

А. З. Ціколія^{1,2}, аспірант

М. В. Никитюк¹, начальник відділу інжинірингу

Д. О. Кононов², к.т.н., доц., ORCID 0000-0001-9505-5298

¹ *Primetals Technologies Ukraine LLC*

² *Український державний університет науки і технологій*

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОМІЖНОГО ПЕРЕМОТУВАЛЬНОГО ПРИБОРУ «COILBOX» ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ПРОКАТУ В БЕЗПЕРЕРВНИХ ЛИСТОВИХ СТАНАХ

Анотація. У даній роботі досліджується ефективність застосування проміжного перемотувального пристрою CoilBox, який відіграє ключову роль у збереженні теплових властивостей прокатки металу. Технологія CoilBox, розроблена компанією Stelco Incorporated в 1969 році, передбачає змотування гарячої стрічки на високих швидкостях і подальше розмотування перед чистою групою клітей. Це дозволяє зменшити втрати тепла через випромінювання та зберегти рівномірний температурний режим протягом всього процесу прокатки. Протягом розробки та вдосконалення CoilBox, були проведені численні випробування, які підтвердили його переваги в порівнянні з традиційними системами прокатки. Перші прототипи були перевірені на гарячих прокатних станах Hilton Works у Гамільтоні (1972-1973 роки) та Westport в Австралії (1979 рік). Після успішного комісійного впровадження в 1982 році на гарячому прокатному стані Vochum, технологія CoilBox набула широкого розповсюдження, і до 1978 року було встановлено 50 таких установок по всьому світу. Використання CoilBox має значний вплив на підвищення ефективності прокатного процесу. Аналіз показує зменшення споживаної потужності, а також зменшення середньої величини моменту на аналогічну величину. Це забезпечує зменшення варіації температури по довжині полоси, що веде до зниження різниці в товщині готового продукту. Стабільність процесу прокатки також підтверджується зниженням середньоквадратичного відхилення моменту в більшості кліток. CoilBox не тільки підвищує ефективність виробництва, але й відповідає принципам сталого розвитку. Зниження енергетичних витрат та зменшення викидів CO₂ сприяють екологічній стійкості виробничих процесів. Технологія CoilBox дозволяє розширити асортимент продукції, збільшити частку гарячекатаних рулонів та зменшити витрати на енергію, що робить її важливим інструментом для покращення якості продукції та зниження екологічного впливу виробництв.

© Видавець Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, 2024



Ця стаття відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.uk>

Ключові слова: збереження тепла, проміжний перемотувальний пристрій, CoilBox, розкат, ефективність виробництва, температурний клин зниження витрат енергії.

Посилання для цитування: Ціколія А. З., Никитюк М. В., Кононов Д. О. Застосування проміжного перемотувального пристрою «CoilBox» для зниження витрат енергії та підвищення ефективності виробництва прокату в безперервних листових станах. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2024. Вип. 38. С. 469-481. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-469-481>

Вступ

У сучасному виробництві сталевого прокату на штабових станах однією з головних проблем є підвищення якості кінцевої продукції та зниження витрат енергії у виробничому процесі. Недостатнє утримання тепла може негативно вплинути на механічні властивості розкату, що ставить під загрозу якість та конкурентоспроможність продукції.

Вирішення цієї задачі передбачає вдосконалення технологій, які забезпечують рівномірне утримання тепла під час процесу розкату.

Традиційні методи покращення технологій та устаткування широкополосних станів спрямовані на підвищення механічних властивостей та розмірів готового продукту, зниження витрат матеріалу та енергії. Одним із способів покращення якості продукції є збереження теплових властивостей металу.

У даному контексті важливо дослідження та впровадження інноваційних технологій, спрямованих на зменшення втрат тепла на проміжних рольгангах широкополосних станів. Такі заходи дозволять ефективніше використовувати енергоресурси, підвищити продуктивність виробництва та забезпечити стабільне виробництво конкурентоспроможності на ринку. Компанія «Primetals Technologies Ukraine LLC» [1] є розробником сучасного обладнання для штабових прокатних станів, тому вирішення цієї проблеми є актуальною задачею.

Таким устаткуванням можуть бути теплозберігаючі панелі, панелі з підігрівом, установки «CoilBox», або їх сумісна комбінація.

Метою роботи є дослідження ефективності застосування проміжного перемотувального пристрою «CoilBox» для збереження тепла під час прокатки розкату, підвищення якості кінцевої продукції та зниження витрат енергії у виробничому процесі. У роботі розглядаються конструктивні особливості та переваги технології, а також її вплив на ефективність виробництва і стабільність механічних властивостей металу.

Історія розвитку пристрою «CoilBox» [2]

Розробка пристрою «CoilBox» розпочалася в 1969 році компанією

Stelco Incorporated, яка ставила перед собою мету зменшити загальну довжину прокатного заводу, потужність основного приводу та швидкість прокатки в порівнянні з традиційними установками. Перше випробування прототипу «CoilBox» було проведено на гарячому прокатному стані Hilton Works у Гамільтоні в 1972-1973 роках.

У ранньому 1974 році було продовжено випробування з удосконаленим обладнанням, яке дозволяло одночасне виконання намотування та розмотування стрічки. Цей тривалий період тестування підтвердив доцільність і переваги «CoilBox» для процесу прокатки, включаючи його здатність уникнути затримки, сприяти збереженню тепла та забезпечувати однорідну температуру матеріалу.

Оскільки запуск нового заводу Stelco на озері Ер'є затримався, перше комісійне використання «CoilBox» відбулося на новому гарячому прокатному стані Westernport в Австралії в 1979 році. Пізніше, в 1982 році, пристрій «CoilBox» був впроваджений на гарячому прокатному стані Vochum.

З 1978 року загалом було впроваджено 50 установок «CoilBox» на гарячих прокатних станах по всьому світу. Цей пристрій продемонстрував свою важливість у сучасних технологіях гарячої прокатки, завдяки своїм перевагам у підвищенні ефективності та якості продукції.

Пристрій «CoilBox» був спочатку розроблений компаніями Stelco та її підрозділом Steltech, а пізніше його подальшим вдосконаленням займалася компанія Primetals Technologies[1]. Завдяки цим удосконаленням пристрій продовжує грати важливу роль у сучасних технологіях гарячої прокатки, забезпечуючи підвищену ефективність і якість продукції.

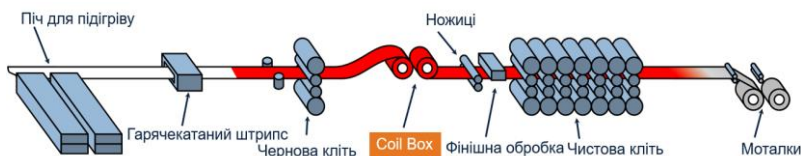


Рисунок 1 - Технологія з використанням пристрою «Coilbox»

Ефективність застосування проміжного перемотувального пристрою «CoilBox»

Проміжний перемотувальний пристрій (ППП) застосовують для розширення сортаменту, збільшення частки гарячекатаних рулонів і підвищення продуктивності стану, звуження температурного клину розкату.



Рисунок 1 - Загальний вигляд проміжного перемотувального пристрою [2]

Представляє із себе проміжний процес, метою якого є змотування розкату на високій швидкості при виході із чорнової групи клітей із подальшим розмотуванням металу на більш низькій швидкості та подачею його в чистову групу клітей. Процес змотування скорочує площу поверхні тепловипромінювання розкату. В результаті розкат після розмотування має фактично таку ж температуру, що й під час змотування, що в свою чергу дозволяє вести прокатку в чистових клітках з постійною швидкістю. Крім того, він може бути обладнаний системами регулювання температури, що дозволяють утримувати оптимальні умови для обробки матеріалу [6].

Технологія «CoilBox» дозволяє скоротити затрати електроенергії при прокатці матеріалу в чистовій групі клітей, забезпечує високу однорідність металургійних властивостей по довжині кінцевого продукту та дозволяє розширити асортимент продукції, що прокатується на стані. На додаток до цього, змотування розкату може бути розпочато, коли розкат все ще знаходиться в чорновій групі, таким чином, це дає змогу обробляти більш довгі розкати.

Конструктивні особливості проміжного перемотувального пристрою «CoilBox»

Проміжне перемотувальне пристрій виконує проміжний процес на стані гарячої прокатки, при якому розкат із гарячого металу змотують на великій швидкості з чорнової групи клітей і повільно розмотують у чистовій групі клітей. Головна частина розкату надходить у проміжний перемотувальний пристрій і спрямовується в зону змотування, де гнучкі ролики тягнуть його та надають йому вигнуту вниз кривизну, утворюючи першу петлю рулону і потім спряючи формуванню навколо петлі додаткових витків рулону. Формувальний рулонний барабан і пара приводних роликів люльки підтримують і вміщують у себе зростаючий рулон [8, 10].

Розмотування починається тоді, коли ролики люльки змінюють напрямок обертання рулону на протилежне, і відокремлюваний пристрій примусово відокремлює найбільш зовнішній виток рулону, щоб подати нову головну частину в зону входу обрізних ножиць, а потім у чистову групу клітей. Розмотування може включати активне та/або пасивне перенесення рулону із зони змотування, через проміжну ділянку розмотування і перенесення, на ділянку завершального розмотування.

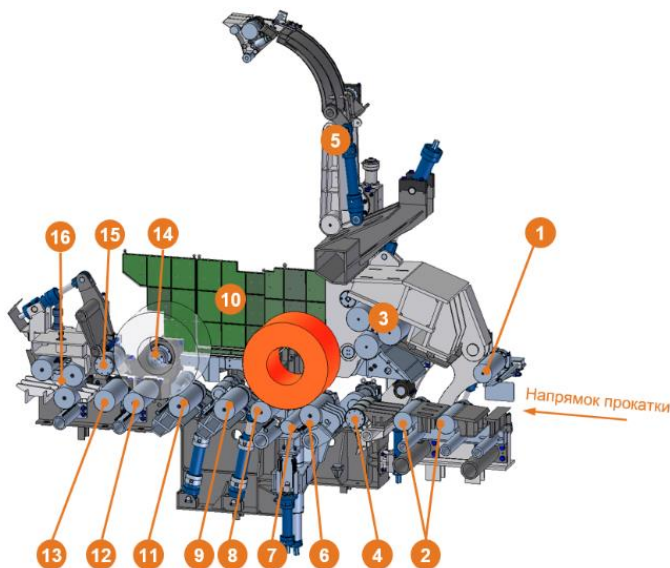


Рисунок 3 - Основні компоненти пристрою «CoilBox»:

1 - направляючий ролик; 2 - вхідні ролики; 3 - згинальний пристрій; 4 - формувальний ролик; 5- відокремлювальний пристрій; 6 - пересувний ролик 1А; 7 - штовхальний ролик; 8 - пересувний ролик 1В; 9- транспортувальний ролик; 10 - Теплові екрани; 11 - пересувний ролик 2А; 12 - пересувний ролик 2В; 13 - пересувний ролик 3; 14 - стопорний штифт; 15- стопорний ролик; 16- притискний блок.

Застосування проміжного перемотувального пристрою стало революцією у виробництві розкату, оскільки воно забезпечує збереження тепла шляхом накопичення довгого розкату між чорною та чистовою групами клітей. Процес змотування зменшує площу поверхні, яка може втрачати тепло через випромінювання від розкату. Це призводить до того, що розмотаний розкат має майже таку ж температуру, що й при змотуванні, дозволяючи майже ізотермічну

прокатку без збільшення потрібної потужності прокатки. Крім того, змотаний розкат є компактнішим порівняно з плоским розкатом, що дозволяє економити площі та/або підвищити продуктивність стану. На додаток до цих головних переваг, проміжний перемотувальний пристрій також має такі переваги: вирівнювання холодних слідів полозів від печі з крокуючими балками, руйнування окалини, можливість розміщення в ньому підігрітих рулонів та використання його як позиції тимчасової витримки перед чистою групою клітей.

Пристрій активного переміщення для проміжного перемотувального пристрою «Coil Box»

У попередніх патентах США були описані складні та дорогі конструкції для переміщення рулона гарячого металу без оправок за допомогою підйомних та опускних люльок. Також були запропоновані системи активного переміщення рулона між робочими місцями смотування та розмотування, що мали недоліки через відсутність роликів на певних ділянках переміщення, що призводило до можливих падінь рулона [4].

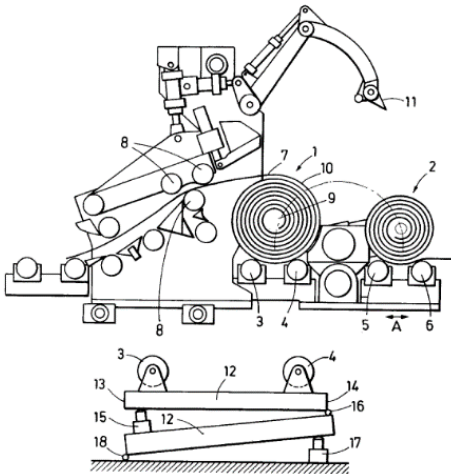


Рисунок 2 - Конструкція для переміщення рулону без оправок

Найбільш вдалою стала конструкція, яка передбачає активне переміщення рулона гарячого металу всередині проміжного перемотувального пристрою. Вона включає одноповоротну люльку з першим нерухомим опорним роликом, поворотною рамою та другим опорним роликом, що може обертатися навколо осі першого ролика. Це дозволяє надійно переміщати рулон через люльку під час прокатки.

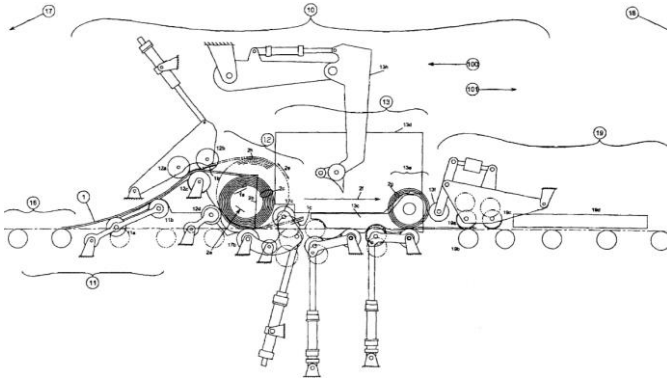


Рисунок 5 - Схематичний вигляд активного переміщення рулону

Проміжний перемотувальний пристрій на лінії гарячої прокатки виконує процес змотування гарячого металу з великою швидкістю з чорнової групи клітей, а потім повільно розмотує його для чистової групи клітей. Метал центрується перед входом в пристрій, де приводні та направляючі ролики надають йому кривизну, створюючи перші витки рулону. У міру зростання рулону, підтримуючі ролики регулюють своє положення для вміщення його діаметра. Розмотування починається, коли ролики змінюють напрямок обертання, а пристрій для відділення подає нову головну частину металу для подальшої прокатки [1].

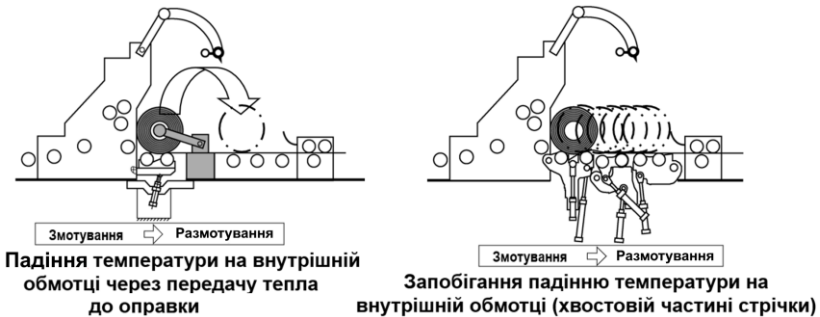


Рисунок 6 - Порівняння між типом оправки (звичайним) і безоправочним типом (вдосконаленим)

Основні тенденції в розповсюдженні обладнання. Індустрія 5.0 та «CoilBox» у контексті екологічних трендів

Впровадження Індустрії 5.0, яка орієнтована на інтеграцію людських навичок з передовими технологіями, відкриває нові можливості для

розвитку промисловості. «CoilBox» у цьому контексті є прикладом технології, яка дозволяє не тільки підвищити ефективність виробничих процесів, але й зробити їх більш адаптивними та екологічними. Змотування розкату на високій швидкості і подальше його розмотування з мінімальними втратами тепла відповідають принципам сталого розвитку та циркулярної економіки, що є ключовими аспектами Індустрії 5.0.

Технологія «CoilBox» дозволяє значно знизити витрати електроенергії та забезпечує високу однорідність продукції. Крім того, вона сприяє зниженню викидів CO₂, що особливо важливо в контексті глобальних екологічних трендів та зростаючої уваги до зеленої металургії. Проте, як і будь-яка інновація, «CoilBox» має певні недоліки, такі як висока вартість впровадження та зниження продуктивності стану. Незважаючи на це, його використання відкриває нові можливості для підприємств, які прагнуть відповідати сучасним вимогам сталого розвитку.

Таблиця 1 - Відомі поставки "CoilBox" компанією Primetals Technologies Ukraine [1]

Підприємство	Дата запуску	Вага рулону, т	Швидкість намотування, м/хв	Ширина, мм
G-Steel (SSM), Thailand	1999	28	230	1,550
BYH Plant, China	2003	30	300	1,630
POSCO P2H, Korea (revamp)	2006	35,3	300	1,880
LISCO, China	2006	30	270	1,600
Isdemir HSM, Turkey	2008	39	300	2,050
Nakayama Steel Japan (revamp)	2008	26	270	1,600
Jindal Stainless Limited, India	2010	36,3	300	1,650
FH1 Plant, China	2013	30	300	1,630
Metinvest Ilyich, Ukraine	2019	32	300	1,600

Оцінка ефективності проміжного перемотувального пристрою «CoilBox»

Оптимізація процесів прокатки на станах 1680 є важливим завданням для забезпечення стабільної якості продукції та зниження виробничих витрат. Проблема ефективного розподілу крутних моментів у клітях прокатних станів є актуальною для підвищення якості кінцевої продукції та зниження енергозатрат. Дослідження [6], які були

проведені на БЗС 1680, дозволило виявити важливі закономірності, що лягли в основу подальшого аналізу.

Загальний вигляд кривих моментів сил пружності та двигунів демонструє значне збільшення моменту в клітках 5 – 9 до кінця прокатки без застосування «CoilBox». Використання «CoilBox» призводить до рівномірного розподілу моменту вздовж полоси, що суттєво покращує стабільність процесу. На початку прокатки без «CoilBox» спостерігається короткий відрізок зі зменшенням моменту, пов'язаний із перехідним процесом, де момент сил пружності та двигуна досягає пікових значень, а потім знижується під впливом натягнення під час захоплення полоси наступною кліткою.

Важливим фактором, який впливає на прокатку без «CoilBox», є температурний клин розкату. Встановлено, що зміна моменту при традиційній схемі прокатки на всіх ширококуглових станах обумовлена саме цим явищем. У дослідженнях було визначено різницю між максимальним і мінімальним значенням моменту для кожної полоси, що залишалася відносно стабільною по всіх клітках, що підтверджує постійність впливу температурного клину [9-11].

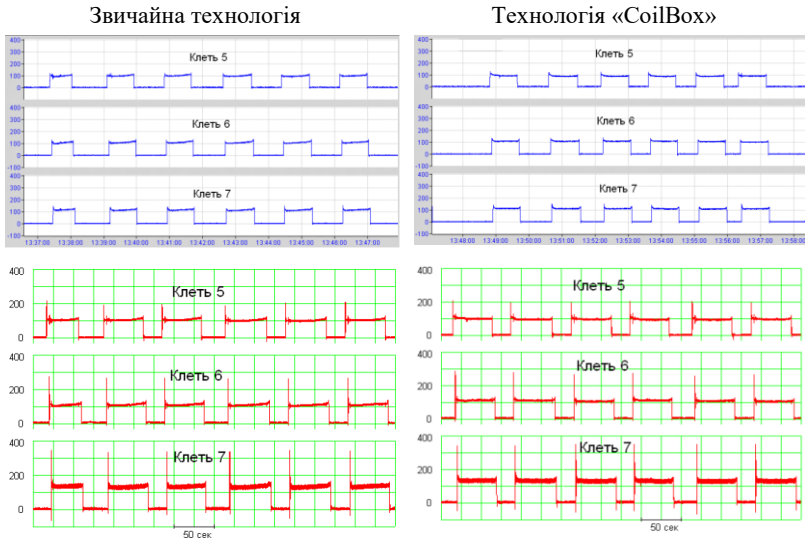


Рисунок 7 - Значення електромагнітного моменту двигуна і моменту сил пружності при прокатці

Порівняння інтегралу моменту сил пружності та двигуна при прокатці полоси з «CoilBox» і без нього показало, що в клітках 5 – 9 споживана потужність прокатки зменшується на 1,2-9% при

застосуванні «CoilBox». В середньому це зменшення складає 4%, що свідчить про ефективність використання пристрою. Також спостерігалось зменшення середньої величини моменту на ті ж 4% у клітках 5–9 при прокатці з «CoilBox».

Середньоквадратичне відхилення моменту вздовж полоси при прокатці з «CoilBox» в більшості клітках зменшується на 2-30%, у середньому більш ніж на 10%, що вказує на стабілізацію температури вздовж полоси та вирівнювання локальних «темних плям». Винятком є кліть 9, де середнє відхилення збільшилося на 28%, але при врахуванні наступних п'яти полос цей показник фактично знижується на 2%.

Коефіцієнт варіації моменту також свідчить про більш стабільну прокатку з «CoilBox», зменшуючись на 3-7% залежно від кліті. Рівень динамічних навантажень і коефіцієнт динамічності моменту сил пружності практично не змінюється при використанні «CoilBox», що пояснюється меншим впливом температурних коливань на динамічні навантаження у порівнянні з іншими факторами.

Аналіз рознотовщинності полоси показав, що при прокатці без «CoilBox» на готовій полосі залишається слід від температурного клину у вигляді клину товщини. Використання «CoilBox» робить товщину полоси більш рівномірною по всій довжині, зменшуючи ефект температурного клину і зменшуючи різницю в товщині на 35-40% [9].

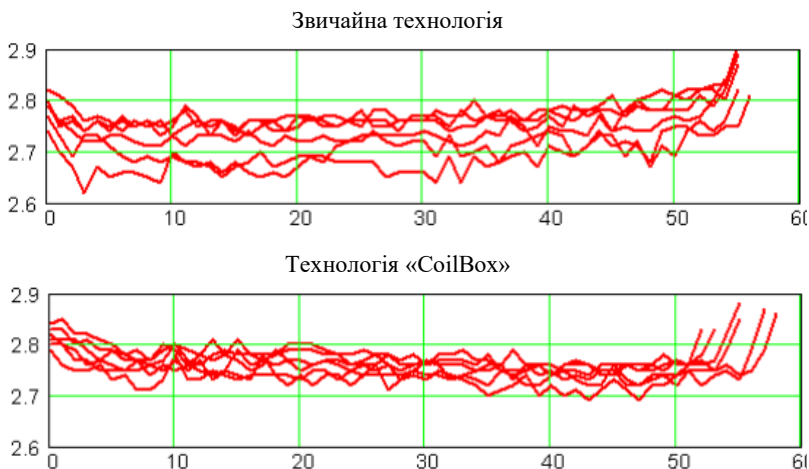


Рисунок 8 - Накладання записів поздовжньої товщини

Таким чином, використання «CoilBox» на станах призводить до суттєвого покращення стабільності прокатки та рівномірності товщини полоси, що в кінцевому підсумку підвищує якість кінцевого продукту.

Висновки

1. Проміжний перемотувальний пристрій «CoilBox» суттєво підвищує ефективність гарячої прокатки завдяки збереженню тепла, що позитивно впливає на механічні властивості металу та якість продукції.
2. Процес змотування розкату на високих швидкостях і подальше розмотування зменшує втрати тепла через випромінювання, що дозволяє отримувати продукцію з більш однорідними властивостями.
3. Використання «CoilBox» також сприяє економії електроенергії, оскільки зменшує зміну температури і стабілізує момент прокатки, що веде до зниження енергозатрат.
4. «CoilBox» відповідає принципам сталого розвитку та циркулярної економіки, сприяючи зниженню викидів CO₂ та підвищенню екологічної стійкості виробничих процесів.

Перелік посилань

1. Веб-сайт компанії Primetals Technologies. URL: <https://www.primetals.com>
2. Degner M., Thiemann G. Development of coilbox technology at Bochum hot strip mill. Stahl und Eisen. 2002. № 122. С. 45-50.
3. Kramer Photography. "Hot Strip Mill - CoilBox." URL: <http://surl.li/pzfmse>
4. Устройство активного перемещения для промежуточного перемоточного устройства полосового стана горячей прокатки: пат. 2481909 С2 РФ. № 2010138804/02; заявл. 19.01.2009; опубл. 27.03.2012, Бюл. № 14. 12 с.
5. Освоение технологии горячей прокатки полос на стане 1680 с промежуточным перематывающим устройстве «Коилбокс» / А. Ю. Путники, О. В. Симененко, С. В. Машко и др. // Сталь. 2008. №10. С. 39-41.
6. Подобедов Н. И., Веренев В. В., Коренной В. В. Оценка эффективности устройства «Коилбокс» на стане 1680 // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. 2018. Вып. 32. С. 300-308.
7. Ткалич К. Н., Коновалов Ю. В. Точная прокатка тонких полос. М.: Металлургия, 1972.
8. Николаев В. А., Путники А. Ю. Прокатка широкополосной стали. К.: Освита України, 2009. – 268 с.
9. Коновалов Ю. В. Динамика продольной разнотолщинности горячекатаных полос в непрерывной группе клетей широкополосного стана горячей прокатки. Листопрокатное производство. 1975. № 4. С. 54-59.
10. Управление тепловым состоянием тонколистового проката для повышения равномерности распределения механических свойств : монография / В. В. Кухарь, А. Г. Присяжный, Е. Ю. Балалаева и др. Мариуполь : ПГТУ, 2018. 144 с.
11. Повышение точности листового проката / Меерович И. М. и др. М.: Металлургия, 1969

References

1. Web-site of Primetals Technologies. URL: <https://www.primetals.com>
2. Degner, M. & Thiemann, G. (2002). Development of coilbox technology at

Bochum hot strip mill. *Stahl und Eisen*, (122), 45-50

3. Kramer Photography. "Hot Strip Mill - CoilBox." URL: <http://surl.li/pzfmse>

4. MakKkenni, K., Mjurrej, M., Darini, M., & Rabli, D. (2012). Patent 2481909C2 Russian Federation. Strip hot rolling mill intermediate rewinder active drive. Federal service for intellectual property. Bull. No. 14, 12 p

5. Putnoki, A. Iu., Simenenko, O. V., & Matcko, S. V. (2008). Osvoenie tekhnologii goriachei prokatki polos na stane 1680 s promezhutochnym perematyvaiushchim ustroistve «Koilboks». *Stal*, (10), 39-41.

6. Podobedov, N. I., Verenev, V. V., & Korennoi, V. V. (2018). The evaluation of effectiveness of the device "Coilbox" on the mill 1680. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 32, 300-308

7. Tkalic, K. N., & Konovalov, Iu. V. (1972). *Tochnaia prokatka tonkikh polos. Metallurgiiia*

8. Nikolaev, V. A., & Putnoki, A. Iu. (2009). *Prokatka shirokopolosnoi stali. Osvita Ukrainy*

9. Konovalov, Iu. V. (1975). Dinamika prodolnoi raznotolshchinnosti goriachekatanykh polos v nepreryvnoi gruppe kletei shirokopolosnogo stana goriachei prokatki. *Listoprokatnoe proizvodstvo*, (14), 54-59

10. Kukhar, V. V., Prisiazhnyi, A. G., Balalaeva, E. Iu., Tuzenko, O. A., Kurpe, A. G., Anishchenko, A. S., & Karmazina, I. V. (2018). *Upravlenie teplovym sostoianiem tonkolistovogo prokata dlia povysheniia ravnomernosti raspredeleniia mekhanicheskikh svoistv*. PGTU

11. Meerovich I. M. et al. (1969). *Povyshenie tochnosti listovogo prokata. Metallurgi*

A. Z. Tsikoliia^{1,2}, Ph. D. Student

M. V. Nykytiuk¹, Head of Engineering Department

D. O. Kononov², Ph. D. (Tech.), Associate Professor, ORCID 0000-0001-9505-5298

¹ *Primetals Technologies Ukraine LLC*

² *Ukrainian State University of Science and Technologies*

THE APPLICATION OF THE COILBOX INTERMEDIATE REWINDING DEVICE FOR REDUCING ENERGY CONSUMPTION AND IMPROVING THE EFFICIENCY OF ROLLING PRODUCTION IN CONTINUOUS SHEET MILLS

Abstract. This study investigates the effectiveness of the intermediate rewinding device CoilBox, which plays a crucial role in preserving the thermal properties of metal rolling. The CoilBox technology, developed by Stelco Incorporated in 1969, involves the high-speed coiling of hot strip and subsequent uncoiling before the finishing mill group. This approach reduces heat losses through radiation and maintains a uniform temperature profile throughout the rolling process. Throughout its development and refinement, numerous tests have confirmed CoilBox's advantages over traditional rolling systems. Initial prototypes were tested at the Hilton Works hot strip mill in Hamilton (1972-1973) and the Westernport mill in Australia (1979). After

a successful commercial implementation at the Bochum hot strip mill in 1982, CoilBox technology gained widespread adoption, with 50 installations established worldwide by 1978. The use of CoilBox significantly impacts the enhancement of the rolling process's efficiency. Analysis shows a reduction in power consumption and a decrease in the average moment to a similar extent. This results in a reduction in temperature variation along the strip, leading to a decrease in thickness differences in the finished product. The stability of the rolling process is also confirmed by a reduction in the standard deviation of the moment in most mill stands. CoilBox not only improves production efficiency but also aligns with sustainable development principles. Lower energy consumption and reduced CO₂ emissions contribute to the ecological sustainability of production processes. The CoilBox technology enables the expansion of product range, increases the share of hot-rolled coils, and reduces energy costs, making it an essential tool for improving product quality and reducing the environmental impact of manufacturing.

Keywords: heat retention, intermediate rewinding device, CoilBox, hot-rolled steel strip, production efficiency, energy savings.

For citation: Tsikoliia, A. Z., Nykytiuk, M. V., & Kononov, D. O. (2024). The application of the CoilBox intermediate rewinding device for reducing energy consumption and improving the efficiency of rolling production in continuous sheet mills. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 38, 469-481. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-469-481>

Стаття надійшла до редакції збірника 23.09.2024 р.
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 12 від 19.12.2024 р.)