

УДК 621.771.252.04:621.78.08.003.13

**Е. В. Парусов, к. т. н., с. н. с.; О. Б. Сичков, д. т. н., проф.; С. І. Губенко,  
д. т. н., проф.; С. О. Малашкін; Л. В. Сагура, к. т. н.**

## **ПРО ЕФЕКТИВНІ ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ РЕГУЛЬОВАНОГО ПОВІТРЯНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ БУНТОВОГО ПРОКАТУ В ПРОМИСЛОВИХ УМОВАХ**

*Розглянуто конструктивні особливості та склад основного обладнання лінії «Стелмор», яку використовують на більшості металургійних підприємствах для охолодження бунтового прокату. Визначено перспективні напрямки підвищення якісних показників бунтового прокату за рахунок можливості контрольованого управління процесами структуриутворення в процесі охолодження гарячODEформованої сталі. Розглянуто промислово впроваджені раціональні режими повітряного охолодження бунтового прокату з підвищеними якісними показниками, які дозволяють отримати відчутний економічний ефект під час переробки металу на метизному переділі.*

**Ключові слова:** бунтовий прокат, деформаційно-термічна обробка, лінія «Стелмор», режими охолодження.

**Вступ.** Теоретичні основи деформаційно-термічної обробки (ДТО) бунтового прокату ґрунтуються на закономірностях фазових і структурних перетворень у металі, який піддають гарячій пластичній деформації з подальшим охолодженням [1 – 5]. На основі експериментальних досліджень і їх теоретичного узагальнення розробляють нові технологічні підходи до параметрів режимів ДТО металу в потоці безперервних дрібносоротно-дротяних станів. Під час розробки того чи іншого режиму ДТО враховують низку показників: температуру нагріву заготовки в печі, деформаційний розігрів металу в клітках прокатного стану і дротяного блоку, дрібність і швидкість деформації, температуру закінчення гарячої прокатки, тривалість післядеформаційної паузи, а також поперечний переріз профілерозмірів [3, 6, 7].

Відповідно до робіт [4, 8, 9], спочатку під час розробки режимів ДТО прагнули досягти найбільших показників міцності сталі під час випробування на розтяг і знизити втрату металу в окалину. При цьому основну увагу приділяли двом основним схемам ДТО: низькотемпературній та високотемпературній, які передбачали загартування на мартенсит після теплої або гарячої деформації аустеніту відповідно. Згодом почали з'являтися й інші різновиди ДТО бунтового прокату, умовно звані ізотермічні, що дозволило забезпечити формування ферито-перлітної, перлітної або бейнітної структури металу з прокатного нагріву.

Слід зазначити, що процеси рекристалізації сталей, які відбуваються за ДТО, мають особливо важливу роль, оскільки сприятливий ефект від них нівелюється лише за значного розвитку збиральної рекристалізації, а параметри гарячої пластичної деформації при цьому відповідають визначенню ДТО лише формально. Вважають, що в тому випадку, коли не досягнуто стадії збиральної рекристалізації, метал під час подальшого охолодження зміцнюється, а за настання останньої відбувається його знеміцнення [4, 10].

За гарячої деформації рекристалізація (динамічна, метадинамічна, статична) істотно відрізняється від рекристалізації під час нагрівання холоднодеформованого металу [4, 10, 11]. Змінюючи головні параметри гарячої деформації під час ДТО: ступінь і швидкість деформації, температуру і тривалість післядеформаційної паузи, – отримують різноманітний набір структур і властивостей металу залежно від подальшого його призначення.

У роботі [12] наведено класифікацію різновидів високотемпературної ДТО, яка виключає утворення кінцевих структур сталей за мартенситним механізмом, а розпад аустеніту

відбувається з утворенням структур, які складаються з фериту і перліту, перліту, перліту і цементиту, сорбіту, трооститу або бейніту.

Реалізація зазначених різновидів режимів ДТО не вимагає охолодження прокату зі швидкостями, які перевищують верхню критичну швидкість загартування, а технологія виробництва може бути здійснена на наявному обладнанні більшості металургійних підприємств.

**Мета роботи** – визначити перспективні напрямки підвищення якісних показників бунтового прокату за рахунок можливості контрольованого управління процесами структуроутворення під час безперервного охолодження гарячодеформованої сталі.

**Матеріал досліджень** – бунтовий прокат широкого марочного складу (0,05...0,90 % C), який піддають у подальшому холодній пластичній деформації на метизному переробі за схемою прямого волочіння.

**Результати досліджень і їх обговорення.** Розроблений ефективний спосіб, який дозволяє отримати різний комплекс властивостей бунтового прокату, полягає в можливості регульованого управління швидкістю повітряного охолодження металу після розкладки його витками на транспортер.

Незважаючи на те, що на сьогодні є численні способи охолодження бунтового прокату в потоці безперервних дрібносоротно-дротяних станів [13], одним із найпоширеніших у металургійній практиці є спосіб охолодження бунтового прокату, який зветься стелмор-процесом, а технологічна ділянка охолодження металу – лінією двостадійного водо-повітряного охолодження (рис. 1). У складі такої лінії прокат після виходу з чистої кліти дротяного блоку охолоджують водою спеціальними форсуночними пристроями, а після розкладки на витки повітряними потоками, які нагнітають дуттьовими вентиляторами знизу-вгору на транспортер [13 – 15].

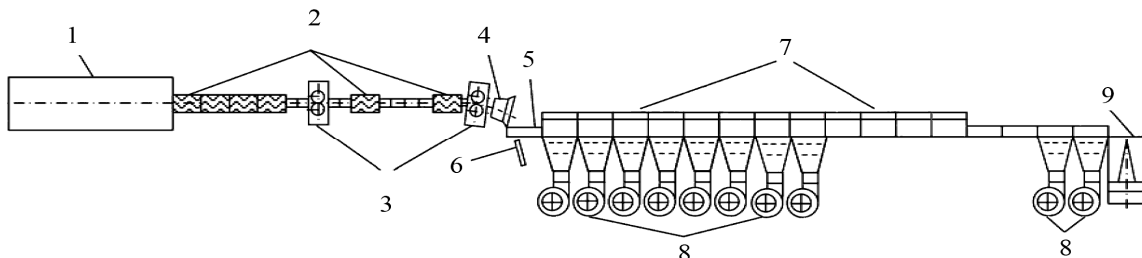


Рис. 1. Схема розташування основного обладнання на стадії водо-повітряного охолодження бунтового прокату:  
 1 – дротяний прокатний блок; 2 – ділянка водяного охолодження; 3 – трайбапарати; 4 – виткоутворювач; 5 – приймальний стіл витків прокату; 6 – пірометр; 7 – ділянка регульованого повітряного охолодження з роликівим транспортером і теплоізоляційними кришками; 8 – дуттьові повітряні вентиляторні системи; 9 – шахта виткозбірника

Із метою створення умов ефективного охолодження металу постійно вдосконалюють конструктивні особливості складу обладнання лінії «Стелмор». Наприклад, під час виробництва прокату з середньо- і високовуглецевих марок сталі використовують стандартний «короткий» «Стелмор», а для низьковуглецевих легованих, серед них і складнолегованих сталей зварювального призначення потрібен уповільнений режим охолодження, що обумовило створення лінії «довгий» «Стелмор», яка є ефективнішою й більш універсальною. Конструктивні особливості такої лінії дозволяють реалізовувати різноманітні режими повітряного охолодження бунтового прокату. Прискорене охолодження металу відбувається за рахунок подачі повітря на транспортер дуттьовими вентиляторами. За швидкостей охолодження не менше 15° С/с структура прокату з високовуглецевої сталі переважно складається зі сорбітовидного перліту й практично ідентична структурі металу,

який піддають додатковій термічній обробці – патентуванню. Однорідність розподілу структурних складників у поперечному перерізі сталей перлітного класу має особливо важливе значення в тому випадку, коли метал надалі піддають холодній пластичній деформації з високим ступенем [16].

Сорбітовидний перліт є найбільш сприятливою структурою під час виробництва високоміцних холоднодеформованих виробів із високим ступенем деформації. У зв'язку з безперервною модернізацією волочильного обладнання та вдосконаленням схем виробництва метизної продукції можливість отримання такої структури сталі стає все більш актуальною проблемою, розв'язання якої спрямовано на підвищення продуктивності й зниження матеріальних витрат, пов'язаних із проведенням попередньої або проміжної термічної обробки прокату перед початком або в процесі волочіння.

Гарячокатана сталь зі структурою сорбітовидного перліту поряд із вищими показниками міцності має також значний запас пластичності, що дозволяє під час волочіння не використовувати патентування й піддавати метал високим ступеням холодної пластичної деформації [17, 18].

На нашу думку, одним з найефективніших напрямків під час модернізації сучасних ліній охолодження «Стелмор» може бути не тільки задоволення потреб метизної галузі, а й орієнтування металургійних підприємств на створення власного метизного виробництва. Це забезпечить переробку ефективних видів бунтового прокату у високорентабельну метизну продукцію, яка має підвищену додану вартість за рахунок зниження енергетичних витрат. Яскравими прикладами, де успішно реалізовано така технологія, є металургійне підприємство ВАТ «БМЗ» (м. Жлобин) і ВАТ «БМК» (м. Белорецьк).

До високорентабельних видів метизної продукції традиційно відносять: зварювальний дріт, високоміцні арматурні канати, сталеві канати, холоднодеформовану арматуру, пружинний дріт, металокорд і високоміцне кріплення. Якщо говорити про гарячокатаний арматурний прокат у бунтах, то потреба в ньому на будівельному ринку має сезонний характер і такий вид продукції навряд чи можна віднести до ексклюзивного й високорентабельного через те, що останнім часом спостерігають тенденцію з виробництва арматури середнього класу міцності з підвищеною пластичністю, яку виготовляють способом холодної деформації в поєднанні зі знакозмінним вигином (ефект Баушингера) [19].

Виробництво якісних видів бунтового прокату для розглянутого сортаменту метизної продукції вимагає інноваційних підходів до режимів ДТО в потоці безперервних дрібносортно-дротяних станів, серед яких і до режимів повітряного охолодження металу на лінії «Стелмор» [20 – 22].

Одне із головних завдань під час модернізації лінії «короткий» «Стелмор» повинно полягати в можливості практичної реалізації регульованої швидкості повітряного охолодження металу з метою формування заданого комплексу якісних показників бунтового прокату. Для отримання оптимального поєднання структури і властивостей металу з високовуглецевої нелегованої сталі середня швидкість повітряного охолодження повинна бути не менше за  $15^{\circ}\text{C}/\text{с}$ , а з низьковуглецевої легованої сталі зварювального призначення – не більше  $0,3^{\circ}\text{C}/\text{с}$ , що в останньому випадку впливає на зменшення кількості бейніто-мартенситних ділянок і відповідно підвищує запас технологічної пластичності прокату під час волочіння.

За даними відомих світових компаній-виробників металургійного обладнання «Danieli», «SchloemanZimag», «MorganConstruction», довжина ділянки транспортера лінії «короткий» «Стелмор» від виткоутворювача до шахти виткозбірника не перевищує 70 метрів, а розмір ділянки, на якому відбувається переміщення витків металу під теплоізоляційними кришками, складає ~ 62 метри.

Ідеологія створення лінії «Стелмор» довжиною до 150 м з можливістю регульованого управління повітряними потоками під час охолодження металу, яку пропагувала компанія «Danieli» (DSC-процес), на практиці не знайшла масового використання через те, що металургійні підприємства не усвідомили безперечну важливість такого обладнання, а особливо його впливу на формування широкого спектру структур і властивостей прокату різноманітного призначення [23].

Щодо конструктивних особливостей ліній «Стелмор» металургійних підприємств України слід зазначити, що вони відповідають стандартній комплектації, а їх довжина становить не більше за 70 м. Ділянки повітряного охолодження оснащені малопотужними дутьовими вентиляторами, а соплові канали розподілу повітряних потоків по ширині роликового транспортера не забезпечують необхідного результату, що призводить до значного градієнту температур по довжині витка металу й відповідно призводить до структурної неоднорідності, а також істотного розкиду показників механічних властивостей гарячедеформованого бунтового прокату [24].

Швидкість охолодження витків металу з високовуглецевої сталі за підвищення діаметра прокату від 5,5 мм до 10,0...14,0 мм сповільнюється і є малоефективною. Це пов'язано з впливом масштабного фактору – зниженням фактичної швидкості охолодження металу. При виробництві прокату зварювального призначення додатковим негативним фактором може бути незадовільна герметизація секцій транспортера під теплоізоляційними кришками, що зумовлює підсмоктування внутрішньоцехового («холодного») повітря в термостатуючітунелі і підвищує фактичну швидкість охолодження металу [13].

Світові виробники металургійного обладнання пропонують під час модернізації ділянок повітряного охолодження лінії «Стелмор» виконувати заміну застарілих малопотужних дутьових вентиляторів (15...110 кВт) на сучасні вискоефективні системи повітряного охолодження потужністю не менше за 200 кВт з диференційованим розподілом повітряних потоків по ширині транспортера. Сьогодні є й альтернативні пропозиції вітчизняних виробників, так звані висконапорні блоки струминного охолодження (ВБСО) із більш низького цінового сегменту. Такі системи ВБСО через індивідуальні канали, розташовані в напірному коробі, можуть здійснювати подачу повітря на секції транспортера зі швидкістю до 100 м/с. Повітряні потоки під час охолодження витків прокату розподіляються диференційовано по ширині транспортера відповідно до визначеного алгоритму, завдяки чому досягається мінімальний температурний градієнт по довжині витка (рис. 2).

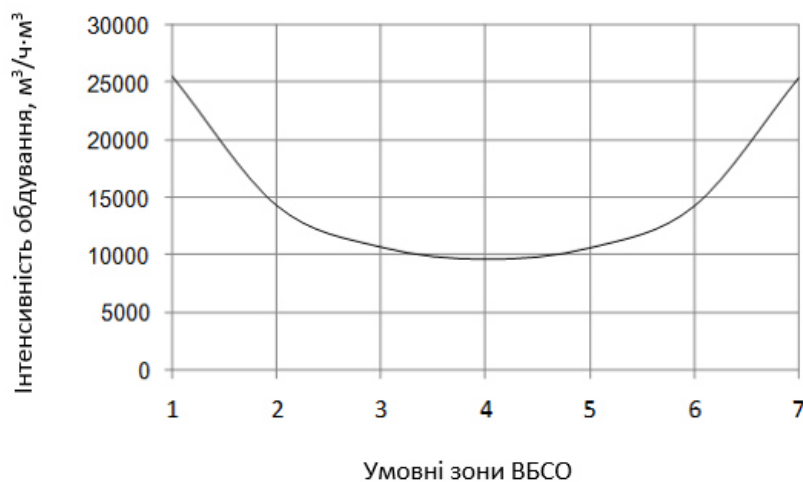


Рис. 2. Розподіл інтенсивності обдування витків прокату через соплову панель ВБСО: 1, 2, 6, 7 – бокові зони транспортера; 3, 4, 5 – центральна зона транспортера

Потужність систем ВБСО ідентична закордонним аналогам (рис. 3) і становить не менше за 200...220 кВт, проте їх вартість приблизно у 2,5...3 рази менше. Загальна кількість ВБСО на лінії «Стелмор» залежно від виробленого сортаменту прокату може варіюватися від 6 до 10 одиниць, а ККД їх роботи становить ~ 90 %, що можна пояснити відсутністю у ВБСО подвійного перетворення кінетичної енергії в потенційну – всмоктуваного повітря в направляючий короб, а потім – у кінетичну енергію під час виходу з нього.

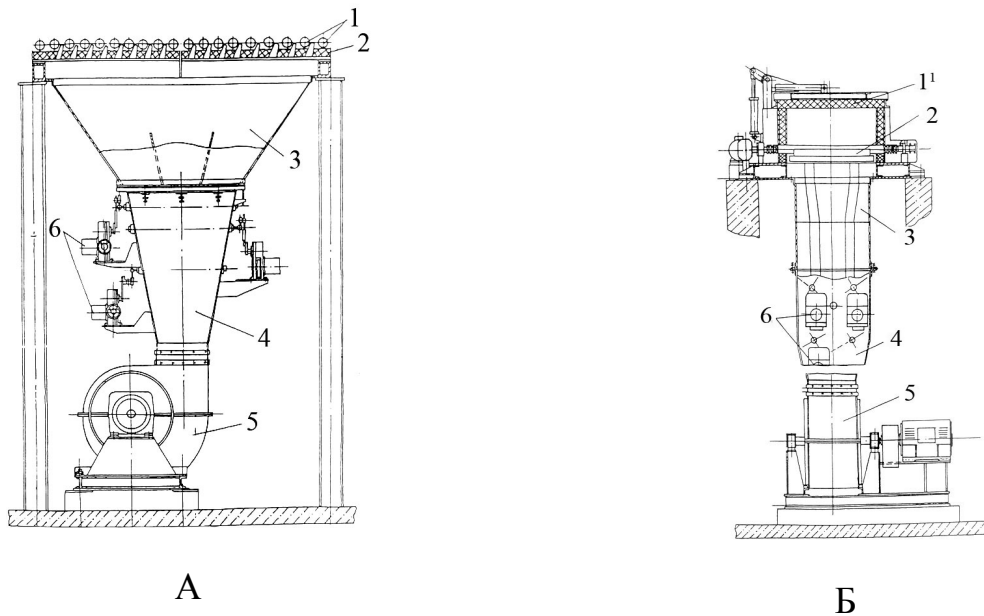


Рис. 3. Схематичне зображення ВБСО в умовах ВАТ «ММЗ» із підведенням повітря на роликівий транспортер лінії «Стелмор» за допомогою регульованого апарата: а – поздовжній переріз; б – поперечний переріз; 1 – роликівий транспортер; 1<sup>1</sup> – теплоізоляційна кришка; 2 – соплові канали; 3 – напірний короб; 4 – вихідний регульовальний апарат; 5 – дуттьовий вентилятор; 6 – виконавчий механізм

Досягнутий ефект реалізують за рахунок індивідуальних каналів, які подають повітря безпосередньо на транспортер без перетворення енергій і значних втрат первісної кінетичної енергії. Системи ВБСО встановлені і успішно себе зарекомендували на ВАТ «БМК» і ВАТ «ММЗ» (м. Рибниця).

Модернізована лінія двостадійного охолодження «Стелмор» довжиною 147 м у поєднанні з системою ВБСО на ВАТ «ММЗ» дозволила реалізувати режими регульованого охолодження витків прокату в інтервалі швидкостей 0,30...25° С/с залежно від хімічного складу сталі і профілерозмірів. Результати досягнуті на ВАТ «ММЗ» під час охолодження металу на лінії «Стелмор» такі:

- для бунтового прокату з високовуглецевої сталі діаметром 5,5...14,0 мм середня швидкість повітряного охолодження в інтервалі 27...15° С/с; кількість сорбітовидного перліту у структурі металу не менше за 80 %; можливий ступінь холодної пластичної деформації волочінням за схеми прямого волочіння з відносним обтисненням не менше за 90 %;

- для прокату з низьковуглецевої сталі зварювального призначення мінімально можлива швидкість охолодження 0,30° С/с, кількість бейніто-мартенситних ділянок у структурі металу зменшено з 50...45 % до 5...3 %, а сумарне відносне обтиснення за схеми прямого волочіння становить ~ 98 %.

Крім цього, модернізовані секції водяного охолодження, розташовані перед і за дротяним прокатним блоком, дозволили підвищити точність регулювання швидкості охолодження арматурного прокату і, як наслідок, поліпшити показники якості металу.

Попередні розрахунки показали, що для диференційованого повітряного охолодження прокату з високовуглецевої сталі діаметром 8,0...16,0 мм на лінії «Стелмор» зі швидкостями не менше за 15° С/с достатньою умовою є встановлення 8...10 одиниць ВБСО потужністю не менше 220 кВт, що забезпечить структурну однорідність металу як у поперечному, так і в поздовжньому перерізах металу.

Під час проведення лабораторного моделювання умов охолодження прокату з низьковуглецевої легованої сталі зварювального призначення, а також прокату для виробництва високоміцних кріпильних виробів методом холодного об'ємного штампування встановлено, що максимальна тривалість розпаду аустеніту в ізотермічних умовах становить не більше за 1000...1200 с. Це відповідає переміщенню витків металу на транспортері в інтервалі швидкостей 0,09...0,12 м/с (швидкість повітряного охолодження не більше за 0,3 °С/с). Реалізувати на практиці режим розпаду аустеніту сталі в ізотермічних умовах під теплоізоляційними кришками лінії «довгий» «Стелмор» можливо тільки в разі додаткового встановлення електричних підігрівачів і циркуляційних вентиляторів.

За використання в промислових умовах ізотермічної витримки прокату з високовуглецевої сталі в заданих температурно-часових інтервалах буде можливо реалізувати режим повітряного патентування металу, структура якого повністю складатиметься із сорбітовидного перліту. Це дозволить підвищити техніко-економічні показники під час виробництва холоднодеформованих виробів (високоміцні канати, арматура, пружини, металокорд). Попит на ринку зазначеної метизної продукції досить значний, а технологія яка запропонована, може забезпечити суттєвий відрив від конкурентів, насамперед, за рахунок зниження матеріальних витрат під час переробки бунтового прокату.

Для досягнення економічного ефекту й підвищення екологічної чистоти переробки прокату на метисному переробі модернізована лінія «Стелмор» повинна забезпечувати виконання таких умов: 1) можливість охолодження бунтового прокату в широкому діапазоні швидкостей охолодження; 2) формування окалини на поверхні металу, яка складається переважно з вюстита та видаляється повністю механічним способом [25].

За даними метизних підприємств України, під час переробки 1 тонни бунтового прокату з високо- та низьковуглецевих сталей, серед яких і зварювального призначення, витрати на проведення термічної обробки (патентування, відпал) складають ~ 700,00 грн./т. Вартість підготовки поверхні металу до волочіння під час використання хімічного способу (травлення в розчинах сірчаної або соляної кислот) значно вища і становить ~ 614,32 грн./т, на відміну від механічного способу (89,16 грн./т).

Економічний ефект від упровадження новітніх технологічних рішень можна розрахувати за мінімального споживання бунтового прокату найбільшими метизними підприємствами в річному обчисленні ~ 45 000 т, що, за даними сировинного ринку України, є цілком обґрунтованим показником.

Якщо прийняти, що гарячODEформований бунтовий прокат переробляють за схемою прямого холодного волочіння, а видалення поверхневої окалини виконують механічним способом, то річний економічний ефект можна розрахувати відповідно до виразу:

$$E_{\phi} = V \cdot P + V \cdot (X - M),$$

де  $E_{\phi}$  – очікуваний економічний ефект, грн;  $V$  – середньорічне споживання бунтового прокату, т;  $P$  – вартість проведення відпалу або патентування, грн;  $X, M$  – вартість хімічного і механічного способів підготовки поверхні прокату до волочіння відповідно, грн.

$$E_{\phi} = 45\,000 \cdot 700,00 + 45\,000 \cdot (614,32 - 89,16) = 55\,132\,200,00 \text{ грн.}$$

Очікуваний економічний ефект може бути розділений приблизно в рівних частках між металургійними і метизними підприємствами за рахунок зниження матеріальних витрат технологічного процесу останніх, а повернення капіталовкладень під час модернізації лінії «Стелмор» у цьому випадку може бути досягнуте в найкоротші терміни.

Необхідно зазначити, що окупність від упровадження нових промислових технологій визначає мінімальний період із повернення витрачених коштів і є одним з основних показників оцінки інвестиційної привабливості, які втілити в життя будь-яких бізнес-проектів.

Під час переробки бунтового прокату з підвищеними якісними показниками вдалося досягти ресурсозбереження, що обумовило економічний ефект. На методику розрахунку економічного ефекту не впливають амортизаційні відрахування й можливі різкі цінові коливання на сировинних ринках. Отримані дані свідчать про те, що запропоновані технічні рішення є доцільними, економічно вигідними й такими, які швидко окупаються.

Багаторічний досвід авторів цієї роботи, пов'язаний із промисловим упровадженням нових і вдосконаленням наявних режимів ДТО бунтового прокату різноманітного призначення, показав, що для досягнення найкращого поєднання структури і властивостей металу потрібне ефективне управління технологічним процесом на всіх етапах виробництва сталі, починаючи зі сталеплавильного переробу [18 – 20].

Завдяки удосконаленню (модернізації) конструктивних і технологічних недоліків роботи обладнання, задіяного під час виробництва гарячодіформованого металу, стане можливим контрольовано впливати на процеси структуроутворення в бунтовому прокаті різноманітного призначення.

**Висновки.** Наведено аналіз розвитку способів охолодження гарячодіформованого бунтового прокату в промислових умовах. Розглянуті конструктивні особливості та склад основного обладнання лінії «Стелмор», яку використовують на більшості металургійних підприємствах для охолодження бунтового прокату. Визначено ефективні шляхи вдосконалення режимів регульованого повітряного охолодження металу залежно від марочного сортаменту й подальшого його призначення. Промислово впроваджені раціональні режими охолодження бунтового прокату з підвищеними якісними показниками дозволили отримати відчутний економічний ефект під час переробки металу на метизному переробі. Показано, що головною перевагою охолодження витків прокату на лінії «довгий» «Стелмор» у поєднанні з сучасною високопотужною системою ВБСО є можливість контрольованого управління процесами структуроутворення в сталях у широкому діапазоні швидкостей повітряного охолодження.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Большаков В. И. Термическая обработка строительной стали повышенной прочности / В. И. Большаков, К. Ф. Стародубов, М. А. Гылкин. – М. : Металлургия, 1977. – 200 с.
2. Штремель М. А. Металловедческое обоснование совершенствования металлургической технологии. Перспективы качества стали / М. А. Штремель // Черная металлургия России и стран СНГ в XXI веке. – М. : Металлургия, 1994. – Т. 4. – С. 159 – 162.
3. Термомеханическая обработка проката из непрерывнолитой заготовки малого сечения / [В. В. Парусов, А. К. Белитченко, Н. А. Богданов и др.] – Запорожье : ЗГУ, 2000. – 142 с.
4. Бернштейн М. Л. Термомеханическая обработка стали / М. Л. Бернштейн, В. А. Займовский, Л. М. Капуткина. – М. : Металлургия, 1983. – 480 с.
5. Особенности структурообразования углеродистых и низколегированных сталей в процессе охлаждения слитка и непрерывнолитых заготовок / А. И. Бабаченко, Е. Г. Демина, А. В. Кныш [и др.] // Сб. науч. трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение». – 2015. – Вып. 81. – С. 37 – 44.
6. Непрерывный мелкосортно-проволочный стан Молдавского металлургического завода / Н. А. Богданов, В. В. Медведев [и др.] // Металлург. – 1988. – № 6. – С. 60 – 63.
7. Богданов Н. А. Совершенствование оборудования и технологии при производстве проката на мелкосортно-проволочном стане 320/150 Молдавского металлургического завода / Н. А. Богданов, А. Б.

- Сычков, А. Н. Савьюк // *Металлург.* – 1995. – № 1. – С. 27 – 28.
8. Садовский В. Д. Что такое ВТМО / В. Д. Садовский // *МИТОМ.* – 1983. – № 11. – С. 48 – 50.
9. Перспективный метод управления качеством металлопродукции / А. И. Бабаченко, О. Н. Перков, О. Г. Сидоренко // *Сб. науч. трудов «Фундаментальные и прикладные проблемы чёрной металлургии».* – 2016. – № 31. – С. 182 – 189.
10. Бернштейн М. Л. Структура деформированных металлов / М. Л. Бернштейн. – М. : Металлургия, 1977. – 431 с.
11. Бернштейн М. Л. Отпуск стали / М. Л. Бернштейн, Л. М. Капуткина, О. Д. Прокошкин. – М. : МИСИС, 1997. – 336 с.
12. Тушинский Л. И. Теория и технология упрочнения металлических сплавов / Л. И. Тушинский. – Новосибирск : Наука, 1990. – 306 с.
13. Эволюция условий охлаждения при деформационно-термической обработке бунтового проката в потоке технологических линий / Парусов Э. В., Сычков А. Б., Губенко С. И. [и др.] // XIII Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании», 05 июня – 08 июня 2017 г., Болгария, г. Варна: Материалы конференции. – 2017. – С. 122 – 129.
14. Обоснование параметров регулируемого охлаждения бунтового проката из высокоуглеродистой стали в потоке проволочного стана 320/150 ОАО «ММЗ» / Э. В. Парусов, А. Б. Сычков, С. И. Губенко [и др.] // *Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування.* – 2016. – № 2 (77). – С. 62 – 70.
15. Аналіз технологічних особливостей охолодження бунтового прокату на лінії Стелмор ВАТ «ММЗ» [Електронний ресурс] / Е. В. Парусов, О. Б. Сычков, С. І. Губенко, І. М. Чуйко // *Наукові праці ВНТУ.* – 2016. – № 3. – Режим доступу до журн. : <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/475/474>.
16. Об особенностях структурообразования в высокоуглеродистом бунтовом прокате / Э. В. Парусов, А. Б. Сычков, И. Н. Чуйко [та ін.] // *Вісник УМТ ім. І. М. Францевича.* – 2016. – № 9. – С. 88 – 97.
17. О повышении технологической пластичности при волочении бунтового проката из высокоуглеродистой стали без применения термической обработки / Э. В. Парусов, А. Б. Сычков, С. И. Губенко [и др.] // *Проблемы трибологии.* – 2016. – № 3. – С. 82 – 91.
18. Взаимосвязь предельной деформируемости бунтового проката при волочении с параметрами его микроструктуры / Э. В. Парусов, С. И. Губенко, В. А. Луценко [и др.] // *Литье и металлургия.* – 2016. – № 3 (84). – С. 75 – 81.
19. Мадатян С. А. Тенденции производства и потребления арматуры железобетонных конструкций / С. А. Мадатян // *Черметинформация, Бюллетень «Черная металлургия», 2009.* – № 6. – С. 22 – 24.
20. Парусов В. В. Прокат из борсодержащих сталей для высокопрочных крепежных изделий / Парусов В. В., Парусов О. В., Сычков А. Б. – Дн-ск. : «АРТ-ПРЕСС». – 2010. – 160 с.
21. Парусов В. В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки / Парусов В. В., Сычков А. Б., Парусов Э. В. – Дн-ск. : «АРТ-ПРЕСС». – 2012. – 376 с.
22. Металлургические и металловедческие аспекты производства высокоуглеродистой катанки / [А. Б. Сычков, М. А. Жигарев, А. Ю. Столяров и др.] – *Магн. гос. техн. универ. им. Г. И. Носова.* – 2014. – 257 с.
23. Математическое моделирование параметров охлаждения для обеспечения формирования эффективной микроструктуры бунтового проката / Э. В. Парусов, А. Б. Сычков, В. А. Луценко [и др.] // XII Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании». Технический университет, Варна 30 мая – 2 июня 2016 г. : Тезисы докл. – Варна, Болгария. – 2016. – С. 215 – 220.
24. Increasing the strength class of rolled steel made of high-carbon steel in the stream of continuous wire mill / E. V. Parusov, A. B. Sychkov, S. I. Gubenko [and others] // *Metallurgical and Mining Industry.* – 2017. – № 1. – P. 54 – 57.
25. Перспективы использования экологически чистого способа подготовки поверхности бунтового проката к волочению / Э. В. Парусов, А. Б. Сычков, С. И. Губенко [та ін.] // *Проблеми трибології.* – 2016. – № 2. – С. 74 – 82.

**Парусов Едуард Володимирович** – к. т. н., с. н. с., завідувач відділу термічної обробки металу для машинобудування, [tometal@ukr.net](mailto:tometal@ukr.net).

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України (ІЧМ НАНУ).

**Сичков Олександр Борисович** – д. т. н., проф., професор кафедри ливарного виробництва і матеріалознавства, [absyckov@mail.ru](mailto:absyckov@mail.ru).

Магнітогорський державний технічний університет ім. Г. І. Носова (МДТУ).



**Губенко Світлана Іванівна** – д. т. н., проф., професор кафедри матеріалознавства, sigubenko@gmail.com.

Національна металургійна академія України (НМетАУ).

**Малашкін Сергій Олегович** – аспірант кафедри технології металургії і ливарних процесів, shtirlic21999@mail.ru.

Магнітогорський державний технічний університет ім. Г. І. Носова (МДТУ).

**Сагура Людмила Володимирівна** – к. т. н., старший науковий співробітник відділу термічної обробки металу для машинобудування, slv\_metal@ukr.net.

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України (ІЧМ НАНУ).