

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ СУМІЩЕННЯ ЛИТТЯ-ПРОКАТУВАННЯ ЗА РАХУНОК ЗБІЛЬШЕННЯ ШВИДКОСТІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ МЕТАЛУ В МАШИНІ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ЗАГОТОВОК**

**Мета.** Метою даної роботи є розробка шляхів підвищення ефективності процесів суміщення лиття-прокатування за рахунок утворення суспензійної розливки сталі в машині безперервного лиття заготовок для збільшення виходу металу.

**Методи дослідження.** Виконуються теоретичні та емпіричні дослідження, що ґрунтуються на основних фундаментальних положеннях теорії металознавства, термодинаміки, обробки металів тиском, математичної статистики при обробці результатів емпіричних досліджень. Виконано аналіз існуючого стану суміщення процесів лиття-прокатування, де визначено його переваги та недоліки. Для підвищення ефективності виробництва за рахунок збільшення швидкості руху смуги за клітями прийнято рішення використовувати суспензійну розливку сталі у машині безперервного лиття заготовок. Для реалізації процесу суміщення лиття прокатування пропонується використовувати, в якості інокулятора, здрібнену стружку з такого ж матеріалу, що і виготовляється виріб. Інокулятор додається з бункерів у проміжний ківш разом з рідкою сталлю.

**Наукова новизна.** Визначено перспективи і сформульовані принципи суміщення процесів лиття-прокатування із застосуванням суспензійної розливки сталі, що дозволяє збільшити швидкість кристалізації металічного сплаву.

**Практична значимість.** Запропоновано спосіб виготовлення круглої сталі діаметром 30 мм з заготовок, що отримані на машині безперервного лиття з використанням суспензії, що забезпечує збільшення продуктивності виробництва.

**Результати.** Визначено швидкість виходу металічного сплаву з машині безперервного лиття заготовок та руху смуги за клітями в умовах суспензійної розливки сталі і порівняно з такими ж умовами без суспензії. Виявлено збільшення швидкості руху металу при використанні суспензійної розливки сталі на 12-17% в порівнянні з розливкою сталі без використання суспензії. Таке зростання швидкості руху металу відбувається через зменшення часу охолодження рідкої сталі в кристалізаторі машині безперервного лиття. Визначено, що якість металу при суспензійній розливці сталі не погіршується. Пропонуєма технологія дозволяє збільшити продуктивність процесу.

**Ключові слова:** суспензійна розливка сталі, машина безперервного лиття заготовок, кристалізація металічного сплаву, швидкість руху смуги, суміщення процесів лиття прокатування, продуктивність.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-22-27

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Розвиток сучасної техніки, впровадження нових та удосконалення існуючих машин та механізмів, безперервне підвищення технологічних та експлуатаційних параметрів пред'являє все збільшуючі вимоги до якості металовиробів та їх властивостей. Рішення таких завдань викликає необхідність розробки ефективних технологій, які забезпечують покращення якості та стабільності властивостей виробів, що виготовляються на металургійних підприємствах при мінімальних витратах на їх виробництво.

Це стало можливим завдяки освоєнню ливарно-прокатних модулів, де відбувається суміщення процесів лиття та прокатування, основаними перевагами, яких є, як правило, низька капіталоемність, порівняно невеликі витрати виробничих ресурсів, низький рівень екологічних забруднень та ін. В порівнянні з виробами, які отримані на прокатних станах з виливка, що отриманий у виливниці, використання ливарно-прокатних агрегатів забезпечує: економію металу, збільшення продуктивності роботи машин, зменшення виробничих площин, скорочення чисельності працюючих, покращення якості виробів за рахунок отримання більш однорідної структури сталі, можливість автоматизації та механізації, зменшення терміну окупності при впровадженні нових підприємств та зменшення витрат енергії на виготовлення виробів.

Така технологія на теперішній час досягла суттєвих позитивних результатів, що дозволяє зменшити енерговитрати на виробництво, зменшити кількість машин та агрегатів, які задіяні при виготовленні продукції, знизити собівартість виробництва та збільшити продуктивність праці. Але розвиток такого виробництва стримується через низьку швидкість кристалізації металу, яка призводить до зниження швидкості виходу заготовки з машині безперервного лиття, що суттєво зменшує швидкість прокатування в клітях прокатного стану. В зв'язку з цим, підвищення швидкості кристалізації металу в машині безперервного лиття заготовок – є задача актуальна.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Втрати енергії в чорній металургії пов'язані з

високою температурою процесів, необхідністю багаторазового нагріву і охолодження продуктів переділу, втратами енергії у вигляді випромінювання, конвекції тощо. Тому для зменшення втрат енергії слід знижувати температуру процесів і скорочувати кількість стадій температурних змін [1].

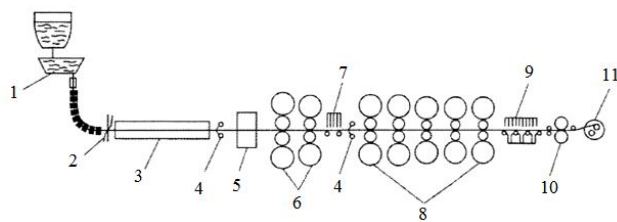
Підвищення вимог до економії енергії, збільшення продуктивності прокатних станів та покращення якості виробів привело до розвитку нових технологічних процесів, які відображують в собі суміщення процесів лиття та прокатування [2, 3, 4, 5].

Безперервна розливка сталі в з'єднанні з прокатуванням сприяє економії капіталовкладень у зв'язку з виключенням витрат на парк виливниць, забезпечує економію енергії, яка витрачається на підігрів зливків у нагрівальному колодязі, дозволяє знизити екологічне навантаження на атмосферу, підвищити якість металопродукції, поліпшити умови роботи обслуговуючого персоналу. Такий процес дозволяє скоротити цикл отримання готової продукції від декількох діб до декількох годин, зменшити масу обладнання приблизно в 1,5 разів, скоротити чисельність працівників на 30 %, збільшити продуктивність процесу на 25 %.

Сутність безперервної розливки в тому, що рідку сталь заливають в форму, що інтенсивно охолоджується – кристалізатор. Частково затверділий зливочок витягують крізь нерухомий кристалізатор. В результаті утворюється безперервний зливочок, який розрізається на заготовки мірної довжини.

Вважається, що першим для виробництва сталевих катанок став ливарно-прокатний модуль (дослідний зразок), який створений у ВНДІМЕТМАШ та введено в дію в 1963 році. Він складався з радіальної машини безперервного лиття заготовок з кристалізатором перерізом 38×45 мм, універсального планетарного стану і чистової групи клітей для прокатування катанки діаметром 6 мм [3].

Схема розміщення основного обладнання ливарно-прокатного модуля показано на рис. 1 [3].



**Рис. 1.** Схема агрегата DSP [3]: 1 – машина для лиття тонких слябів; 2 – маятникові ножиці; 3 – нагрівальна туннельна піч; 4 – устаткування для видалення окислення; 5 – кліть з вертикальними валками; 6 – чорнові кліті; 7 – устаткування для переміжного охолодження; 8 – безперервна чистова група клітей; 9 – холодильник; 10 – летучі ножиці; 11 – моталка

Ливарно-прокатні агрегати в теперішній час знайшли широке використання і за межами країни [6, 7]. Протягом усього часу свого існування суміщені процеси лиття-прокатування постійно удосконалювалися. Пропонуються нові агрегати для отримання листової продукції холодним прокатуванням з алюмінію та його сплавів [8]. Для збільшення продуктивності таких машин пропонуються збільшити ємність ковша і використовувати багаторівничкову машину безперервного лиття [9]. Розглянуто каталог патентів України з удосконалення ливарно-прокатних модулів, що дозволило визначити актуальність та напрям подальших досліджень розвитку даних технологій [10]. Істотно зменшити витрати енергоресурсів дозволяє суміщення машин безперервного лиття з прокатним станом в єдиний ливарно-прокатний агрегат, що дозволяє вести прокатування без окремого нагрівання заготовок [11].

Існують технології, де рідку сталь пропонується швидко зменшувати перегрів металу перед розливанням використовуючи суспензійне розлиття, науковим фундаментом якої є вивчення закономірностей кристалізації металічних розплавів і на цій підставі розробка та практична реалізація ефективних методів керування кристалічною будовою виробу [12]. Використання суспензійної розливки дозволяє істотно підвищити якість виробів: отримати дисперсну і однорідну структуру. При суспензійній розливці утворюються тверді фази екзо- та ендегенного походження та реалізується внутрішній тепловідвід [12]. Найбільш важлива відмінність суспензійної розливки від інших способів лиття є реалізація внутрішнього теплопереносу за допомогою локальних теплостоків – інокуляторів або інтенсифікація теплопереносу в рідкій фазі накладенням зовнішньої дії. Важлива індивідуальна перевага даної технології – наближення процесів модифікування або легування з процесом кристалізації розплаву [12]. В роботі [6] показано, що найбільш сприятливо діє на процес структуроутворення сумісне введення залізного порошку і модифікаторів. При цьому модифікуючі добавки є активними центрами зародження

кристалів, в результаті чого утворюється дисперсна структуру з розвинутою зоною рівновісних кристалів.

**Постановка завдання.** Для досягнення мети потрібно вирішити наступні завдання: проаналізувати перспективи і сформулювати принципи введення додаткових центрів кристалізації;

визначити швидкість руху металу при використанні додаткових центрів кристалізації в машині безперервного лиття заготовок і встановити ефективність процесів лиття-прокатування в умовах суспензійної розливки сталі.

**Викладення матеріалу та результати.** Виконуються теоретичні та емпіричні дослідження, що ґрунтуються на основних фундаментальних положеннях теорії металознавства, термодинаміки, обробки металів тиском, математичної статистики при обробці результатів емпіричних досліджень. Досліджувалася швидкість руху металічного сплаву при виготовленні круглої сталі діаметром 30 мм з заготовок, що отримані на машині безперервного лиття. Для цього за машиною безперервного лиття заготовок встановлено прокатний стан, який складається з п'яти робочих клітей.

Швидкість прокатування в кожній клітці визначалася з врахуванням умов постійності секундних об'ємів за формулою (1) [4]

$$v_i = v_{i-1} \cdot \mu_i, \quad (1)$$

де  $v_i$  – швидкість прокатування в досліджуємі клітці;  $v_{i-1}$  – швидкість прокатування в попередній клітці;  $\mu_i$  – витяжка в досліджуємі клітці, яка визначалася за формулою (2)

$$\mu_i = \sqrt[n]{\mu_\Sigma}, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість робочих клітей;  $\mu_\Sigma$  – загальний коефіцієнт витяжки, який знаходиться за формулою (3)

$$\mu_\Sigma = F_0 / F_k, \quad (3)$$

де  $F_0$  і  $F_k$  – поперечні перерізи смуги відповідно на виході з машини безперервного лиття заготовок та з останньої клітці прокатного стану.

Зміна швидкості руху смуги  $\Delta$  визначалася за формулою (4)

$$\Delta = (v_{\text{сучн}} - v_{\text{без}}) / 100 v_{\text{сучн}} \%, \quad (4)$$

де  $v_{\text{без}}$ ,  $v_{\text{сучн}}$  – швидкість руху смуги відповідно в звичайних умовах (без використання суспензії) і в умовах суспензійної розливки сталі, м/с.

Для забезпечення суміщення процесів лиття-прокатування необхідно збільшити швидкість виходу металу з машини безперервного лиття заготовок. Для цього потрібно прискорити процес кристалізації рідкої сталі при виготовленні заготовок [13]. Пропонується використовувати інокулятор в процесі виливання рідкого металу в проміжний ківш машини, завдяки чому утворюється суспензія [14]. В якості інокулятора, що утворює додаткові центри кристалізації, прийнято рішення використовувати здрібнену стружку з того ж матеріалу, що і виготовляється виріб [15]. З метою забезпечення порівняльного аналізу швидкості руху металічного сплаву за клітцями прокатного стану, отриманого в умовах суспензійної безперервної розливки співставлялася зі швидкістю металу, що отриманий в звичайних умовах безперервного лиття заготовок.

Виконано дослідження швидкості руху металу при виході з машини безперервного лиття заготовок та за клітцями при суміщенні, що дозволило визначити перспективи і сформулювати принципи суміщення процесів лиття-прокатування із застосуванням суспензійної розливки сталі.

Результати дослідження занесені в табл. 1.

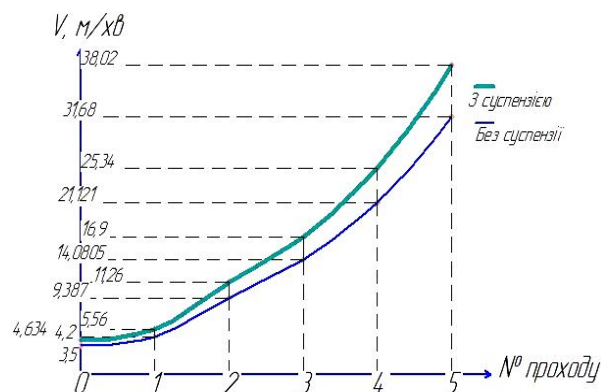
Таблиця 1

Результати дослідження швидкісних умов деформації

Спосіб розливки	$F_0$ , мм	$F_1$ , мм	$\mu_\Sigma$	$v_0$ , м/с	$v_1$ , м/с	$v_2$ , м/с	$v_3$ , м/с	$v_4$ , м/с	$v_5$ , м/с
Без суспензії	6400	707	9,05	3,5	4,63	9,39	14,08	21,12	31,68
З суспенз	6400	707	9,05	4,2	5,56	11,26	16,90	25,34	38,02
$\Delta$	-	-	-	16	17	16,6	12,4	16,7	14

З табл. 1 видно, що забезпечується збільшення швидкості прокатування при суміщенні процесів лиття-прокатування в умовах суспензійної розливки сталі в машині безперервного лиття заготовок.

Для більш наглядного спостереження за змінами швидкісних умов прокатування при виготовленні круглої сталі з заготовки, що отримано у машині безперервного лиття заготовок, побудуємо графік зміни швидкості руху смуги за клітями (рис.2).



**Рис. 2.** Зміна швидкості руху смуги за проходами: 1, 2, 3, 4, 5 – номери клітей за рухом прокатування

З рис. 2, що побудовано за табл. 1 видно, що швидкість проходу збільшується за клітями, що відповідає постійності секундних об'ємів. При утворенні суспензії швидкість прокатування збільшується на 12 - 17 %. Це забезпечує процес прискорення кристалізації металічних сплавів в умовах суспензійної розливки сталі в машину безперервного лиття заготовок, що сприятливо впливає на суміщення процесів лиття і прокатування. Така

технологія виявилася достатньо ефективною для прискорення та оптимізації затвердіння рідкої сталі, диспергування структури, усунення ливарних дефектів та лікваций і підвищення рівня механічних властивостей. Збільшення швидкості прокатування забезпечує зменшення такту випуску виробів, що в свою чергу, збільшує продуктивність виробництва круглої сталі, діаметром 30 мм. Такі процеси забезпечують підвищення ефективності суміщення лиття-прокатування.

**Висновки.** Для забезпечення підвищення ефективності процесів суміщення лиття-прокатування в роботі:

проаналізувано перспективи і сформулювати принципи введення додаткових центрів кристалізації, що дозволяють збільшити швидкість затвердіння рідкої сталі в машині безперервного лиття заготовок;

визначено швидкість руху металу при використанні додаткових центрів кристалізації в машині безперервного лиття заготовок, де видно, що прохід смуги за клітями прискорюється при використанні суспензійної розливки на 12-17 %, що дозволяє зменшити такт випуску і збільшити продуктивність процесу.

#### Список літератури

1. Губін Г.В. Сучасні промислові способи безкоксової металургії заліза/ Г.В.Губін, В.О. Півень. – Кривий Ріг: ПП «Видавничий дім», 2010. – 366 с.
2. Данченко В. Н. Прогрессивные процессы обработки металлов давлением [Текст] / В. Н. Данченко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 7. – С. 1-8.
3. Минаев А. А. Совмещенные металлургические процессы [Текст]: монография / А. А. Минаев. – Донецк: Технопарк Дон ГТУ УНИТЕХ, 2008. – 522 с.
4. Данченко В.М. Теорія процесів обробки металів тиском: Підручник/ Данченко В.М., Гринкевич В.О., Головки О.М. – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.
5. Про переробку відпрацьованих автомобілей / [Г.В. Губін, Ю.П. Калініченко, В.В.Ткач, Г.Г.Губін] //Вісник Криворізького технічного університету. Вип. 31, 2012. – с. 3 – 8.
6. Alzetta F. Luna The Danicli ECR Endless Casting Rolling Plant for Specialty Steels-Technology, Innovation and Benefits/ Alzetta F. //Iron and Steelmaker, 2002. - № 7 – P. 41-49.
7. Minamimura Y. Latest technology for cost and productivity of QSP process/. Minamimura Y., Kanasawa T., Tsujita K // SEASIS Quarterly, 2001. – 30. – №2. – P.10-15.
8. Пат. № 2466808 Российская Федерация, МПК В21В1/46 Литейно-прокатный агрегат для производства листовой холоднокатаной продукции из алюминия и его сплавов [Текст] / Тонконогов В. Я., Чеботарёв В. А., Гесслер Ю. В., Самсонов А. В., Дегтярёв И. Л.; Патентообладатель: Открытое акционерное общество Акционерная холдинговая компания "Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения имени академика Целикова" (ОАО АХК "ВНИИМЕТМАШ")(RU). – заявл. 26.06.2011, опубл. 20.11.2012. – 6 с.
9. Патент України № 58851 МПК В21В1/16 Спосіб прокатки безперервно литої заготовки [Електронний ресурс] / Шум В. Б., Смірнов Є. М., Ємченко А. В.; Алексеев О. В., Асикін А. А, ВАТ "Донецький металургійний завод". – заявл. 21.10.2010, опубл. 26.04. 2011, Бюл. № 8. – Режим доступу: <http://uapatents.com/4-58851-sposib-prokatki-bezperervnolito-zagotovki.html>.
10. Ретроспективный анализ массива опубликованных патентов, характеризующие развитие литейно-прокатных модулей за период 2000-2013 г.г. в Украине и России [Н.Н.Бережной, М.М., Чубенко В.А., А.А.Хиноцька, С.О.Мацшин, А.А.Шепель, В.А.Чубенко ]// Технологический аудит и резервы производства. –

2015, №1/1 (21)/ - С. 4-7.

11. Скляр В.А. **Прогрессивные энерго- и ресурсосберегающие металлургические технологии** / В.А.Скляр// **Учебное пособие для обучающихся по направлению «Металлургия», Донецк, ДонНТУ 2014. – 140 с.**

12. **Затуловский, С. С.** Суспензионная разливка [Текст] / **С. С. Затуловский.** – К: Наукова думка, 1981. – 260 с.

13. Дослідження швидкісних режимів при суміщенні процесів лиття-прокатування/**Чубенко В.А., Хіноцька А.А., Крупа А.**// Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Розвиток промисловості та суспільства”. – С. 234.

14. Дослідження ефективності суспензійної розливки рідкої сталі у ливарно- прокатні кліті для виготовлення тонких смуг/ **В.А.Чубенко, А.А.Хіноцька, В. Чубенко** //Гірничий вісник. – 2016, Випуск 101. – С. 183 – 186.

15. Study of cooling rate, crystallization duration and metal discharge coefficient in case of continuous casting into foundry and rolling mills/ **Viktoriya Chubenko, Alla Khinotskaya, Valeriy Chubenko** //Metallurgical and Mining Industry. – 2016, № 6. – P. 296 – 300

Рукопис подано до редакції 16.04.2018

УДК 658.38:621.1

**В.Г. НАЛИВАЙКО**, канд. тех. наук, доц., **О.Г. МОВЧАН**, канд. хим. наук, доц.,  
**К.В. ЛОСЬЕВ**, ассистент, Криворожский национальный университет

## **ВАЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАВМООПАСНОСТИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ РЕМОНТНЫХ РАБОТ НА ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

**Цель.** Целью данной работы является разработка способов повышения безопасности труда при эксплуатации и ремонтах теплотрасс и теплогенерирующего оборудования. Также необходимо определить наиболее травмоопасные виды работ и специальности работников предприятий теплоснабжения их выполняющие, предложив способы уменьшения аварийной производственной нагрузки на них. Уменьшение аварийных работ может быть достигнуто путем проведения профилактических работ на теплотрассах и теплогенерирующем оборудовании, сокращая при этом образом количество опасных работ, а так же трудовые и материальные затраты связанные с их выполнением.

**Методы исследования.** Исследования проводились с использованием математико-статистического метода экспертных оценок. Данный метод позволяет оперативно выявить наиболее проблемные и затратные работы предприятий теплоснабжения, возникающие как в процессе эксплуатации оборудования и теплотрасс, так и с внезапными аварийными ситуациями. Таким образом, можно определить перечень профилактических работ, которые должны быть выполнены в первую очередь.

**Научная новизна.** Исследования с использованием математико-статистического метода экспертных оценок позволят быстро определить проблемы при организации профилактических ремонтов на предприятиях теплоснабжения.

**Практическая значимость.** Полученные выводы по результатам исследований позволят разработать рекомендации по уменьшению количества аварийных работ на теплотрассах. Определив наиболее травмоопасные виды работ и специальности работников предприятий теплоснабжения, которые их выполняют, необходимо уменьшить производственную загрузку, связанную с аварийными работами через проведение профилактических работ на наиболее потенциально опасных аварийных участках.

Разработанные рекомендации на основе математико-статистического метода экспертных оценок позволят улучшить производство организационных работ по ликвидации аварийных участков теплотрасс и снизить количество аварийных работ, что в свою очередь, уменьшит заболеваемость работников предприятий теплоснабжения и повысит безопасность труда особенно в осенне-зимний период года, а также сократит экономические потери от ликвидации аварийных ситуаций и лечения заболевших работников теплогенерирующих предприятий.

**Результаты.** На основании профилактических графиков ремонтных работ можно составить первоочередность замены труб аварийных участков, что намного облегчит планирование ремонтных работ по замене аварийных участков трубопроводов. Наиболее травмоопасными работами являются газосварочные и электросварочные работы соответственно специальностями, их выполняющими, являются газосварщик и электросварщик. Условия их работы эксперты определяют как опасные и вредные.

**Ключевые слова:** экспертная оценка, математико-статистический метод экспертных оценок, баллы оценки.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-27-32

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Профилактические работы определяют объемы и количество подлежащих замене аварийных трубопроводов. На величину объемов существенно влияет время и условия нахождения трубопроводов под землей, а также их параметры (диаметр, толщина стенок трубопроводов, протяженность аварийных участков).