

В.Я. Перерва, С.М. Форись, С.С. Федоров, А.Ю. Усенко

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ У СОРТОПРОКАТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

*Анотація. Найбільш енергоємною ділянкою прокатки сталі є нагрівальні печі. Отже, розробка ефективних режимів нагріву заготовок у них може суттєво знизити рівень споживання енергії. Одним з можливих способів підвищення показників роботи печей є підтримка температури нагрітої заготовки на роликівих конвеєрах під час прокатки за рахунок спеціальних відбиваючих екранів, що зберігають втрати тепла радіацією у навколишнє середовище. У цій статті досліджено ефективність застосування тепловідбиваючих екранів у прокатному виробництві.*

*Ключові слова: екран, рольганг, піч, стан, тепловий режим, паливо, електроенергія, енергозбереження.*

**Постановка проблеми.** Нагрівання заготовок є найбільш енергоємною ланкою технологічних циклів. У прокатному виробництві велика увага приділяється нагріванню заготівель перед прокаткою. З ускладненням режимів нагріву і підвищенням вимог до його якості, вартість обладнання та експлуатаційні витрати, включаючи паливно-енергетичні витрати, безперервно зростають, що ставить за мету забезпечення економічності нагріву металу на один рівень з виконанням технологічних вимог. Якісним нагріванням злитків вважається такий нагрів, при якому забезпечуються задані кінцеві параметри і відсутній брак.

При підвищенні внутрішньої тепломісткості виробів, які нагріваються перед обробкою тиском температура їх на видачу з печі встановлюється з урахуванням технологічних обмежень. Верхня межа нагрівання повинна бути на 100 – 150 °С нижче лінії солідусу, що пов'язано з небезпекою перегріву і перепалу сталі. Нижню межу температур зазвичай вибирають з умови допустимих температур кінця прокатки з урахуванням всіх можливих втрат теплоти в навколишнє середовище за весь процес

пластичної деформації. У прокатному виробництві при обробці металу тиском в обтискних клітках витрачається електроенергія. При досить високих температурах нагріву металу (1200 – 1250 °С) витрата електроенергії зменшується, але погіршується якість готової продукції. Для того щоб зменшити температуру нагрівання заготівель перед прокаткою і паралельно з цим зменшити втрати теплоти в навколишнє середовище необхідно встановити тепловідбиваючі екрани над розкатним полем.

**Аналіз останніх досягнень.** Один з варіантів збереження теплоти прокату при транспортуванні на рольгангу – установку теплозберігаючих екранів – запропонувала англійська фірма "Encomech Engineering Services". Ці екрани вироблено по ліцензії фірми "Davy Mckee" [1]. Крім збереження енергії, теплозберігаючі екрани сприяють рівномірному розподілу температури по всій довжині заготівки в чистових клітках. Одне з перспективних досягнень в цій області – високотемпературні пристрої, в яких розкат оточений тонким металевим екраном, закритим ізоляційним матеріалом, розташованим у внутрішній частині екрану. Повернення теплоти від екранів на заготівлю за рахунок випромінювання істотно зменшує температурні втрати при прокатці гарячих смуг. Такі установки дозволяють знизити навантаження в першій і наступних клітках, що призводить до зниження електровитрат, а також зменшити кількість вибравок.

Відома окрема розробка теплозберігаючої установки для проміжного рольгангу широкосмугового стану гарячої прокатки [2]. В установці поєднуються переваги теплоакумулюючих і тепловідображаючих екранів. Для всіх видів установки екранів зменшення відстані між поверхнею екрану і металу, що прокочується істотно підвищує ефект екранування, але виникає проблема запобігання поверхні екрану від контакту з металом.

Для зниження втрат теплоти на передавальному рольгангу стану 2800/1700 Череповецького металургійного комбінату використовувалися тепловідбиваючі екрани, схема яких представлена на рисунку 1 [3].

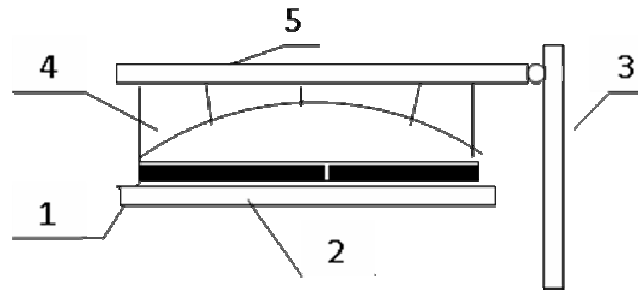


Рисунок 1 – Схема установки секції з екраном на рольгангу стану.

- 1 - підкат; 2 - ролик рольганга; 3 - стійка; 4 - екран;  
5 - секція консольно-закріплена на стійці.

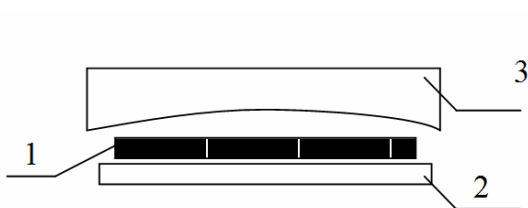
Безперервний стан 1700, який призначено для отримання смуг товщиною 2 – 6 мм і шириною 900 – 1500 мм. Чорнова і чистова групи клітей з'єднані проміжним рольгангом довжиною 142 м, на якому в основному і охолоджується розкат, що надходить в безперервну групу клітей. Різниця температур переднього і заднього кінців розкату на вході в першу кліть стану може перевищувати 70 °С і залежить від довжини і товщини розкату, а також заправної швидкості прокатки. Зменшення "температурного клину" на вході в першу кліть стану 1700 є необхідною умовою підвищення якості продукції [3].

Екранування забезпечило підвищення температури на початку прокатки переднього кінця розкату на 7 – 10 °С і заднього на 10 – 15 °С. В цьому випадку "температурний клин" зменшився на 10 – 12%. Зменшення "температурного клину" сприяло зниженню поздовжньої різнотовщини смуг, що прокатуються. Застосування екранів дозволило збільшити вихід придатного прокату на 6 – 7 %.

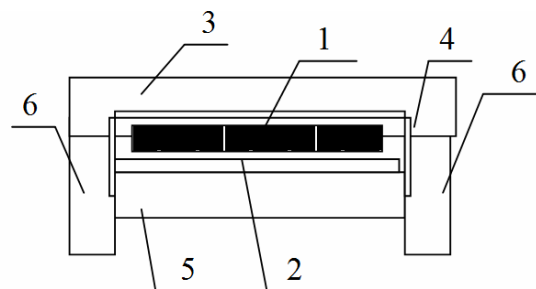
Основними факторами, що визначають технологічну ефективність, а, отже, і техніко-економічні результати експлуатації систем екранування, є: 1. Рівноважна температура мембрани (середня температура мембрани за цикл нагрівання при проходженні розкату і охолодження за паузу між прокаткою); 2. Різниця між температурами розкату і рівноважної температурою екрану; 3. Час нагріву мембрани від температури 30 °С до стану рівноваги при пуску рольгангу після тривалого охолодження; 4. Амплітуда коливань температури мембрани щодо рівноважної за час ци-

клу; 5. Максимальні швидкості нагріву і охолодження мембрани при коливанні температури мембрани біля рівноважної; 6. Стабільність наведених факторів при зміні часу проходження розкату, зміні темпу прокати і температури розкату, що проходить стан.

Сучасні системи екранування, використовують принцип "вторинного випромінювання", забезпечують рівноважну температуру мембрани центрального екрануючого блоку на рівні 750 - 1000 °С. На рисунках 2 і 3 представлені системи екранування які застосовуються на широкосмугових станах.



1 - підкат; 2 - рольганг; 3 - відбивач з полірованого листа  
Рисунок 2 - Тепловідбивний екран з відбивачем, що охолоджується проточною водою



1 - підкат; 2 - рольганг; 3 - верхній блок;  
4 - мембрана; 5 - нижній блок;  
6 - боковий блок  
Рисунок 3 - Система екранування із вторинним випромінювачем тепла від мембрани

При прокатці смуг вагою 11 кг на 1 мм ширини з товщиною 26 мм з використанням системи екранування "енкопанель" [4] втрата температури заднім кінцем смуги зменшується на 60%, що значно зменшує перепад температури по довжині розкату. При зниженні температури нагріву слябів перед прокаткою з 1200 до 1125 °С втрата маси слябів на утворення окалини зменшується на 0,16%, що становить десятки кілограмів з кожної заготовки. З підвищенням температури при використанні екранів зменшується витрата енергії на приводи обтискних клітей.

Це виражається в зниженні споживання електроенергії двигунами. У [3] представлені результати дослідів по вимірах сили струму двигунів чистової групи сталі 2800/1700 без використання і з використанням екранів. Під час експерименту без екранів сила струму в чорнових клітях при прокатці заднього кінця виявилися на 15% вище, ніж при прокатці переднього кінця. Сила струму двигунів чорнових клітей з екранами, де

прокочується задній кінець смуги, була нижче сили струму двигунів тих же клітей, де прокочується передній кінець смуги без ізоляції. Питоме зусилля прокатки для переднього і заднього кінця смуги відрізняється на 25% і становить 1,95 т на 1 мм ширини для переднього кінця, і 2,45 т/мм для заднього. Зміна зусилля прокатки призводить до зміни вигину робочих валків по довжині смуги.

Крім того, змінюється форма поперечного перерізу смуги по її довжині. Вирівнювання значень питомих зусиль прокатки дозволяє отримати смуги з незмінним поперечним перерізом, що підвищує показники якості продукції. Зміна зусилля прокатки і збільшення її швидкості призводить до того, що потужність, необхідна для прокатки заднього кінця, може перевищувати на 25% потужність для переднього кінця. Це веде до необхідності використання двигунів більшої потужності. Крім того, прокатка переднього кінця ведеться з неповним використанням встановленої потужності приводу при знижених значеннях його ККД. Використання екранів дозволяє виправити ці недоліки.

Витрата палива при нагріванні заготовок перед прокаткою залежить від температури печі та швидкості прошовування слябів. При існуючій ширині робочого простору печі середню температуру слябів мартенітової сталі можна зменшити на 50 °С [5], що дає економію палива близько 10%. Зменшення температури нагріву слябів на 50 °С дозволило знизити температуру в печі і втрати теплоти в навколишнє середовище, при цьому втрати металу на окалину зменшилися на 0,1% [6].

До установки екранів сортамент продукції з нержавіючої сталі був обмежен потужністю чистової групи. Після установки виявилось можливим зменшити остаточну товщину прокату з 4,3 до 3 мм при однаковій ширині. Якщо товщина смуги, що прокачується залишається без зміни, то ширину можна збільшити на 30% [7].

Важливою перевагою екранування є можливість затримки підкату на рольгангу у разі поломок в чистовій групі або на моталках. З причини того, що втрати теплоти набагато менше, підкат можна затримати на рольгангу на строк до восьми хвилин, а потім продовжити плющення якісних рулонів трохи товщої смуги.

При плющенні важкооброблюваних сталей причиною вибраковувань може являтися розрив кромки при плющенні заднього кінця смуги. Це веде до короблення поля смуги і, як наслідок, її краї. В цьому випадку увесь рулон спрямовується у брак. В деяких випадках відбувається відрив заднього кінця смуги, що призводить до зупинки процесу плющення. В результаті заготівки, стрічки, що знаходяться перед відірваним хвостом, остигають і спрямовуються у брак. Крім того, ушкоджуються поверхні валків і згодом ці ушкодження ініціюють утворення розривів кромки, викривлення поверхні і інші дефекти прокатки.

При прокатці важкооброблюваних сталей прокатний стан працює на межі своєї робочої характеристики. У зв'язку з цим вводяться обмеження на довжину і товщину слябів. Цей захід називається "Прокат часткових слябів". Таке технологічне рішення зменшує ККД прокатної установки у зв'язку з неповним використанням череня печі, а також зменшується продуктивність і доля ефективного робочого часу в загальному часі роботи стану. Оскільки при прокатці зменшених слябів розміри обрізі залишаються без зміни, то падає продуктивність по додатному прокату. Це призводить до зростання вартості додатного прокату, оскільки важкооброблювані матеріали зазвичай дорожчі. У загальному випадку якість готової листопрокатної продукції визначається рівнем середніх значень температурно-силових параметрів процесу (температури металу), повним зусиллям плющення, значенням нормальної напруги та ін. Максимальний вплив на зміну енергосилових параметрів робить режим нагріву слябів стабільним. Дестабілізуючий вплив непостійного темпу плющення по лінії стану зростає від перших до останніх клітей чорнової групи; оскільки товщина розкатів зменшується, площа їх збільшується, і втрати теплоти зростають. Отримана нерівномірна температура розкату на вході до чистової групи клітей робить максимальний дестабілізуючий вплив на процес плющення смуги в чистовій групі, а, в результаті, і на механічні властивості і точність розмірів готової гарячекатаної сталі.

**Завдання дослідження.** Використовуючи дані про економію теплоти розкату і поліпшення якості готової продукції в листопрокатному виробництві, були проведені чисельні дослідження, що дозволяють оці-

нити можливості економії енергоносіїв при використанні екранних установок в сортопрокатному виробництві. Для аналізу можливих шляхів рішення задачі по зниженню витрати енергоносіїв був вибраний сортопрокатний стан 550-2 ЄВРАЗ ДМЗ. Перед станом встановлена чотирьохзонна методична піч з крокуючим подом продуктивністю до 90 т/г. Нагрів заготовок здійснюється до температури 1210 °С. Як паливо використовується природний газ. Після нагріву заготовку переміщують на рольганг і надають в робочі кліті. За технологічними вимогами температура кінця прокату має бути приблизно 850 °С.

**Результати досліджень.** Використовуючи відому методику розрахунку методичної печі [7] були отримані результати, деякі з яких представлені на рисунку 4. Як видно з рисунку 4 питома витрата палива зменшується у міру того, як знижується кінцева температура нагріву заготовок. Екранування рольгангу дозволяє вирішити питання зменшення втрат теплоти при деформуванні, при цьому температура заготовок у кінці деформування відповідатиме технологічним вимогам. Зміна температури металу при деформуванні з екраном і без нього представлено на рисунку 5. Температура металу при використанні екранної ізоляції на 30 – 50 °С вище, ніж температура металу на неекранованому рольгангу. Паралельно зі зменшенням температури розкату змінюється витрата електроенергії. Для оцінки впливу температури на енергоспоживання була використана методика розрахунку нормативів питомої витрати електроенергії при виробництві сортового прокату [6]. У цій методиці враховуються наступні показники роботи стану: середньоквадратичне значення коефіцієнта форми профілю, витяг профілю, величина опору деформації металу, продуктивність стану. Отримані результати представлені на рисунку 6.

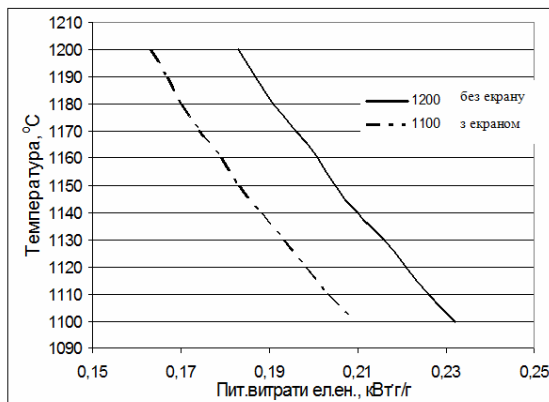
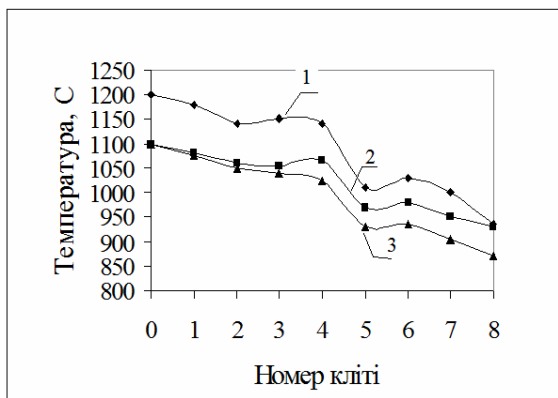


Рисунок 4 - Зміна питомої витрати палива



1 - температура на виході з печі 1200 °C без екранної ізоляції; 2 - температура на виході з печі 1100 °C з екранної ізоляцією; 3 - температура на виході з печі 1100 °C без екранної ізоляції  
Рисунок 5 - Зміна температури розкату по клітям прокатного стану

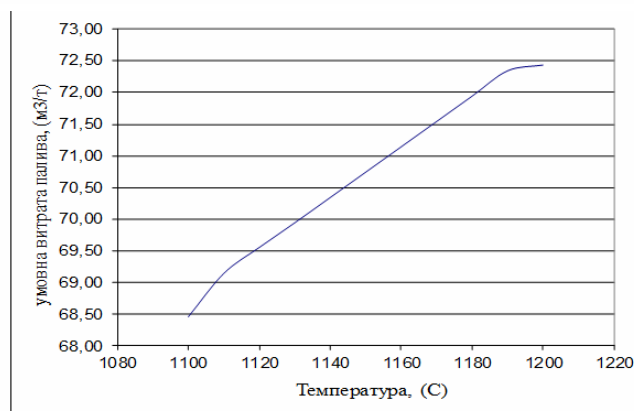


Рисунок 6 – Показники витрат електроенергії

**Висновки.** Розрахунки показують, що установка теплосберегаючих екранів може дати економію теплоти (до 60%) і підвищити температуру кінця прокату на 50 °C по відношенню до деформуванні з охолодженням на повітрі з початковою температурою 1000 °C. Питома витрата палива зменшиться на 30%, а питома витрата електроенергії збільшиться на 12%.

Отримані дані показують, що застосування екранних установок в сортопрокатному виробництві дає можливість понизити температуру нагріву заготівель в нагрівальній печі, зменшити чад металу при нагріві і поліпшити якість готового прокату.



**ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE**

1. Lows W. И др. Разработка системы тепловой изоляции ЭНКОПАНЕЛЬ для станов горячей прокатки // Iron and Steel Eng. – 1983. - № 1. С. 38-40.
2. Хлопонин В. Н., Белянский А. Д., Корышев А. Н. Разработка теплосохраняющих экранов для промежуточного рольганга широкополосного стана (ШПС) горячей прокатки // Сталь. – 1992 . – № 8. С. 80-82.
3. Московский институт стали и сплавов; Череповецкий металлургический комбинат. Экранирование подката на промежуточном рольганге стана 2800/1700. //ХлопонинВ. Н., Хребтов И. М. и другие. // Металлург. – 1986.- № 9. С.
4. Бернштейн М.П., Займовский В.А., Капустин Л.М. Термомеханическая обработка стали. - М: Металлургия, 1983. – 574с.
5. Бернштейн М.П. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. - М: Металлургия, 1968. – 1171с.
6. Разработка системы экранирования промежуточного рольганга широкополосного стана. /Остапенко А. Л., Тесля М. Д. и другие. //Сталь. – 1997. - № 2. С.
7. Юхновский Ю.М., Григорьев В.И., Гудыря В.А. Методика расчета нормативов удельного расхода электроэнергии при производстве сортового проката //Металл и литье Украины 1998. - № 1,2. С. 51-54.
8. Н.Ю. Тайц, Ю. И. Розенгарт. Методические нагревательные печи – Харьков, 1956. – С. 248.

**REFERENCES**

1. Lows W. I dr. Razrabotka sistemy teplovoy izolyatsii ENKOPANEL' dlya stanov goryachey prokatki // Iron and Steel Eng. – 1983. - № 1. S. 38-40.
2. Khloponin V. N., Belyanskiy A. D., Koryshev A. N. Razrabotka teplosokhranyayushchikh ekranov dlya promezhutochnogo rol'ganga shirokopolosnogo stana (SHPS) goryachey prokatki // Stal'. – 1992 . – № 8. S. 80-82.
3. Moskovskiy institut stali i splavov; Cherepovetskiy metallurgicheskiy kombinat. Ekranirovaniye podkata na promezhutochnom rol'gange stana 2800/1700. //KhloponinV. N., Khrebtov I. M. i drugiye. // Metallurg. – 1986.- № 9. S.
4. Bernshteyn M.P., Zaymovskiy V.A., Kapustin L.M. Termomekhanicheskaya obrabotka stali. - M: Metallurgiya, 1983. – 574s.

5. Bernshteyn M.P. Termomekhanicheskaya obrabotka metallov i splavov. - M: Metallu-rgiya, 1968. – 1171s.
6. Razrabotka sistemy ekranirovaniya promezhutochnogo rol'ganga shirokopolosnogo stana. /Ostapenko A.L., Teslya M.D. i drugiye.//Stal'.–1997.-№ 2.S.
7. Yukhnovskiy YU.M., Grigor'yev V.I., Gudrya V.A. Metodika rascheta normativov udel'nogo raskhoda elektroenergii pri proizvodstve sortovogo prokata //Metall i lit'ye Ukrainy 1998. - № 1,2. S. 51-54.
8. N.YU. Tayts, YU. I. Rozengart. Metodicheskiye nagrevatel'nyye pechi – Khar'-kov, 1956. – S. 248.

Received 28.02.2020.

Accepted 02.03.2020.

### **Підвищення ефективності енергоспоживання сортопрокатному виробництві**

*Наиболее энергоемким участком прокатки стали являются нагревательные печи. Таким образом, разработка эффективных режимов нагрева заготовок в них может существенно снизить уровень потребления энергии. Одним из возможных способов повышения показателей работы печей является поддержание температуры нагретой заготовки на рольгангах при прокатке за счет специальных отражающих экранов, уменьшающих потери тепла радиацией в окружающую среду. В этой статье исследована эффективность применения теплоотражающих экранов в прокатном производстве.*

### **Environmental energy efficiency at the rolling roller**

*In the rolling industry, heating furnaces and reduction mills are the most energy-intensive units. Implementation of efficient modes during billets heating in a furnace and rolling them on the mill with a minimum of energy costs for compression determine the resource-saving technologies.*

*In this system, the "furnace" when using heat-shielding screens by varying the fuel consumption for heating and electricity for deformation of billets, it is possible to achieve lower energy consumption and obtain the necessary quality of rolled metal.*

*Calculations show that the installation of heat-saving screens can save heat (up to 60%) and increase the temperature of the end of the rolling by 50 °C relative to deformation with cooling in the air with an initial temperature of 1000 °C. The specific fuel consumption will be reduced by 30% and the specific consumption of electricity will be increased by 12%.*

*Redistribution of energy consumption and, as a consequence, reduction of energy consumption in rolling mill production is possible when installing heat-shielding screens over the rolling field. The use of screens allows to reduce heat losses in the environment and thus to keep the workpiece temperature. It is known to use heat-saving screens on rolling mills. Their use in lane rolling not only reduced heat loss from blanks, but also increased the number of higher quality products. In this work the possibilities of installation of heat-saving screens on rolling mills are considered.*

*When installing heat-shielding screens above the rolling field, it is possible to change the heating temperature of the workpieces in the furnace. On the screen roller shutter due to the reduction of heat loss deformation of the workpieces in the draft cages can be carried out at lower temperatures, while obtaining the temperature of the end of rolling, corresponding to techno-*

*logical requirements. Changing the workpiece temperature also affects the power consumption of the crimp actuators.*

**Форись Светлана Николаевна** – доц., к.т.н., Национальная металлургическая академия Украины.

**Федоров Сергей Сергеевич** – проф., д.т.н., Национальная металлургическая академия Украины.

**Перерва Валерия Яковлевна** – доц., к.т.н., Национальная металлургическая академия Украины.

**Усенко Андрей Юрьевич** - доц., к.т.н., Национальная металлургическая академия Украины.

**Форись Світлана Миколаївна** – доц., к.т.н., Національна металургійна академія України.

**Федоров Сергій Сергійович** – проф., д.т.н., Національна металургійна академія України.

**Перерва Валерія Яківна** – доц., к.т.н., Національна металургійна академія України.

**Усенко Андрій Юрійович** – доц., к.т.н., Національна металургійна академія України.

**Foris Svitlana** – associate professor, PhD, National Metallurgical Academy of Ukraine.

**Fedorov Serhii** – professor, DSc, National Metallurgical Academy of Ukraine.

**Pererva Valeria** – Associate Professor, PhD, National Metallurgical Academy of Ukraine.

**Usenko Andrii** – associate Professor, PhD, National Metallurgical Academy of Ukraine.