

Д.М. Рябий¹, кандидат технічних наук, молодший науковий співробітник відділу магнітної гідродинаміки,
e-mail: Ryaboii@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-8728-3175>

О.М. Смірнов¹, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу магнітної гідродинаміки,
e-mail: stalevoz@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5247-3908>

К.М. Шарандін², кандидат технічних наук, генеральний директор, e-mail: sharandin@gir.ua

В.Є. Ухін³, кандидат технічних наук, інженер з патентно-винахідницької роботи,
e-mail: ukhinvladimir@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3560-4130>

¹Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

²ТОВ «ГІР-ІНЖІНІРІНГ» (Дніпро, Україна)

³ТОВ «ШЕФФІЛД РЕФРАКТОРІС Україна» (Дніпро, Україна)

Дослідження характеру зносу гільз кристалізатора при високошвидкісній розливці сталі відкритим струменем

Гільзові кристалізатори зазвичай застосовуються для розливання квадратної заготовки перетином до 220—250 мм, а також для розливання круглої заготовки. Гільзові кристалізатори виготовляються з цільнотягнутих мідних труб із товщиною стінки від 5 до 20 мм. З трубної заготовки різними методами обробки металу тиском отримують деталь із заданим профілем поперечного перерізу, звану гільзою, яка є внутрішньою робочою стінкою кристалізатора. Гільза вставляється у сталевий корпус і кріпиться у верхній частині за допомогою фланця. Нижня частина гільзи фіксується в корпусі за допомогою ущільнення, що допускає вільне термічне розширення без деформації стін.

Підвищення швидкості розливання інтенсифікує тепловий потік та збільшує деформацію профілю гільзи. У цих умовах не тільки прискорюються процеси зносу, але й можуть виявлятися дефекти виготовлення гільзи, нанесення покриття, які не виявляються за низьких швидкостей розливання.

Нині на металургійних підприємствах України накопичено великий обсяг експериментального матеріалу з експлуатації кристалізаторів сортових машин безперервного розливання сталі. Але в більшості випадків ці дані, необхідні для збільшення стійкості кристалізаторів і підвищення якості одержуваної на підприємстві продукції, не аналізуються і не узагальнюються.

Розглянуто причини передчасного зняття з експлуатації та руйнування гільз кристалізаторів високошвидкісних сортових машин безперервного розливання сталі. В реальних промислових умовах було досліджено розливання «довгої» серії металу з використанням параболічних кристалізаторів на підвищених швидкостях витягування заготовки. В ході промислових досліджень були отримані дані, в ході аналізу яких було визначено тип конструкції гільзи кристалізатора, який має найвищий експлуатаційний ресурс.

Ключові слова: гільзи кристалізатора; деформація; кристалізатор; машина безперервного лиття заготовок; МБЛЗ; покриття; розливання сталі; сортова заготовка; стійкість.

Вступ. Кількість сталі, що розливається через гільзу кристалізатора в ході кампанії, надає на неї інтенсивний тепловий і механічний вплив. Поступово геометрія її внутрішньої робочої поверхні змінюється, погіршується якість безперервнолитої заготовки і після певної кількості плавов виводять гільзу з експлуатації. Причини виходу гільзи з ладу можуть бути різними і залежати від ряду факторів: стирання міді, тріщини на робочій

поверхні мідних облицювань, викривлення кристалізаторів і випадкові причини, пов'язані з недбалістю в роботі персоналу машин безперервного розливання сталі (далі — МБЛЗ). Так, для кристалізаторів сортових МБЛЗ при розливанні квадратної заготовки зазначено, що насамперед зношувалося зносостійке покриття в кутових областях гільз.

Постановка проблеми у загальному вигляді

Характер зносу та деформації поверхні в сортових

Задачі задування доменної печі, сформульовані на різних етапах розвитку доменної технології

Тип гільзи	Технічні характеристики мідних гільз				
	Матеріал	Конусність	Тип та товщина покриття, мкм	Конусність, (%/м)	
				Рад. гр.	Пар. гр.
гільзи з багатоступінчастою параболічною конусністю	Cu - Ag	параболічна	Cr (120)	0,87	0,88
	Cu - Ag	4-х конусна	Cr (120)	0,99	1,0
гільзи з удосконаленою параболічною конусністю	Cu - Ag	параболічна (e-mould)	Cr (70)	0,89	0,88
гільзи з удосконаленою параболічною конусністю	Cu - Ag	параболічна (e-mould)	Ni+P – Co – Cr (70)	0,89	0,88

Джерело: промислові дослідження авторів.

кристалізаторах залежить від конструкції гільзи та умов її охолодження. Промислові випробування гільз («квадрат 120 мм») з одношаровим хромовим та тришаровим покриттями показали, що вдосконаленням технології нанесення покриття, вибором профілю та конусності гільзи можна знизити термічні деформації гільзи в зоні меніска та зменшити стирання покриття.

Підвищення швидкості розливання інтенсифікує тепловий потік та збільшує деформацію профілю гільзи. У цих умовах не тільки прискорюються процеси зносу, але й можуть виявлятися дефекти виготовлення гільзи, нанесення покриття, які не виявляються за низьких швидкостей розливання. Дослідження та узагальнення даних щодо руйнування кристалізаторів в умовах інтенсивної експлуатації дозволить вибрати оптимальні технології їх виготовлення, а також виявити фактори, що впливають на руйнування, що дозволить підвищити продуктивність машин безперервного лиття.

Нині на металургійних підприємствах України накопичено великий обсяг експериментального матеріалу з експлуатації кристалізаторів машин безперервного розливання сталі. Але в більшості випадків ці дані, необхідні для збільшення стійкості кристалізаторів і підвищення якості одержуваної на підприємстві продукції, не аналізуються і не узагальнюються [1].

Експериментальні дослідження

В даній роботі досліджували пошкоджувальність гільз кристалізаторів сортової МБЛЗ при розливанні в промислових умовах заготовок «квадрат 120 мм». Більшість параметрів безперервного лиття (температура розливу, витрата води, що охолоджує, тощо) змінювалися у всіх досліджених плавках незначно, бо дослідження проводилися на одному марочному сортаменті. Швидкість розливу для гільз перетином кв. 120 мм становила в середньому близько 3,7 м/хв, на окремих плавках сягала 4,5 і більше м/хв.

Було випробувано кілька типів гільз кристалізаторів із різною геометрією робочої порожнини. За формою профілю гільзи розділили на три групи:

- 1) гільзи з багатоступінчастою параболічною конусністю;
- 2) конусні гільзи, в яких використовується принцип компенсації усадки опуклої скоринки, що твердне, шляхом її поступового випрямлення;
- 3) гільзи з удосконаленою параболічною конусністю (тип профілю — «e-mould»), що дозволяє мінімі-

зувати величину газового зазору між безперервно-ливою заготовкою і стінкою мідної гільзи, і шорсткою зовнішньою водоохолоджувальною поверхнею.

Деякі технологічні характеристики досліджуваних гільз наведено у таблиці 1. Усі гільзи, вказані в таблиці, мали довжину 1000 мм, при цьому їх ефективна довжина становила 876 мм, базовий радіус МБЛЗ — 9 м. Стійкість досліджених гільз змінювалася у межах, наведених в таблиці 2 [1; 2].

Таблиця 2

Задачі задування доменної печі, сформульовані на різних етапах розвитку доменної технології

Тип гільзи гільз (кількість, шт.)	Стійкість гільз, плавок, середня (мінімум – максимум)
«параболічна» (12)	215 (16 – 351)
«4-х конусна» (23)	220 (97 – 460)
«параболічна (e-mould)», одношарове покриття (22)	270 (48 – 540)
«параболічна (e-mould)», багатшарове покриття (6)	670 (519 – 909)

Джерело: промислові дослідження авторів.

Зміну геометричних розмірів та короблення стінок гільз кристалізаторів вивчали за допомогою виміральної системи MCS-3000, представленої на рисунку 1. Всі гільзи були зняті через появу дефектів, які унеможливають їх подальшу нормальну експлуатацію. Відмінності в конструкції, геометрії гільз, значні відмінності в стійкості дозволили простежити динаміку їх ушкодження та отримати дані про різні види ушкоджень робочої поверхні.

Геометричні розміри гільзи кристалізатора визначаються за допомогою датчиків, що самопозиціонуються, закріплених у вимірвальній головці, сигнали від яких надходять в ноутбук, потім трансформуються в читаний для комп'ютера вигляд, і виводяться на монітор у вигляді графіка або таблиці, що відображають стан профілю мідної гільзи. Розміри заміряються поблизу кутів і, одночасно, на центральних лініях гільзи по радіальним і паралельним граням.

Найменшу стійкість показали гільзи, ушкодження яких пов'язані з помилками у роботі персоналу, який обслуговує МБЛЗ. Очевидно, що такі дефекти можуть виникати будь-якому місці гільзи і не залежати від конструкції і фірми-виробника.



Рис. 1. Вимірювальна система MCS – 3000 виробництва фірми CONCAST: Система складається з ноутбука 1, вимірювальної головки 2, колони 3, рукоятки 4, контрольного калібру 5, кабелю 6.

Джерело: власна розробка авторів.

Наприклад, заведення затравки без захисного ковпака оператором МБЛЗ призвело до значної (понад 0,5 мм) деформації профілю гільзи по радіальних гранях на рівні 850 мм від верхнього торця гільзи, та гільза була виведена з експлуатації після 16 плавов. Зменшення геометричних розмірів гільзи понад 0,1 мм з рівня від 850 до 1000 мм від верхнього торця гільзи — дефект «утяжка», який виходить через підтискання гільзи нижньою кришкою кристалізатора з ущільненням при великій конусності гільзи на цій ділянці або при жорсткій її фіксації в обичайці гвинтами, що центрують (рис. 2).

Ці дефекти фіксуються лише при контролі профілю вимірювальною системою та їх практично не видно при візуальному огляді. Гільза одного з виробників була виведена з експлуатації з таким дефектом після 7 плавов як така, що втратила геометричний профіль [1; 2; 3]. У гільзах, які показали більш високу стійкість, починають виявлятися дефекти покриття. У цьому випадку пошкодження розвивається в зоні дещо нижче від меніска, температура нагрівання якої і, відповідно, температурні напружки та деформації максимальні.



Рис. 2. Гільза в обичайці (1 — мідна гільза; 2 — обичайка з нержавіючої сталі; 3 — гвинти, що центрують, для фіксації гільзи)

Джерело: промислові дослідження авторів.

На рисунку 3 показано внутрішню робочу поверхню гільзи після 123 плавов. Видно, що хромове покриття світле, без видимих слідів окислення, але у районі максимального термічного навантаження виявляється ряд дефектів.

Зношування в кутах ще практично відсутнє, але в покритті з'являються відносно короткі ділянки зношування нерівномірної ширини, що виникають в кутах гільзи приблизно на 5—7 см нижче лінії меніска (поз. 1). Можна відзначити несиметричність появи цих ділянок щодо граней гільзи, що вірогідно відбувається внаслідок коливання металу на поверхні кристалізатора, яке має свій розвиток під час «віяла» струменя металу.

Приблизно на рівні меніска і трохи нижче за нього сформувався ряд коротких тріщин у покритті. Видно дві системи таких тріщин: у першій (поз. 2) тріщини йдуть по утворюючій стінці гільзи, у другій (поз. 3) — по довжині гільзи. Ці тріщини відрізняються характером розвитку, але ймовірною причиною їхньої появи можна вважати термічні деформації стінки, величина яких різна в поздовжньому та поперечному напрямках [1; 2; 3].



Рис. 3. Руйнування хромового покриття гільзи

Джерело: промислові дослідження авторів.

На поверхні покриття виникають досить протяжні (діаметром близько 50—60 мм) ділянки руйнування покриття (поз. 4) та смуги краплеподібних раковин (довжиною від 5 до 10 мм, глибиною від 1 до 2 мм), витягнуті по ходу руху МБЛЗ. У цих зонах покриття поступово стоншується ділянками. Межі ділянок, згладжені і на далеких стадіях руйнування, більшість покриття оголюється до мідної основи, але в окремих місцях ще зберігаються фрагменти хромового покриття. З урахуванням поступового характеру розвитку ці ділянки можна трактувати як зони ерозійної руйнації (рис. 4).

Металографічні дослідження показали, що однією з причин виникнення руйнування покриття, є недостатня міцність зчеплення хромового покриття з мідною основою. Велика та нерівномірна товщина покриття провокує утворення значних напруг, і порушення контакту на межі розділу мідь-хром, що у свою чергу, викликає нерівномірність тепловідведення та перегрів із розчиненням та випаром покриття. Напри-

клад, у гільзах, де виникали ділянки ерозійного руйнування, товщина покриття змінювалася від 150 до 200 мкм (1,8—2,5 % від товщини мідної стінки гільзи) [2]. Ці дефекти не виявлялися в гільзах з параболічною конусністю (e-mould) з товщиною покриття менше 100 мкм.



Рис. 4. Руйнування покриття на ділянках ерозії

Джерело: промислові дослідження авторів.

З ділянками ерозійної руйнації пов'язані глибокі ризики, які, як видно з рисунка 4, проходять глибоко через покриття та основний матеріал гільзи. Вони виникали в районі підведення струменя та поширювалися вниз по ходу руху заготовки. Можлива причина їх появи — краплі сталі, що застигли, на поверхні заготовки, які надають абразивну дію на поверхню кристалізатора. Інтенсивне утворення застиглих крапель також відбувається внаслідок коливань на поверхні металу в кристалізаторі за рахунок віяла металу при витіканні із стакана-дозатора. При низькій міцності зчеплення покриття та міді абразивні частинки прорізають покриття, викликаючи в ньому відколки, а при виході на міцне покриття частка відвалюється або стирається, і ризика швидко зникає. Якщо така частка відразу потрапляє на якісне покриття, при її русі створюються послідовні зони розтягування-стиснення, але крихкого руйнування покриття не відбувається.

Ці ризики помітно відрізняються від відносно неглибоких (від 1 до 2 мм глибиною) і довших раковин і задир, що виникають на робочій поверхні гільзи внаслідок абразивної або ріжучої дії клиноподібними язиками «поясів» безперервнолитої заготовки, а також збоями в роботі механізму гойдання кристалізатора. У цьому випадку ризики виникають на більшій відстані від меніска і являють собою систему великої кількості паралельних ліній.

Також з порушеннями технології можна пов'язати появу глибоких раковин з рваними краями (рис. 5), які близькі за формою до кола (від 5 до 8 мм глибиною, діаметром від 10 до 15 мм). І в цьому випадку пошкодження гільзи меншою мірою пов'язане з якістю покриття і виготовлення гільзи і вимагає суворішого дотримання технології безперервного лиття.

Оскільки збільшення швидкості витягування заготовки передбачає зменшення часу перебування заготовки в кристалізаторі, дуже важливим елементом є забезпечення формування твердої оболонки заготовки і необхідної для стабільного процесу лиття. Одним з таких рішень може бути використання для розли-



Рис. 5. Раковини з рваними краями

Джерело: промислові дослідження авторів.

вання сталі з високими швидкостями гільзи кристалізаторів, які мають високу експлуатаційну стійкість (500—600 плавів і більше) за рахунок параболічного профілю і нанесення на внутрішню поверхню гільзи багат шарового захисного покриття [4; 5]. Характерний профіль внутрішньої порожнини гільзи наведено на рисунку 6.

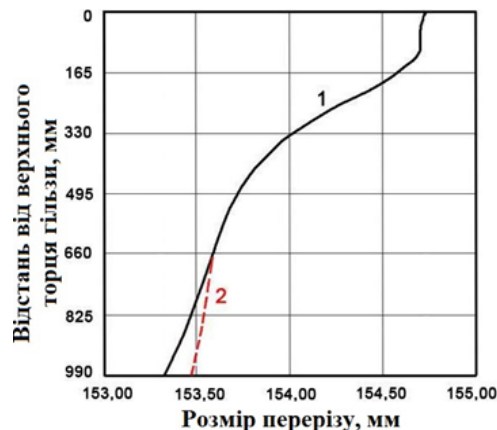


Рис. 6. Характерний профіль гільзи кристалізатора фірми Shinko Metal Products Co., Ltd.: 1 — до експлуатації; 2 — зона зношування в нижній частині гільзи

Джерело: промислові дослідження авторів.

У міру збільшення швидкості розливання було відзначено зниження стійкості гільз на 30—50 %. Особливо це виявилось зі збільшенням швидкості витягування заготовки до 3,5—3,6 м/хв і більше (квадрат 150x150 мм).

Результати

Виконаний аналіз зміни геометричних розмірів твердого каркасу заготовки внаслідок усадки показав, що в конструкційному плані робоча поверхня гільзи кристалізатора фірми Shinko Metal Products Co., Ltd. має більшу (ніж усадка) конусність у верхній її частині. Це дозволяє забезпечити щільне притискання твердої оболонки до внутрішньої поверхні заготовки та відповідно підтримувати інтенсивне відведення тепла. Для цієї ділянки збільшення швидкості витягування заготовки не перешкоджає відводу тепла, а щільне прилягання поверхні оболонки до поверхні кристалізатора здійснюється на більш довгій ділянці. Нижче цієї ділянки закон зміни конусності на поверхні гільзи кристалізатора приблизно близький до закону



Рис. 7. Хвилястість на внутрішній поверхні твердої оболонки заготовки (а) та деформація заготовки у поперечному перерізі (б) при швидкості розливання 3,7 м/хв

Джерело: промислові дослідження авторів.

зміни геометричних розмірів заготовки, викликаних усадкою металу.

При цьому збільшення швидкості витягування заготовки забезпечує щільне притискання твердої скоринки до внутрішньої поверхні гільзи на довшій ділянці, що забезпечує більш інтенсивне відведення тепла безпосередньо в нижній частині гільзи. Тим часом слід мати на увазі, що при збільшенні швидкості витяжки заготовки може відбуватися більш нерівномірне затвердіння твердої скоринки. Так, на рисунку 7А наведено приклад стану внутрішньої поверхні твердої оболонки, яка вийшла внаслідок обриву заготовки. У ході дослідження таких оболонок відзначено хвилеподібність, що становить приблизно 1,2—1,8 мм.

Така нерівномірність нарощування твердої скоринки може впливати на деформацію геометричної форми та конфігурацію поперечного перерізу твердої оболонки (рис. 7Б). При цьому можливе підвищення інтенсивності тертя між твердою оболонкою та поверхнею гільзи, що слід розглядати як причину підвищеного зношування робочої поверхні гільзи в нижній її частині.

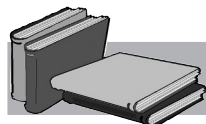
Висновки

В реальних промислових умовах було досліджено розливання довгої серії металу з використанням параболічних кристалізаторів на підвищених швидкостях витягування. Досліджувана серія складалася з 41 плавки з перетином заготовки — 150x150 мм, марка сталі — Ст4сп. Швидкість витягування заготовки по всій серії становила 3,44 м/хв, а маса металу в проміжному ковші підтримувалася досить стабільно.

При цьому кількість рівчаків, розлитих зі швидкістю витяжки понад 3,6 м/хв, склала 57, з яких 8 рівчаків (за плавками) працювали зі швидкістю витяжки понад 3,7 м/хв. Рекордна швидкість витяжки заготовки по рівчаку становила 3,77 м/хв.

При дослідженні гільз, що мають параболічну форму з багат шаровою поверхнею виробництва, було виявлено їх рівномірне зношення кутових областей в гільзі. Зношення на гранях гільзи не спостерігалось. У районі меніска за великої кількості плавок розвивалася сітка розпалу, спричинена процесами термічної втоми. На момент дослідження цих гільз їхня стійкість склала 780 пл. Ці гільзи експлуатувалися без види-

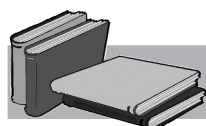
мих порушень технологічного процесу безперервного лиття та показали очікувано високу стійкість. Для забезпечення безперервного розливання наддовгими серіями на підвищених швидкостях доцільно застосування гільз кристалізатора, що мають параболічну форму внутрішньої порожнини. Така форма враховує динаміку твердіння та ступінь усадки і є найбільш раціональним рішенням як з точки зору досягнення стійких характеристик самої гільзи, так і з точки зору забезпечення високої якості заготовки, що розливається.



ЛІТЕРАТУРА

1. Смирнов А. Н., Ухин В. Е., Подкорытов А. Л. Исследование особенностей износа гильз кристаллизаторов высокоскоростных сортовых МНЛЗ. *Наукові праці ДонНТУ. Серія: металургія*. 2010. Вип. 12 (177). С. 157—164. URL: <https://ea.donntu.edu.ua/jspui/handle/123456789/10822> (дата звернення 10.09.2024).
2. Лейрих И. В., Смирнов А. Н., Жибоедов Е. Ю., Любименко Е. Н. Особенности разрушения покрытий гильз кристаллизаторов высокоскоростных сортовых МНЛЗ. *Наукові праці ДонНТУ. Серія: металургія*. 2005. Вип. 102. С. 155—161. URL: <https://ea.donntu.edu.ua/jspui/handle/123456789/2607> (дата звернення 10.09.2024).
3. Непрерывная разливка сортовой заготовки / А. Н. Смирнов, С. В. Куберский, А. Л. Подкорытов и др. Донецк: Цифровая типография, 2012. 417 с.
4. Numerical modeling of thermal stresses in mould zone during continuous casting of steel / M. Jonic et al. *Сучасні проблеми металургії*. 2000. Т. 5. С. 245—250.
5. The Use of Artificial Intelligence Technique for the Optimization of Process Parameters Used in the Continuous Casting of Steel / Santos C. A., Spim J.-A.-Jr., Ierardi M.-C.-F., Garcia A. *Applied Mathematical Modeling*. 2002. Vol. 26. Iss. 11. P. 1077—1092. [https://doi.org/10.1016/S0307-904X\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0307-904X(02)00062-8)
6. Thomas B. G. Continuous Casting: Complex Models. *The Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. Vol. 2. Oxford: Elsevier Science Ltd. 2001. P. 1599—1609.

Надійшла 16.09.2024



REFERENCES

1. Smirnov, A. N., Uhin, V. E., Podkorytov, A. L. (2010). Issledovanie osobennostej iznosa gilz kristallizatorov vysokoskorostnykh sortovykh MNLZ [Investigation of High Speed Billet Caster Mould Tube Wear Features]. *Naukovi pratsi DonNTU. Seriya: Metalurgiya* [Scientific works of DonNTU. Series: Metallurgy], 12(177), 157-164. <https://ea.donntu.edu.ua/jspui/handle/123456789/10822> [in Russian].
2. Lejrih, I. V., Smirnov, A. N., Zhiboedov, E. Yu., Lyubimenko, E. N. (2005). Osobennosti razrusheniya pokrytij gilz kristallizatorov vysokoskorostnykh sortovykh MNLZ [Peculiarities of destruction of coatings of crystallizer liners of high-speed longitudinal CCMs.]. *Naukovi pratsi DonNTU. Seriya: Metalurgiya* [Scientific works of DonNTU. Series: Metallurgy], (102), 155-161, <https://ea.donntu.edu.ua/jspui/handle/123456789/2607> [in Russian].
3. Smirnov, A. N., Kuberskij, S. V., Podkorytov, A.L. et al. (2012). *Nepreryvnaya razlivka sortovoj zagotovki* [Continuous casting of long billets]. Tsifrovaya tipografiya [in Russian].
4. Jonic, M. et al. (2000). Numerical modeling of thermal stresses in mould zone during continuous casting of steel. *Modern Problems of Metallurgy*, 5, 245-250.
5. Santos, C. A., Spim, J.-A.-Jr., Ierardi, M.-C.-F., Garcia, A. (2002). The Use of Artificial Intelligence Technique for the Optimization of Process Parameters Used in the Continuous Casting of Steel. *Applied Mathematical Modeling*, 26(11), 1077-1092. [https://doi.org/10.1016/S0307-904X\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0307-904X(02)00062-8)
6. Thomas, B.G. (2001). Continuous casting: Complex Models. In *The Encyclopedia of Materials: Science and Technology* (Vol. 2, pp. 1599-1609). Oxford: Elsevier Science Ltd.

Received 16.09.2024

Summary

D.V. Riabyi¹, PhD (Engin.), Junior Researcher of the Department of Magnetohydrodynamics, e-mail: Ryaboiy@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-8728-3175>

O.M. Smirnov¹, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department of Magnetohydrodynamics, e-mail: stalevoz@i.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5247-3908>

K.M. Sharandin², PhD (Engin.), General Director, e-mail: sharandin@gir.ua, **V.Ye. Ukhin**³, PhD (Engin.), Patent and Invention Work Engineer, e-mail: ukhinvladimir@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3560-4130>

¹*Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)*

²*"GIR-ENGINEERING", LLC (Dnipro, Ukraine)*

³*SHEFFIELD REFRACTORIES UKRAINE, LLC (Dnipro, Ukraine)*

Study of the Wear Nature of the Mold Tubes During High-Speed Open Stream Casting of Steel

Mold tubes are typically used for casting square billets with a cross section of up to 220-250 mm, as well as for casting round billets. Mold tubes are made of solid copper pipes with a wall thickness of 5 to 20 mm. A part with a given cross-sectional profile, called a mold tube, which is the inner working wall of the mold, is obtained from the pipe blank by various methods of metal pressure treatment. The mold tube is inserted into a steel body and fastened at the top with a flange. The lower part of the tube is fixed in the mold with a seal that allows free thermal expansion without deformation of the walls.

Increasing the casting speed intensifies the heat flow and increases the deformation of the mold profile. These conditions not only accelerate wear processes, but also reveal defects in tube manufacturing and coating that are not detectable at low casting speeds.

At present, Ukrainian metallurgical enterprises have accumulated a large amount of experimental material about the operation of continuous casting machines molds. However, in most cases, these data, which is necessary for increase the durability of molds and improve the quality of products, are not analyzed and generalized.

The paper considers the causes of premature decommissioning and destruction of the mold tubes of high-speed continuous casting machines. In real industrial conditions, the casting of "large" sequences of metal using parabolic molds at increased billet casting speeds was investigated. During the industrial research, data was obtained and analyzed to determine the type of mold tube design that has the highest operational life.

Keywords

Mold tube; wearcoating; steel casting; deformation; mold; continuous casting machine; long products; stability.