

УДК 628.16:621.981.3

**О. І. ТРИШЕВСЬКИЙ**, докт. техн. наук, проф., ХНТУСГ ім. П. Василенко, Харків;  
**М. В. САЛТАВЕЦЬ**, інженер, ХНТУСГ ім. П. Василенко, Харків;  
**С. М. БОНДАРЕНКО**, студент, ХНТУСГ ім. П. Василенко, Харків

## АНАЛІЗ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ВАЛКІВ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ СМУГИ ПРИ ІСНУЮЧИХ ТА ПЕРСПЕКТИВНИХ СХЕМАХ ЇХ ОХОЛОДЖЕННЯ

Викладено результати теоретичних досліджень теплового стану робочих валків при гарячій прокатці листа на прикладі чистої кліти стана 2250 Алчевського металургійного комбінату. Дано рекомендації щодо застосування ефективних схем охолодження валків.

**Ключові слова:** гаряча прокатка, математична модель, тепловий стан валка, системи примусового охолодження.

**Вступ.** При великій різноманітності конструктивних схем як сучасних ливарно-прокатних агрегатів, так і звичайних станів гарячої прокатки в технологічному циклі прокатки існує ряд характерних ділянок, на яких відбуваються істотні теплообмінні процеси в системі навколишнє середовище-смуго-валок [1]. З цих ділянок найбільш важливими та такими, що надають істотний вплив як на якість смуги, що прокочується, так і на енергетичні, а, відповідно, і на економічні показники процесу прокатки, є ділянки осередку деформації, де відбувається безпосередній контакт смуги, що прокочується, з валками.

**Аналіз останніх досліджень та літератури.** У роботах [1, 2] були запропоновані математичні моделі теплового стану металу смуги і валків при прокатці листа. Враховуючи, що будь-які експериментальні дослідження в умовах високопродуктивних промислових прокатних станів утруднені, а для деяких варіантів технологій прокатки прокатне устаткування (стати V покоління) взагалі відсутні, єдиним варіантом перевірки даних, отриманих на підставі розроблених математичних моделей, є порівняння частини теоретичних досліджень з даними експериментальних досліджень, отриманих раніше на станах попередніх поколінь.

**Мета досліджень, постановка проблеми.** З урахуванням зазначеного метою даного дослідження є теоретичне визначення на основі раніше розроблених моделей теплового стану валків листових станів гарячої прокатки при різних існуючих і пропонує перспективних схемах їх охолодження а також виявлення найбільш ефективного для стабілізації теплового стану металу по перетину валків способу подачі охолоджуючої води.

**Матеріали досліджень.** Відомо, що тепловий стан валків залежить від обраних схем їх охолодження. На рис. 1 наведені існуючі схеми охолодження робочих валків листових станів.

При двосторонньої схемі подачі води на валок (рис. 1. б) між двома зонами примусового охолодження існує ще одна проміжна зона вирівнювання температури.

Необхідно відзначити, що вода, яка потрапляє від валків на поверхню листа при двосторонньої схемі подачі води, охолоджує поверхню смуги перед входом в зону деформації і на виході із зони деформації. Падіння температури поверхні смуги перед входом в зону деформації під впливом охолоджуючої валок води, становить від 2 до 10 °С в залежності від товщини окалини, що екранує смугу від охолодження. Крім того, коефіцієнт тепловіддачі до води, що знаходиться на паровій подушці, незначний [3]. До того ж, час контакту води з металом, внаслідок високої швидкості прокатки, також незначний.

Вода, що потрапляє на поверхню листа після виходу смуги із зони деформації, також знаходиться на паровій подушці. Безпосередній контакт між водою та металом – відсутній. Теплообмін на цій ділянці здійснюється через прошарок пара.

© О. І. Тришевський, М. В. Салтавець, С. М. Бондаренко, 2012

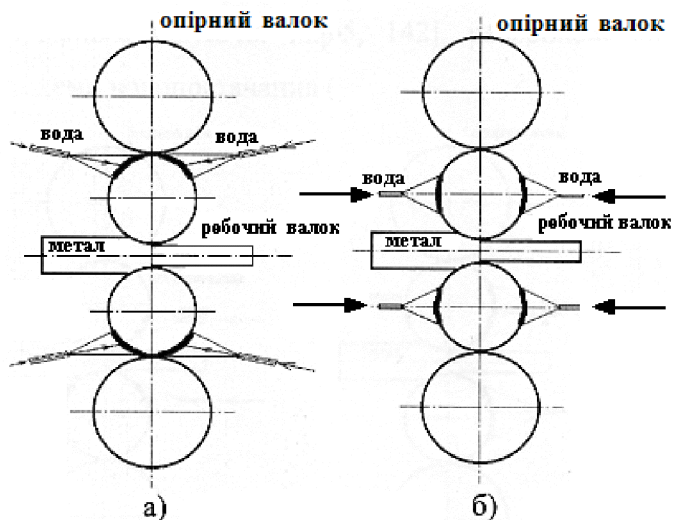


Рис. 1 – Існуючі схеми охолодження робочих валків листових станів гарячої прокатки: а) з подачею води з боку протилежного зоні деформації; б) з подачею води з двох сторін (двостороння).

З урахуванням існуючої інформації [4], розроблені перспективна і економічна схеми подачі води (рис. 2).

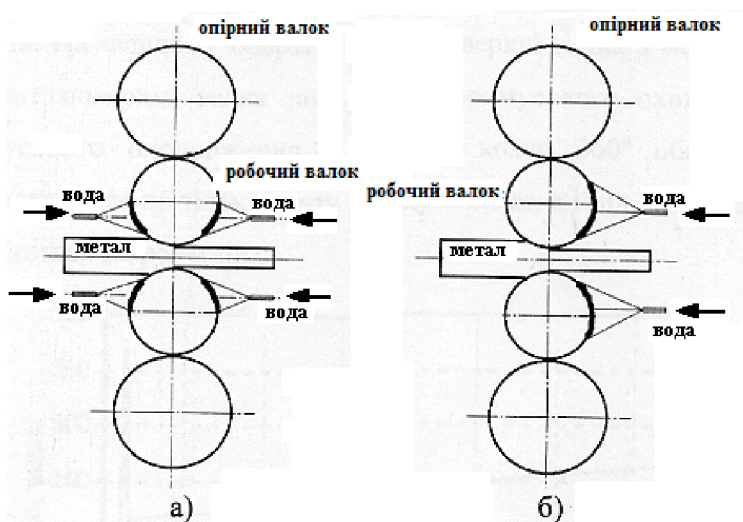


Рис. 2 – Розроблені схеми охолодження робочих валків: а) перспективна; б) економічна.

Перспективна схема (рис. 2. а) розроблена для листових станів і відрізняється тим, що сектор подачі води зміщений в зону деформації смуги. Передбачається застосування перспективної схеми охолодження валків листових станів у клітках реверсивного типу.

Економічна схема охолодження робочих валків (рис. 2. б), розроблена для застосування в безперервних групах листових станів і відрізняється від перспективної місцеположенням пристроїв подачі води. Вона може бути використана, на реверсивних клітках, якщо буде можливість здійснювати реверс подачі води на охолодження одночасно з реверсом валків.

Принциповий вибір схеми охолодження може бути зроблений на основі аналізу теплового стану валка при різних схемах подачі на нього води.

На основі раніше розроблених математичних моделей теплового стану виконані обчислення теплового стану валків при різних умовах охолодження. Довжина зон примусового охолодження для перших трьох схем – однакова. Довжина зони примусового охоло-

дження при економічній схемі подачі води на валки зменшена на 25%. При обчисленнях зниженням температури поверхні валка за рахунок теплообміну з повітрям – нехтували, так як коефіцієнт тепловіддачі в повітря дуже низький і становить всього  $10-15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{град})$ .

На рис. 3 представлені результати обчислення теплового стану валка за один цикл (а не за один оборот) при традиційній (рис. 1.а) схемі подачі води. Всі дослідження виконані для випадку прокатки заготовки листа  $5 \times 2000 \times 11000$  зі сталі Ст.3 в чистовій клітці стана 2250 Алчевського металургійного комбінату, оскільки на цьому стані з метою з'ясування причин поломок валків був виконаний комплекс досліджень і отримано великий обсяг експериментальних даних [5].

За один цикл прокатки на реверсивному стані валок встигає зробити кілька оборотів. На першому обороті відбувається контакт поверхні валка з металом. Після цього елемент поверхні валка потрапляє в зону примусового охолодження. Початок примусового охолодження здійснюється кожні  $360^\circ$  оборотів валка. Валок охолоджується не тільки відразу після проходження смуги, але і під час циклу, коли смуга знаходиться на рольгангу.

Математична модель [2] дозволяє обчислювати температуру по глибині валка з кроком через кожні  $0,001 \text{ мм}$  і менше. Але при цьому залежності, що описують тепловий стан внутрішніх шарів валка, при графічному відображенні будуть зливатися. Тому для зручності зображення температурного поля валка обрані: поверхня, і шари, що знаходяться від неї на відстані  $1,8 \text{ мм}$ ,  $2,2 \text{ мм}$  і  $3,8 \text{ мм}$  відповідно.

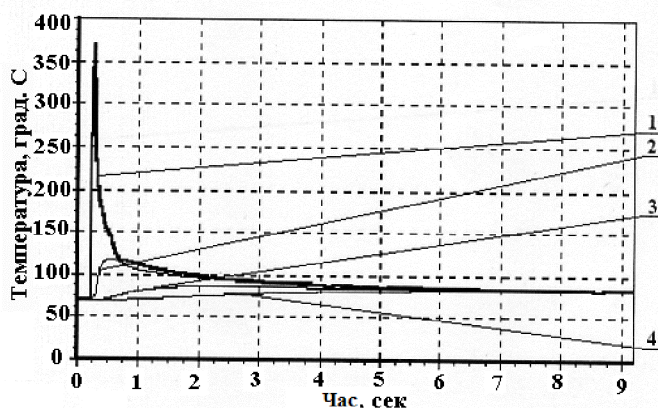


Рис. 3 – Температурне поле валка за один цикл.

1 – поверхня; 2 – відстань від поверхні  $1,8 \text{ мм}$ ; 3 – відстань від поверхні  $2,2 \text{ мм}$ ;  
4 – відстань від поверхні  $3,8 \text{ мм}$ .

У разі подачі води з боку протилежної зоні деформації (рис.1а) зона охолодження практично одна (струменя води подаються на поверхню валка з двох сторін практично до лінії контакту з опорним валком). При цьому чергування зон теплообміну за один оборот наступне: – теплообмін з навколишнім середовищем; – зона примусового охолодження; – теплообмін з навколишнім середовищем.

Результати розрахунку теплового стану валка при двосторонній подачі води (Рис.1 б) дають аналогічні наведеним на рис. 3 для традиційної схеми охолодження результати.

При використанні схеми охолодження з двох сторін, зони теплообміну поверхні валка чергуються в такій послідовності: – теплообмін з навколишнім середовищем; – зона примусового охолодження; – теплообмін з навколишнім середовищем; – зона примусового охолодження; – теплообмін з навколишнім середовищем.

Результати математичного моделювання теплового стану валка при подачі води з боку протилежної зоні деформації і двосторонньої подачі води на валок (рис. 3) показують, що в обох випадках відсутня стабілізація теплового стану валка – його температура

росте на 11-12 °С за один цикл.

Результати обчислення теплового стану валка при перспективній схемі подачі води представлені на рис. 4.

При використанні перспективної схеми подачі води на валок зростання температури за один цикл зменшується вдвічі і становить 5-6 °С. При цьому було прийнято, що інтенсивність охолодження при всіх трьох розглянутих вище схемах – однакова.

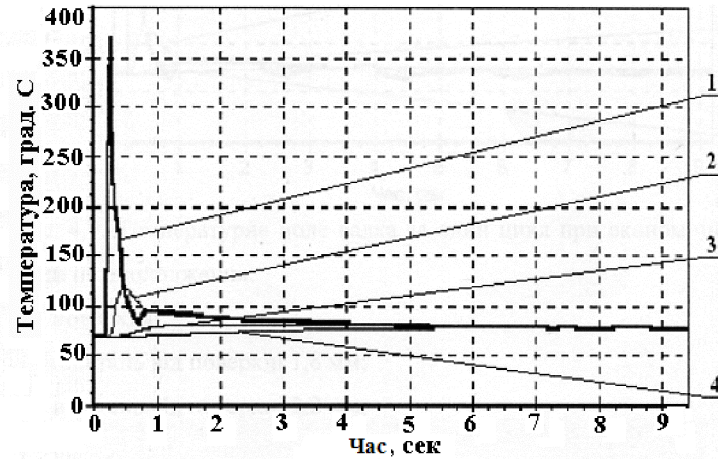


Рис. 4 – Температурне поле валка за один цикл при перспективній схемі подачі води на охолодження: 1 – поверхня; 2 – відстань від поверхні 1,8 мм; 3 – відстань від поверхні 2,2 мм; 4 – відстань від поверхні 3,8 мм.

Найбільший інтерес представляють результати математичного моделювання теплового стану валка при економічному способі подачі води на валок (рис. 5).

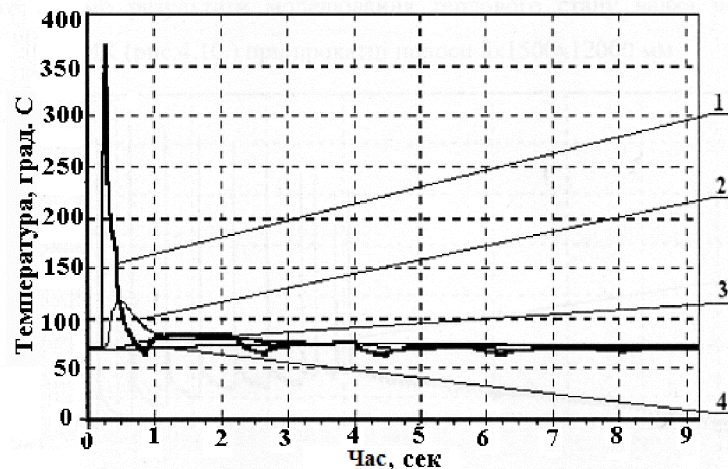


Рис. 5 – Теплове поле валка за один цикл при економічній схемі подачі води для охолодження. 1 – поверхня, 2 – відстань від поверхні 1,8 мм 3 – відстань від поверхні 2,2 мм; 4 – відстань від поверхні 3,8 мм.

Істотна відмінність економічного способу подачі води в тому, що стабілізація температурного поля валка забезпечується при зменшенні на 25% (рис. 2.б) довжини зони примусового охолодження. Завдяки цьому, з'являється можливість зменшити кількість води на охолодження. Стійкість валків за рахунок стабілізації теплового стану за даними Маріупольського металургійного комбінату ім. Ілліча підвищується на 10%. Фактичну кількість води, необхідної для забезпечення стабілізації температурного поля валка і її кількість, що економиться, можна буде встановити після проведення експериментальних досліджень процесу охолодження. Найістотнішим при розробці систем охолодження про-



катних валків є те, що запропоновані схеми (перспективна і економічна) можуть бути використані при проектуванні швидкісних безперервних станів гарячої прокатки п'ятого покоління. Тепловий стан валка може бути однозначно встановлений, якщо достовірно відома температура смуги, яка контактує з валками.

Розглянемо результати моделювання теплового стану валка чорнової кліті стану 2250 Алчевського металургійного комбінату (рис. 6.) при прокатці смуги 8x1500x12000 мм.

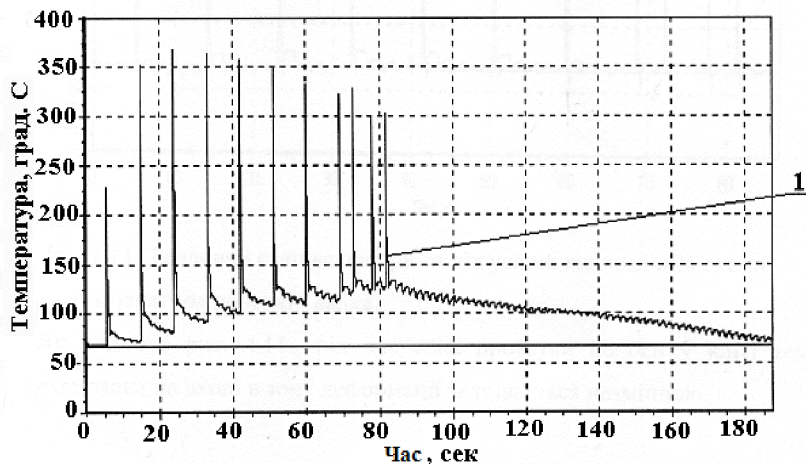


Рис. 6 –Теплове поле валка чорнової кліті стану 2250 АМК :1-температура поверхні валка.

Як видно з рис. 6, існуюча система охолодження валка (з подачею води з боку протилежної зони деформації (рис.1.а) не забезпечує стабілізації його температурного поля на протязі прокатки одного сляба (80 с). Внаслідок цього після закінчення прокатки сляба в цій кліті необхідно мати час для охолодження валка до постійної температури 70 ° С (протягом ще 100 с).

Використання розробленої економічною схемою подачі води (за умови можливості реверсу її подачі) дозволяє стабілізувати тепловий стан валка протягом прокатки одного сляба – 80 с (рис. 7).

Як видно з рис. 7, за час всієї прокатки смуги в кліті температура поверхні валка на вході в зону деформації залишається незмінною.

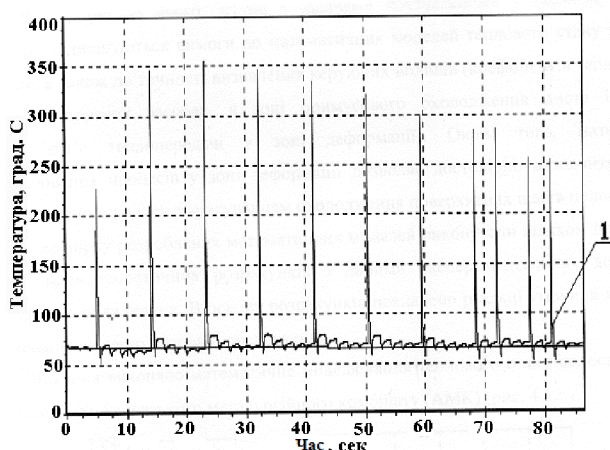


Рис. 7 – Теплове поле валка при використанні економічної схеми:  
1 – температура поверхні валка.

**Висновки.** 1. На основі математичного моделювання процесів теплообміну валків з металом і навколишнім середовищем досліджені різні схеми їх охолодження. Встановлено, що існуючі схеми охолодження валків не забезпечують стабілізації їх теплового стану протягом одного циклу.

2. На основі математичного моделювання запропоновані схеми охолодження валків, які можуть забезпечити стабілізацію теплового стану валків у реверсивних клітках і в неперервних групах клітей – перспективну і економічну. Завдяки цьому час прокатки сляба, скорочується з 180с. до 80с.

**Список літератури.** 1. *Тришевский О. И., Салтавец Н. В.* Разработка математической модели теплового состояния полосы при прокатке // «Сталь». 2009. №2. С.42 – 46. 2. *Тришевский О. И., Салтавец Н. В.* Разработка математической модели теплового состояния валков при прокатке // «Сталь». 2011. № 12. С. 22 -26. 3. *Крейд Ф., Блэк У.* Основы теплопередачи. Пер. с англ.– М.: Мир, 1983.–512 с. 4. *Stevens P. G., Ivens K. P., Harper P.* Increasing work-roll by improved roll-cooling practice // Journal of the Iron Steel Institute. – 1971. – №1. – Р. 3-13. 5. Экспериментальное исследование усилий прокатки в чистой клетке стана 2250. Комитет промышленной политики Украины. ОАО Алчевский металлургический комбинат, ЧК НКП «Аверс», УкрНИИМет. Харьков, 2000, 39 с.

Надійшла до редколегії 20.09.2012

УДК 628.16:621.981.3

**Аналіз теплового стану валків гарячої прокатки смуги при існуючих та перспективних схемах їх охолодження/ Тришевський О. І., Салтавець М. В., Бондаренко С. М.// Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2012. – №47(953). – С. 199–204. – Библиогр.: 5 назв.**

Приведены результаты теоретических исследований теплового состояния валков для горячей прокатки листа на примере чистой клетки стана 2250 Алчевского металлургического комбината. Даны рекомендации по применению эффективных схем охлаждения валков.

**Ключевые слова:** горячая прокатка, математическая модель, тепловое состояние валка, системы принудительного охлаждения.

The results of theoretical investigations of the thermal state of the rolls for hot-rollers on the example sheet finishing mill stand 2250 Alchevsk Steel plant. Recommendations for the use of effective schemes of cooling rolls.

**Keywords:** hot rolling, the mathematical model, the thermal state of the roll, the system of forced cooling.

УДК 621.771

**А. Н. ТУМКО**, канд. техн. наук, зам. начальника ЦЗЛ по передельному производству, ПАО «Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь» им. А.Н. Кузьмина», Запорожье

**О. А. ЯРОШЕНКО**, начальник передельного производства – главный прокатчик, ПАО «Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь» им. А.Н. Кузьмина», Запорожье

**Ф. А. ГОЛУБИЦКИЙ**, старший калибровщик ПАО «Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь» им. А.Н. Кузьмина», Запорожье

**А. В. ЖУПАНЕНКО**, калибровщик ПАО «Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь» им. А.Н. Кузьмина», Запорожье

**Я. И. СПЕКТОР**, канд. техн. наук, зав. лабораторией физического металловедения ГП «УкрНИИ Спецсталь», Запорожье

### **РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОКАТА ДИАМЕТРОМ 40–75 ММ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ПАО «ДНЕПРОСПЕЦСТАЛЬ»**

В условиях ПАО «Днепроспецсталь» на станах 550 и 325 разработаны и внедрены технологии прокатки никелевых жаропрочных сплавов на прутки диаметром 40–75 мм, что позволило производить прокат ЖПС в непрерывном размерном сортаменте диаметром от 20 до 75 мм. Прокатка кругов диаметром 40 и 42 мм стала возможна на стане 325 за счёт замены квадратного калибра специальным ребровым калибром, который обеспечил необходимую устойчивость прокатываемой в нём овальной полосы и получение прямоугольного профиля для последующей прокатки в предчистовом овальном калибре. Усилия прокатки в предчистовом проходе уменьшены в 2–3 раза. Проведены исследования реологических свойств сплавов ЭИ893-ВД и ЭИ435 на торсионном пластометре.

© А. Н. Тумко, О. А. Ярошенко, Ф. А. Голубицкий, А. В. Жупаненко, Я. И. Спектор, 2012