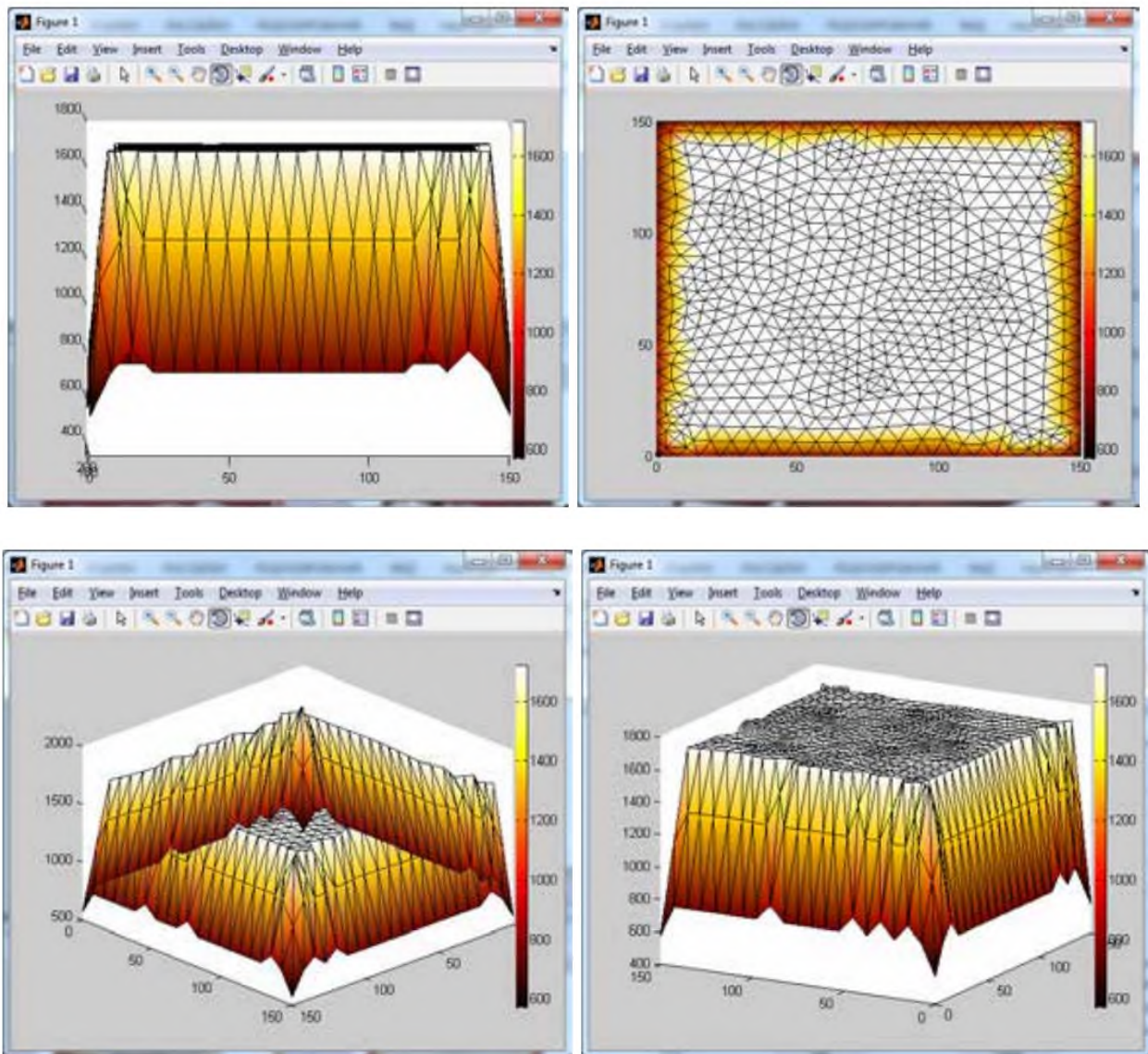


Рисунок 3.9 – Моделювання теплового стану безперервнолитих заготовок

Безпосередньо на рис. 3.10 зображена залежність розподілу температури уздовж поверхні на деякій відстані від поверхні і на осі безперервнолитої заготовки. Аналіз результатів моделювання показує, що кривизна безперервнолитої заготовки тягне за собою асиметрію температурного поля. Навіть при однаковій інтенсивності охолодження на поверхнях внутрішнього і зовнішнього радіусів температура на зовнішній поверхні трохи нижча. Таке ж явище спостерігається і у виробничих умовах. На рис. 3.11 представлені залежності глибини рідкої фази від швидкості витягування безперервнолитої заготовки при різних режимах охолодження.

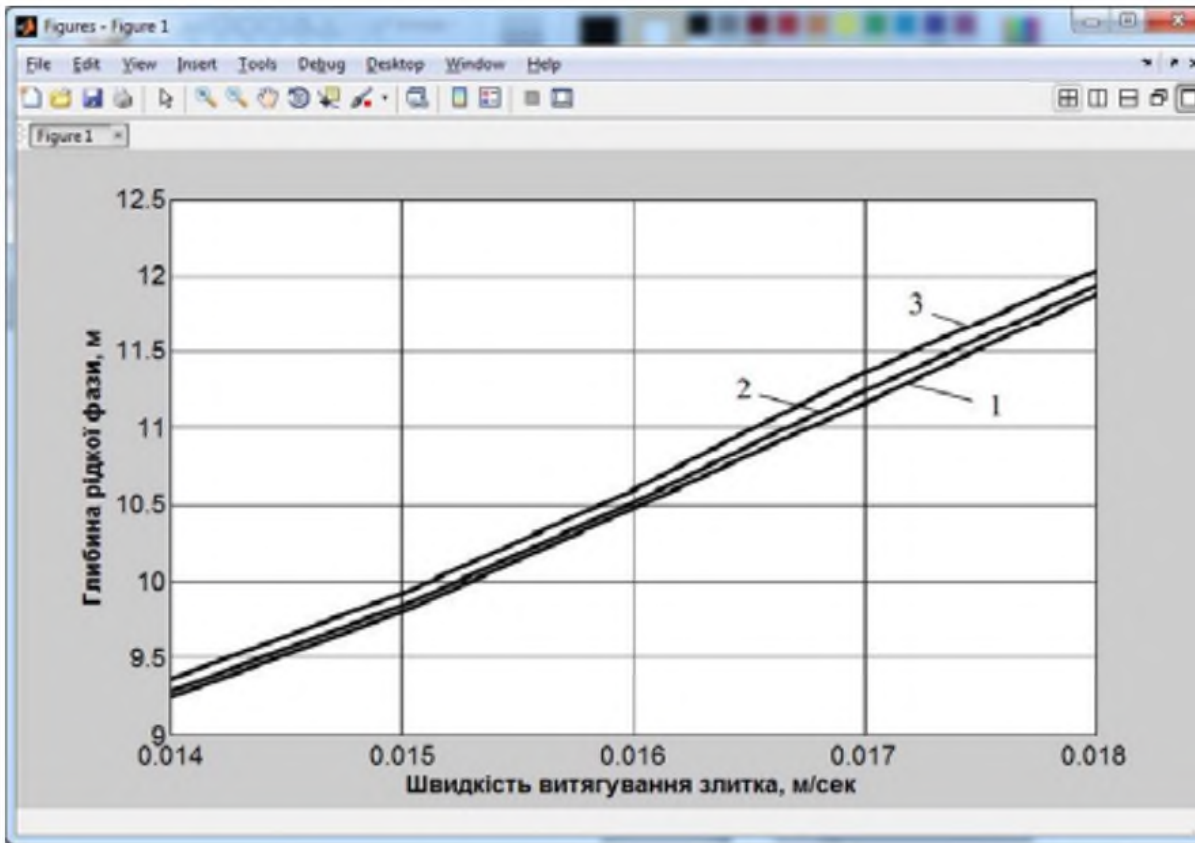


Рисунок 3.11 – Глибина рідкої фази залежно від швидкості витягування зливка

3.3 Висновки

1. Проаналізовано фізичну модель, що імітує поперечний переріз безперервнолитої мідної заготовки трапецієподібного профілю. Представлено результати фізичного моделювання процесу твердіння безперервнолитої мідної заготовки. Показано особливості формування кристалічної структури безперервнолитої мідної заготовки трапецієподібного профілю в процесі розливки металу на МБЛЗ роторного типу.

2. Однією з основних проблем, що зустрічається при розливці сталі на МБЛЗ радіально-криволінійного типу, є наявність тріщин і лікваційних зон у внутрішній структурі металу, а також на поверхні заготовки. Однією з причин появи дефектів у безперервнолитої заготовках є термічні напруги. Завдання підвищення якості заготовок вирішується оптимізацією процесу їх

охолодження за рахунок застосування адаптивної системи автоматичного керування температурним полем заготовок машини безперервного лиття заготовок, яка використовує розроблену математичну модель процесу охолодження заготовок, що відрізняється від відомих тим, що дозволяє розраховувати температурне поле по всьому об'єму заготівлі в часі при змінній швидкості лиття заготівлі та з урахуванням теплоти кристалізації, структурних переходів сталі, тепловіддачі за рахунок водяного охолодження [24].

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Кваліфікаційна робота магістра на тему «Аналіз дефектів безперервнолитої заготовки: основні види, причини формування та способи їх усунення» виконувалася в кімнаті загальної прощею 17м² в панельному будинку. Для нормалізації параметрів мікроклімату в цій кімнаті необхідно використовувати кондиціонування повітря або забезпечити подачу свіжого повітря системами вентиляції, проводити щоденне вологе прибирання та використовувати зволожувачі повітря, наприклад, такі як Deerma Humidifier 5L White) (DEM-F628).

4.1 Основні вимоги безпеки праці під час роботи на ноутбучі

Перед початком роботи на ноутбучі здобувач вищої освіти повинен дотримуватися наступних вимог безпеки:

- оглянути своє робоче місце, а при виявленні ознак пошкодження обладнання інформувати відповідального за техніку безпеки в комп'ютерному класі;
- відрегулювати освітленість на робочому місці, переконатися в відсутності відблисків на екрані комп'ютера, відсутності зустрічного світла;
- перевірити правильність підключення обладнання ЕОМ до електромережі;
- очистити екран комп'ютера від пилу та інших забруднень;
- перевірити правильність організації робочого місця та за необхідності провести відповідні коригування.

Робочі місця здобувача вищої освіти мають II ступінь вогнестійкості відповідно ДБН В.1.1.7-2016 [25].

Показники санітарних норм при роботі за ноутбуком моделі ASUS VivoBook 17 X712EA-VX817 повинні відповідати ДСанПН 3.3.2.007-98 [26]. Вимоги безпеки і захисту здоров'я здобувача вищої освіти при роботі за

ноутбуком повинні відповідати НПАОП 0.00-7.15-18 [27].

Робоче місце здобувача вищої освіти відповідає наступним критеріям ергономіки:

– висота робочої поверхні столу для ноутбуку складає 800 мм, що відповідає нормативним значенням від 680 мм до 800 мм;

– ширина письмового столу складає 700 мм, що відповідає нормативним значенням від 600 мм до 1400 мм;

– поверхня сидіння та спинки робочого стільця (офісний стілець) є напівм'якими, з не наелектризованим покриттям та по мірі забруднення піддаються чищенню, але не відповідають нормативу бути підйомно-поворотним, з можливістю регулювання висоти, бажано зі стаціонарними або змінними підлікотниками, тому у найближчий час їх треба замінити;

– екран ноутбука розташовується на відстані 600 мм від здобувача вищої освіти, що відповідає нормативним значенням від 600 мм до 700 мм, але не менше за 600 мм з урахуванням літерно-цифрових знаків і символів.

При роботі за ноутбуком діяльність здобувача вищої освіти відноситься до робіт середньої точності (IV розряд зорових робіт, мінімальний розмір об'єкту розрізнення складає від 0,5 мм до 1,0 мм, для яких при використанні бокового освітлення КПО = 1,5% [28]. Мінімальна освітленість кімнати встановлюється в залежності від розряду виконуваних зорових робіт. Для IV розряду зорових робіт вона складає від 300 лк до 500 лк.

4.2 Огляд заходів з поліпшення умов праці при роботі за ноутбуком

Для поліпшення умов праці при низькій температурі повітря в кімнаті необхідно застосовувати індивідуальне обпалення та застосовувати конвекторний обігрівач Ravanson CH-2000MT + турбо.

Для штучного освітлення у приміщенні використовується люмінесцентна лампа та одна настільна лампа KANLUX 84452.

Бажано у кімнаті мати плакат «Куточок з охорони праці» (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Плакат «Куточок з охорони праці»

При роботі за ноутбуком періодично здобувач вищої освіти повинен робити 15-ти хвилинні перерви через кожну годину роботи. Рекомендується виконувати комплекси вправ для очей (рис. 4.2), рук, хребта, поліпшення

мозкового кровообігу та інші. З метою зменшення негативного впливу монотонності необхідно застосовувати чергування операцій. При роботі з текстовою інформацією слід віддавати перевагу фізіологічно найбільш оптимальному режиму уявлення чорних символів на білому тлі.

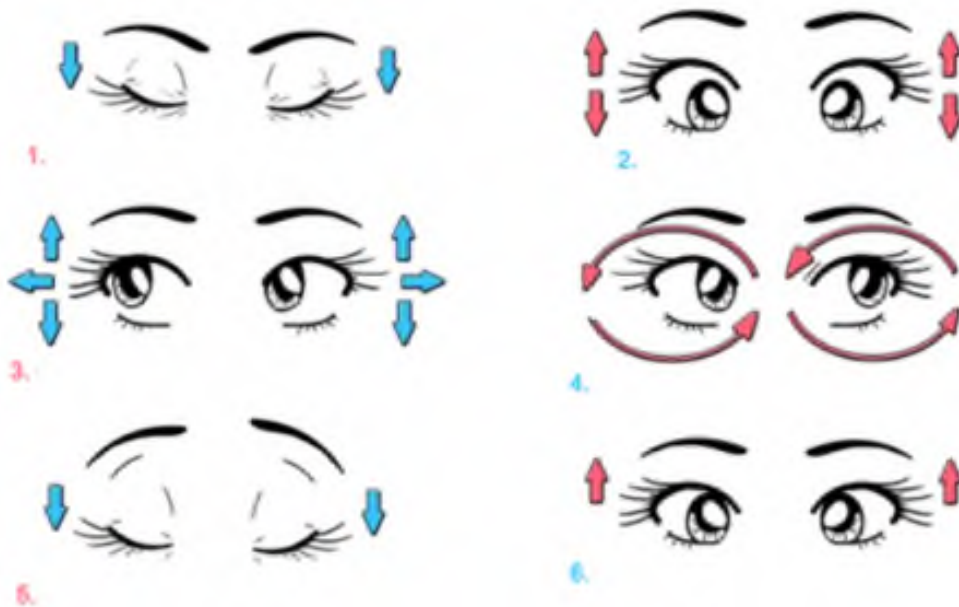


Рисунок 4.2 – Гімнастика для очей при роботі за ноутбуком

4.3 Висновки

4.1 Розглянуто основні вимоги безпеки праці під час роботи на ноутбуці та запропоновані відповідні заходи з поліпшення умов праці.

ВИСНОВКИ

1. Світовий ринок сортової безперервнолитої заготовки розвивається в напрямку підвищення вимог до її якості як на макро-, так і на мікрорівнях. Разом з тим більшість виробників сортової заготовки віддають перевагу прямому отриманню сортових заготовок на високошвидкісних сортових МБЛЗ. При цьому перевага віддається заготівлям меншого перетину (максимально наближеним до розмірів перетину кінцевого продукту), оскільки в умовах прискореного затвердіння в меншій мірі розвиваються ліквацийні та усадкові процеси.

2. Проаналізовано фізичну модель, що імітує поперечний переріз безперервнолитої мідної заготовки трапецієподібного профілю. Представлено результати фізичного моделювання процесу твердіння безперервнолитої мідної заготовки. Показано особливості формування кристалічної структури безперервнолитої мідної заготовки трапецієподібного профілю в процесі розливки металу на МБЛЗ роторного типу.

3. Однією з основних проблем, що зустрічається при розливці сталі на МБЛЗ радіально-криволінійного типу, є наявність тріщин і ліквацийних зон у внутрішній структурі металу, а також на поверхні заготовки. Однією з причин появи дефектів у безперервнолитої заготовках є термічні напруги. Завдання підвищення якості заготовок вирішується оптимізацією процесу їх охолодження за рахунок застосування адаптивної системи автоматичного керування температурним полем заготовок машини безперервного лиття заготовок, яка використовує розроблену математичну модель процесу охолодження заготовок, що відрізняється від відомих тим, що дозволяє розраховувати температурне поле по всьому об'єму заготівлі в часі при змінній швидкості лиття заготівлі та з урахуванням теплоти кристалізації, структурних переходів сталі, тепловіддачі за рахунок водяного охолодження.

ПЕРЕЛІК ДжЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Галеев Р.Р. Улучшение внутренней макроструктуры непрерывнолитых заготовок путем изменения технологических условий разлива. *Теория и технология металлургического производства*. 2017. №1(20). С. 31–35.
2. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Использование железоуглеродистых сплавов. Москва : Металлургия, 1993. 416 с.
3. Ершов Г.С., Позняк Л.А. Микронеоднородность металлов и сплавов. Москва : Металлургия, 1985. 214 с.
4. Парусов В.В., Сычков А.Б., Парусов Э.В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки. Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2012. 376 с.
5. Металлургические и металловедческие аспекты производства высокоуглеродистой катанки / А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, А.Ю. Столяров и др. Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2014. 257 с.
6. Голиков И.Н., Масленков С.Б. Дендритная ликвация в сталях и сплавах. Москва : Металлургия, 1977. 224 с.
7. Воденнікова О. С. Теорія та технологія розливу і кристалізації сталі : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 136 «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. 112 с.
8. Ботников С.А. Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла. Издание второе. Волгоград, 2011. 97 с.
9. Воденнікова О.С., Харченко А., Воденнікова Л. Огляд сучасних видів та причин утворення дефектів безперервнолітої заготовки. *Scientific discussions and solution development* : VI International Scientific and Practical Conference (December 05–07, Graz, Austria). Graz: -, 2022. pp. 310–315.
10. Дефекты поверхности непрерывнолитых заготовок. URL:

<http://uas.su/books/mnlz/4.3.2/razdel432.php> (дата звернення: 01.12.2022).

11. Осинцев О. Е., Федоров В. Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки : справочник. Москва : Машиностроение, 2004. 336 с.

12. Уткин Н. И. Производство цветных металлов. Москва : Интернет Инжиниринг, 2004. 442 с.

13. Рафинированная медь Украины / Ю. Д., Савенков, В. И. Дубоделов, В. А. Шпаковский и др. Днепропетровск : Арт-Пресс, 2008. 176 с.

14. Бредихин В. Н., Маняк Н. А., Кафтаненко А. Я. Медь вторичная. Донецк : ДонНТУ, 2006. 416 с.

15. Буров А. В. Литье слитков медных сплавов. Москва : Metallurgy, 1972. 184 с.

16. Arderiu O. G., Properzi G. Continuous Copper Rod Production from 100 % Scrap : 65th Annual Convention of the Wire Association International (March 1995, Atlanta, Georgia, USA). *Wire Journal International*, 1996. pp. 75–82.

17. Смирнов А.Н., Ухин В.Е., Жибоедов Е.Ю. Физическое моделирование условий формирования непрерывнолитой сортовой заготовки в кристаллизаторе высокопроизводительной МНЛЗ. Процессы литья. 2009. № 1. С. 33–42.

18. Смирнов А. Н., Ухин В. Е. Моделирование условий деформации твердой корочки заготовки в кристаллизаторе сортовой МНЛЗ. *Металл и литье Украины*. 2009. № 7–8. С. 69–74.

19. Непрерывная разливка сортовой заготовки / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, А. Л. Подкорытов и др.. Алчевск : ДонГТУ, 2012. 449 с.

20. Смирнов А. Н., Ухин В. Е., Верзилов А. П., Naseri Ali. Исследование причин формирования внутренних дефектов медной заготовки, полученной на роторной машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). *Метал та литья України*. 2020. №1(320). С. 48–54.

21. Irving W. R. Continuous Casting of Steel. *Institute of Metals*. London, 1993. pp. 182–185.

22. Thomas B. G. Continuous Casting of Steel. Modeling and Simulation for

Casting and Solidification Processing. Chap. 15. O. Yu. editor. Marcel Dekker. New York, 2001. pp. 499–540.

23. Мищенко И. О. Моделирование и оптимизация температурного поля непрерывнолитого слитка. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2006, № 3. С. 15–21.

24. Маринич І. А., Сердюк О. Ю. Математична модель теплового стану заготовок для вдосконалення керування процесом кристалізації металу на машині безперервного лиття заготовок. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. 2021. Т 32 (71). Ч. 1. № 2. С. 180–187.

25. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. [Чинний з 01.06.2007 р]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, 67 будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 35 с.

26. ДСан Пін 3-3.2-007-98. Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний з 10.12.1998 р]. Вид. офіц. Київ, 1998. 18 с.

27. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. [Чинний з 25.04.2018 р]. Вид. офіц. Київ, 2018.

28. Геврик Є. О. Охорона праці: навч. посібн. для студ. ВНЗ. Київ : Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

**НАУКОВІ ПРАЦІ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
МАГІСТРА**



SCIENTIFIC DISCUSSIONS AND SOLUTION DEVELOPMENT

76.	Сич Т.В. ОСОБЛИВОСТІ ПОЛІТИКО-УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ	283
PSYCHOLOGY		
77.	Максимець С.М. ОСОБЛИВОСТІ ЕКОНОМІЧНОЇ СВІДОМОСТІ СТУДЕНТІВ	285
78.	Мірошніченко О.М., Главацької С.Ю. ДОСЛІДЖЕННЯ ПСИХОСОЦІАЛЬНИХ РИЗИК-ФАКТОРІВ З МЕТОЮ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗЛОЧИНІВ СЕРЕД НЕПОВНОЛІТНІХ ОСІБ, ЯКІ ПЕРЕБУВАЮТЬ У КОНФЛІКТІ З ЗАКОНОМ	288
79.	Терещук О.В. ЗМІСТ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА СТРЕСОВИХ ПЕРЕЖИВАНЬ У БЕЗРОБІТНИХ	291
TECHNICAL SCIENCES		
80.	Kis O., Smetana A., Antoshchenkov R. OVERVIEW OF MEASURING SYSTEMS OF TRACTORS	295
81.	Svirgun O., Savchenko V., Svirgun V. SOLUTION OF CLASSIC PROBLEMS OF THE "STRENGTH OF MATERIALS" DISCIPLINE USING FINITE ELEMENT ANALYSIS SYSTEMS	301
82.	Vatuliak Y., Kolomiets A. IMPROVEMENT OF CUTTING METHODS OF BOOKBLOCKS IN PAPERCOVER WITH VALVES	304
83.	Анацький О.О., Лейман О.І., Лавренко В.А. ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ЕЛЕКТРИЧНИХ АПАРАТІВ ЛОКОМОТИВІВ	307
84.	Воденнікова О., Харченко А., Воденнікова Л. ОГЛЯД СУЧАСНИХ ВИДІВ ТА ПРИЧИН УТВОРЕННЯ ДЕФЕКТІВ БЕЗПЕРЕРВНОЛІТОЇ ЗАГОТОВКИ	310

TECHNICAL SCIENCES
SCIENTIFIC DISCUSSIONS AND SOLUTION DEVELOPMENT

тріщини по перетину; кутові тріщини; тріщини в осевій зоні; центральна пористість; осьо́ва ізоля́ція; газо́ві бульба́шки; скупче́ння неметале́вих і шлако́вих вклю́чень.

Вплив процесу безперервної розливки на якість заготовки показано у таблиці 1. Фактори, які впливають на утворення та розвиток дефектів геометрії та поверхні безперервнолитого металу представлені у таблицях 2 та 3, а фактори, які впливають на розвиток внутрішніх дефектів безперервно литої заготовки, представлені в таблиці 4.

Таблиця 1.
Вплив процесу безперервної розливки сталі на якість заготовки [9]

Виробнича ділянка на МБЛЗ	Фактор	Неметалеві включення	Дефекти поверхні	Внутрішні дефекти
Проміжний кілок	Температура сталі	+	+	+
	Захисна труба на ділянці сталерозливної кілки – проміжній кілки	+		
	Форма та об'єм	+		
	Вогнетривка футеровка	+	+	
	Кривка	+	+	
	Станок-диаметр (форма, захист струменів)	+	+	+
Кристалізатор	Форма та геометрія		+	
	Качення		+	
	Знакостик		+	
	Контроль податі знакостик		+	
	Якість знакостик		+	
	Хімічний аналіз сталі та структура затвердіння		+	+
	Контроль рівня металу		+	
Налаштування технологічної осі		+	+	
Вторинні ролики, що направляють, та охолодження	Тип та контроль вторинного охолодження		+	+
	Температура поверхні заготовки		+	+
	Хімічний аналіз сталі та структура затвердіння		+	+
	Центрування та геометрія роликів, що направляють		+	+
Тягуще-привідний агрегат	Об'єктивний вплив заготовки роликами		+	+

Спотворення профілю заготовки або зміна геометрії окремих ділянок їх периметра можуть бути непрямыми показниками ураженості заготовки тріщинами та створює цілий ряд труднощів при подальшому переділі.

Дефекти торців заготовки є не тільки товарним видом заготовки, вони також є причиною зародження різних дефектів прокатної продукції. Для виключення та повної відсутності даного дефекту потрібно використовувати додаткові засоби (обладнання, механізми, робочі ресурси) для видалення дефектів торців.

Таблиця 2.
Фактори, які впливають на утворення та розвиток дефектів геометрії
безперервнолитого металу [9]

Фактор	Висута (випуклість)	Упуклість	Робочість	Співмірність	Кривизна (сприхилена сферичність)	Скручення	Спостережуваний поверхневий пестрстатус	Вказівники допівни	Дефекти ліній
Хімічний склад сталі	+	+	+	+	+				+
Температурно-швидкісний режим розливу сталі	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Порушення робочої геометрії тіла кристалізатора			+	+			+		
Нерівномірне зменшення в кристалізаторі (маслі)			+	+			+		
Режим вторинного охолодження	+	+	+	+			+		
Піднесення металу в кристалізатор (пестрування піднесення металу в кристалізатор)			+	+					
Несовмісність кристалізатора та пеструвальної системи (порушення траєкторії руху кристалізатора), порушення тангентальної осі струмка	+	+	+	+			+		
Налаштування тангентальної машини	+				+	+	+		
Неадекватне третинне охолодження (після різання зливка на заготовку)					+				
Налаштування машини для різання зливка на заготовку (режим різання, АСУПІ та механіка)								+	+

Основним дефектом поверхні безперервнолитих заготовок круглого, квадратного і прямокутного перерізів є тріщини, які поділяють на «гарячі» (кристалізаційні) та холодні. Кристалізаційні тріщини не перетинають осей дендритів; їх стінки або закінчення тріщини збагачені лікватами. Холодні тріщини перетинають осі дендритів.

Дефекти внутрішньої будови заготовки виявляють і оцінюють на поздовжніх і поперечних темплетях. Оцінку макроструктури проводять шляхом порівняння протрусних темплетів або сірчанних відбитків з еталонами шкал балів. Осьову хімічну неоднорідність у деяких випадках оцінюють кількісним методом. Для цього свердлом (діаметр свердла в межах 5–10 % розміру сторони заготовки) відбирають проби на аналіз з осьової зони, проміжної та крайової [9].

Також мають місце і дефекти профілю безперервнолитої заготовки (поперечний чи поздовжній переріз заготовки деформовано щодо заданої геометричної конфігурації). Такі дефекти можуть бути пов'язані з підвищеною швидкістю або температурою розливу сталі, недостатнім, підвищеним або неоднорідним охолодженням зливка. Основною причиною, що викликає розвиток порушення зміни заготовки, є нерівномірне нарощування кірки зливка в

кристалізаторі [10].

Таблиця 3.
Фактори, які впливають на утворення та розвиток дефектів поверхні
безперервного металу [9]

Фактор	Трищина					Грубість металу під час кристалізації	Пупок	Шарики окислення	Посів
	Вузли поверхні	Поперек	Поздовжні ребра	Поперек	Середина поверхні-збій				
Хімічний склад сталі	-	-	+	+	+		+	+	
Температура металу	-	-	+	+		+	+	+	
Повільний метал в прокатному валку								+	
Підведення металу в кристалізатор	+		+	+				+	
Захват металу в кристалізаторі	+	-	+	+	+	+	+	+	
Швидкість розливу сталі		-		+					
Режим вторинного охолодження	+	-	+	+	+				
Кривизна сітки	+	-	+	+					
Режим катання кристалізатора	+	-				+			
Нестійкість кристалізатора і підручної системи (порушення траєкторії руху кристалізатора)		-		+					
Порушення робочої геометрії сітки кристалізатора	+	-	+	+					
Температура зливка у зоні розливу	-	-							
Рівні коливання рівня металу в кристалізаторі				+					+
Зування виступання зливка		-							+
Верхній і нижній метал в кристалізаторі (власно або плавотворничі суміші)	-	-		+					

Одним із небажаних явищ при виробництві безперервної заготовки, гарячекатаної продукції є окислення гарячого металу в навколишньому середовищі з утворенням на його поверхні окислини. Дефекти, що представляють собою порушення суцільності металу та відхилення від нормальної заданої макро- та мікроструктури, істотно знижують технологічну пластичність металу в умовах його обробки та експлуатаційну стійкість.

Наявність дефектів, їх вид і кількість визначаються не тільки вдосконаленням технологій виробництва, але і ступенем їх дотримання на заводах-виробниках. У зв'язку з цим в задачі встановлення причин незадовільного якості металопродукції входить не тільки виявлення дефектів, але й відновлення їх природи та причини виникнення [11].

Слід зазначити, що висока якість поверхні прокату найбільш ефективно забезпечується заходами попереджувального характеру, а не застосуванням

TECHNICAL SCIENCES
SCIENTIFIC DISCUSSIONS AND SOLUTION DEVELOPMENT

різних способів виправлення дефектів [12].

Таблиця 4.
Фактори, які впливають на розвиток внутрішніх дефектів безперервнолитої заготовки [9]

Фактор	Кутів тріщин	Тріщини в прокатній	Тріщини в осереді залив	Особливі зварювання	Особливі пористість	Особливі фазити	Пупир	Внутрішні дефекти заготовки
Хімічний склад сталі	+	+	+	+	+	+	+	-
Потайочна обробка сталі					+		+	-
Тип МБ/В								-
Температурно-швидкісний режим розливу		+	+	+	+	+		
Вторинне інжектування	+	+		+	+			
Підлога металу в кристалізаторі	+			+	+		+	-
Геометрія робочої сторони сілеса	+	+						-
Зварювання в кристалізаторі	+						+	
Стан підтримувальної системи	+	+	+	+	+	+		
Стан технічно-правильного агрегату			+			+		

Список літератури:

1. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Галеев Р.Р. Улучшение внутренней макроструктуры непрерывнолитых заготовок путем изменения технологических условий разлива. *Теория и технология металлургического производства*, 2017. №1(20). С. 31–35.
2. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Использование железоуглеродистых сплавов. Москва : Металлургия, 1993. 416 с.
3. Ершов Г.С., Позняк Л.А. Микроненормодность металлов и сплавов. Москва : Металлургия, 1985. 214 с.
4. Парусов В.В., Сычков А.Б., Парусов Э.В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки. Днепропетровск : АРТ-ПРЕСС, 2012. 376 с.
5. Металлургические и металловедческие аспекты производства высокоуглеродистой катанки / А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, А.Ю. Сталяров и др. Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2014. 257 с.
6. Голик И.Н., Масленков С.Б. Дендритная ликвация в сталях и сплавах. Москва : Металлургия, 1977. 224 с.
7. Дефекты поверхности непрерывнолитых заготовок. URL: <http://uas.su/books/mnlz/4.3.2/razdel432.php> (дата звернення: 01.12.2022).
8. Дефекты внутренней структуры непрерывнолитої заготовки. URL: <http://uas.su/books/mnlz/4.3.3/razdel433.php> (дата звернення: 01.12.2022).

9. Ботников С.А. Современный атлас дефектов непрерывной заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла. Издание второе. Волгоград, 2011. 97 с.

10. Дефекты профиля непрерывных заготовок. URL: <http://uas.su/books/mmlz/4.3.1/tazdel431.php> (дата звернення: 01.12.2022).

11. Прогнозування дефектів при виробництві літніх заготовок. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-defektov-pri-proizvodstve-lityh-zagotovok/viewer> (дата звернення: 01.12.2022).

12. Левченко Г.В., Самохвал В.М. Теорія якості і сертифікації : навч. посіб. для студентів спеціальності 7.900.404 – Обробка металів тиском. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2009. 117 с.