

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет гірничо-металургійний  
Кафедра металургії, матеріалознавства та організації виробництва

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**кваліфікаційної роботи**

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Металургія сталі»  
за спеціальністю 136 Металургія

**на тему «Дослідження причин виникнення проривів корки  
металу під кристалізатором при безперервному розливанні  
сталі і розробка рекомендацій щодо зниження аварійних  
ситуацій»**

Здобувач

Віктор САНИЦЬКИЙ

Кам'янське 2024

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

Робота виконана у Технічному університеті «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» на кафедрі металургії, матеріалознавства та організації виробництва.

Керівник:



Синегін Євген Володимирович,  
канд. техн. наук, доцент, доцент

Захист відбудеться 24 січня 2024 р. о 09:00 год на засіданні екзаменаційної комісії ([https://teams.microsoft.com/join/19%3ameeting\\_ZThkNzg5NDEtNDNiZC00ZWVmLTk2NTAtNWQ1ZjU1ODM2NjAx%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2201efadc2-6354-43fb-8f92-8e8c2485636b%22%7d](https://teams.microsoft.com/join/19%3ameeting_ZThkNzg5NDEtNDNiZC00ZWVmLTk2NTAtNWQ1ZjU1ODM2NjAx%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2201efadc2-6354-43fb-8f92-8e8c2485636b%22%7d)).

Електронна версія автореферату розміщена в Інституційному репозитарії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» 17 січня 2024 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Актуальність теми роботи.** Розливання сталі безперервним способом – є ключовим етапом у сталеплавильному виробництві, що відіграє вирішальну роль у покращенні якості продукції та оптимізації виробничих процесів. Актуальність впровадження цієї технології набуває все більшої ваги в контексті сучасних вимог до ефективності, якості та сталеплавильної промисловості загалом.

У контексті сучасних викликів у зв'язку зі змінами клімату, розливання сталі безперервним способом є важливим кроком до створення більш екологічно чистих виробничих процесів. Це дозволяє зменшити викиди шкідливих речовин та енергоефективно виробляти сталь. Застосування цієї технології сприяє зменшенню викидів вуглецю, оптимізації використання енергії та водних ресурсів, що робить її ключовою у зусиллях промисловості для досягнення кліматичної стійкості.

**Постановка проблеми.** Поза цим, впровадження безперервного розливання сталі також відкриває нові можливості для збільшення продуктивності та ефективності виробництва. Швидкість процесу, автоматизація та більш точний контроль параметрів створюють умови для збільшення обсягів виробництва та зниження витрат на управління та обслуговування виробництва.

Однією з найбільших проблем, що може виникати при безперервному розливанні сталі, вважаються прориви рідкого металу, які можуть призводити до виникнення низки дефектів безперервнолитої заготовлі та утворення аварійних ситуацій на виробництві. Тому дослідження причин виникнення проривів корки металу під кристалізатором при безперервному розливанні сталі є актуальними.

**Мета дослідження.** Зменшення кількості проривів металу під кристалізатором при розливанні сталі на МБЛЗ за рахунок завчасного їх виявлення та попередження.

### **Задачі дослідження:**

- проаналізувати світовий досвід у використанні систем раннього виявлення проривів, їх апаратної та програмної складової;
- проаналізувати за науковими джерелами типи проривів металу під кристалізатором та причини їх утворення;
- проаналізувати із використанням статистичних методів параметри технології безперервного розливання сталі для виявлення індикаторів, що можуть завчасно вказувати на ризик утворення прориву;
- розробити рекомендації для впровадження в АСУТП для раннього виявлення проривів при розливанні сталі на МБЛЗ;

- оцінити вплив запропонованих рекомендацій на основні шкідливі і небезпечні фактори у відділенні МБЛЗ, питання пожежної безпеки та за необхідності розробити заходи з поліпшення умов праці;
- охарактеризувати вплив запропонованих рекомендацій на довкілля;
- виконати оцінку очікуваного економічного ефекту від впровадження запропонованих заходів у виробничий процес.

**Об'єкт дослідження** - технологія безперервного розливання сталі.

**Предмет дослідження** - утворення проривів корки металу під кристалізатором.

**Результати та обґрунтування їх новизни / інноваційності.** За результатами проведеного дисперсійного аналізу встановлені технологічні параметри розливання сталі на МБЛЗ, які можна вважати індикаторами ризику утворення проривів. Висунуті рекомендації щодо гранично низького рівня металу в кристалізаторі, різниці температури води на вході і виході з кристалізатора та гранично високої швидкості розливання.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 59 сторінок, робота містить 13 рисунків, 3 таблиці. Список використаних джерел складається з 28 джерел.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

За результатами виконання досліджень в рамках випускної кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня магістр отримано наступне:

- розглянуто новітні методи виявлення та відновлення проривів підвисання, зокрема перспективними для використання є системи засновані на технологіях машинного зору, глибокого навчання та нейромережах;
- описано механізми утворення проривів різного типу та фактори, що на них впливають;
- проаналізовано основні причини проривів металу під кристалізатором в умовах ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»;
- обґрунтовано вибір методики дисперсійного аналізу виробничих даних для виявлення статистично значущих параметрів розливання сталі;
- встановлено статистично значущий вплив мінімального рівня металу в кристалізаторі, мінімальної різниці температури води на вході та виході з кристалізатора та максимальної швидкості розливки;

- визначено, що запропоновані заходи дозволяють підвищити серійність розливки та за рахунок усунення втрат металу при аваріях збільшити вихід придатної сталі, що в свою чергу збільшить продуктивність МБЛЗ;
- запропоновані заходи ніяк не вплинуть на безпечність умов праці в конвертерному та інших цехах підприємства.

## ВИСНОВКИ

1. У першому розділі дипломної роботи за вітчизняними і закордонними літературними джерелами було розглянуто механізм утворення проривів металу під кристалізатором МБЛЗ та сучасні методи їх завчасного виявлення і попередження. Зокрема велику увагу приділено використанню з цією метою нейромереж, здатних до самонавчання, які швидко і точно визначають ризики утворення проривів.
2. В основній частині проведено аналіз проривів металу під кристалізатором семиструмкової сортової МБЛЗ ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Виходячи з загальноприйнятої класифікації проривів металу під кристалізатором за причиною їх утворення, встановлені найбільш розповсюджені причини проривів на підприємстві – шлакові прориви та прориви охолодження. Ґрунтуючись на цьому визначено технологічні параметри, які априорі мають значний вплив на утворення проривів: рівень металу в кристалізаторі, частота і амплітуда хитання кристалізатора, різниця температури води на вході та виході з кристалізатора, витрата води в кристалізаторі та швидкість витягування заготовки.
3. Для аналізу цих показників було відібрано паспорта розливання сталі, які розливались на семиструмковій сортовій МБЛЗ у сортову заготовку квадратного перерізу.
4. Згідно з результатами проведеного дисперсійного аналізу було визначено, що значимий вплив на утворення проривів мають такі параметри та показники процесу як мінімальний рівень металу в кристалізаторі, мінімальна різниця температури води на вході та виході з кристалізатора та максимальна швидкість розливки. Вплив решти розглянутих параметрів є незначущим.
5. В розділі «Охорона праці та захист навколишнього середовища» було розглянуто основні шкідливі і небезпечні фактори у відділенні МБЛЗ ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», питання пожежної безпеки, запропоновано заходи з поліпшення умов праці, охарактеризовано питання впливу на довкілля.

6. В економічному розділі випускної кваліфікаційної роботи було проведено аналіз впливу зміни у технологію розливання сталі марки ЗСП, яку розливають на семиструмковій сортовій МБЛЗ.
7. Проведений аналіз показав, що зміни у технології розливання сталі марки ЗСП дозволяють підвищити серійність розливки у два рази та за рахунок усунення втрат металу при аваріях збільшити вихід придатної сталі. Завдяки цьому збільшується продуктивність МБЛЗ та досягається економічний ефект.

#### ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Дослідження причин виникнення проривів металу під кристалізатором при безперервному розливанні сталі / В.В. Саницький, Х.В. Малій, Є.В. Синегін // International scientific conference “MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 29-30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2023. Vol. 1. P. 114-116.

#### АНОТАЦІЯ

Саницький Віктор Володимирович. Дослідження причин виникнення проривів корки металу під кристалізатором при безперервному розливанні сталі і розробка рекомендацій щодо зниження аварійних ситуацій.

У першому розділі за вітчизняними і закордонними літературними джерелами було розглянуто механізм утворення проривів металу під кристалізатором МБЛЗ та сучасні методи їх завчасного виявлення і попередження. Зокрема велику увагу приділено використанню нейромереж, здатних до самонавчання, які швидко і точно визначають ризики утворення проривів.

В другому розділі проведено аналіз причин проривів металу під кристалізатором семиструмкової сортової МБЛЗ ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Визначено технологічні параметри, які апіорі мають значний вплив на утворення проривів і за результатами дисперсійного аналізу встановлені фактори, що мають статистично значущий вплив на їх утворення.

У третьому розділі розглянуто основні шкідливі і небезпечні фактори у відділенні МБЛЗ ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», питання пожежної безпеки, запропоновано заходи з поліпшення умов праці, охарактеризовано питання впливу на довкілля.

У четвертому розділі проведено аналіз впливу рекомендацій до технології розливання сталі марки ЗСП на семиструнковій сортовій МБЛЗ. Проведений аналіз показав, що зміни у технології розливання сталі марки ЗСП дозволяють підвищити серійність розливки та за рахунок усунення втрат металу при аваріях збільшити вихід придатної сталі. Завдяки цьому збільшується продуктивність МБЛЗ та досягається економічний ефект.

Ключові слова: безперервне розливання сталі, прориви металу під кристалізатором, дисперсійний аналіз.

## ABSTRACT

Sanytskyi Viktor. Investigation of the causes of metal break-outs under the mold during continuous casting of steel and development of recommendations to reduce emergency situations.

In the first chapter, based on domestic and foreign literary sources, the mechanism of formation of metal break-outs under the CCM mold and modern methods of their early detection and prevention were considered. In particular, much attention was paid to the use of neural networks capable of self-learning, which quickly and accurately determine the risks of the formation of break-outs.

In the second chapter, an analysis of the causes of metal break-outs under the crystallizer of the seven-strand CCM of PJSC "KAMET-STEEL" was carried out. The technological parameters, which a priori have a significant influence on the formation of breakouts, have been determined, and the factors that have a statistically significant influence on their formation have been established based on the results of dispersion analysis.

In the third chapter, the main harmful and dangerous factors in the CCM department of PJSC "KAMET-STEEL", the issue of fire safety, measures to improve working conditions were proposed, and the issue of the impact on the environment was characterized.

In the fourth chapter, an analysis of the impact of the recommendations on the technology of casting 3SP steel at a seven-strand CCM was carried out. The conducted analysis showed that changes in the casting technology of 3SP steel make it possible to increase the serial number of casting and, due to the elimination of metal losses during accidents, to increase the yield of steel. Thanks to this, the productivity of the CCM increases and an economic effect can be achieved.

Key words: continuous casting of steel, metal breakouts under the mold, dispersion analysis.