

**И.Ю. Приходько<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., зав. отделом, e-mail: isi@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5651-8106>

**С.А. Воробей<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, ст. науч. сотр., ст. науч. сотр., e-mail: vso54@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-0119-3935>

**С.В. Мацко<sup>2</sup>**, начальник цеха горячей прокатки тонкого листа, e-mail: sergey.matsko@zaporizhstal.com

**В.С. Панченко<sup>2</sup>**, начальник отдела по горячему прокату Дирекции по технологии и качеству Технического управления, e-mail: v.st.panchenko@zaporizhstal.com

<sup>1</sup>Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины (Днепр, Украина)

<sup>2</sup>ПАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» (Запорожье, Украина)

## Повышение эффективности системы охлаждения валков широкополосного стана горячей прокатки (ШСГП) 1680

---

*Проведено обследование системы охлаждения рабочих валков чистой группы клетей широкополосного стана горячей прокатки (ШСГП) 1680. Показано, что температура валков после прокатки полос составляет 40–80 °С. При этом максимальные значения температуры (65–80 °С) наблюдаются в первых трех клетях чистой группы. Определены размеры зон охлаждения валков водой (19–38° для однорядных коллекторов и 58–90° для двухрядных) и их расположение по окружности валков всех клетей чистой группы, а также расстояния от форсунок до поверхности валков (200–350 мм при номинальном 200 мм). Установлены особенности распределения температур верхних и нижних валков по клетям чистой группы и по длине бочки валков во взаимосвязи с режимами прокатки полос и условиями подачи охладителя на поверхность валков. Определено, что увеличение погонной силы прокатки (на метр ширины полосы) от 5 до 15 МН/м повышает температуру валков на 20–25 °С. Методами математического моделирования оценена возможность снижения температуры валков за счет модернизации системы их охлаждения, в частности: корректировка углов наклона форсунок в коллекторах – на 2 °С; замена однорядных коллекторов со стороны входа в клеть на двухрядные без изменения расхода воды – на 4 °С; увеличение расхода воды в одной клетке на 50 м<sup>3</sup>/ч – на 2-4 °С; увеличение давления воды на 1 атм. – на 1-3 °С; применение подсуживания поверхности полос перед входом в очаг деформации дополнительным объемом воды – на 4 °С. Для малозатратного повышения эффективности охлаждения валков предложено в первых трех клетях заменить однорядные коллекторы охлаждения со стороны входа в клетки на двухрядные с сохранением общего расхода воды за счет подбора типа форсунок. Экспериментальное среднее снижение температуры валков составило не менее 4 °С. Эффективность модернизации подтверждена уменьшением фактического удельного расхода валков и увеличением средней удельной наработки вала.*

**Ключевые слова:** температура рабочих валков, параметры прокатки полос, модернизация системы охлаждения.

**В** последние годы, в связи с возрастающими требованиями к качеству горячекатаных полос, повышением интенсивности производства, усложнением сортамента, появлением новых материалов и конструкций валков, все большее внимание уделяется оптимизации температурных режимов их эксплуатации [1–3].

Увеличение количества воды для охлаждения валков, как правило, не позволяет коренным образом повысить эффективность работы системы без увеличения давления и рациональной ее подачи на поверхность по окружности валков. Поэтому особое внимание уделяется разработке эффективных способов отвода тепла, в частности, организации эффективной подачи охладителя на поверхность

валков, повышению давления в коллекторах, снижению и стабилизации температуры воды. Возрождаются на новом техническом уровне системы подачи технологической смазки на валки и подсуживания поверхности полосы на входе в очаг деформации (так называемая система антишелушения). При выборе варианта модернизации системы охлаждения валков на действующих станах важно определить наиболее эффективные технические решения, учитывающие сортамент прокатываемых полос, технологические режимы прокатки и параметры основного оборудования стана. Важными вопросами при этом являются определение рационального распределения охладителя по клетям чистой группы, по зонам окружности валков, по длине бочки.

**Цель настоящей работы** – выявить недостатки существующей системы охлаждения рабочих валков клетей чистовой группы ШСГП 1680 ПАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь» и разработать возможные варианты повышения ее эффективности.

**Методика проведения исследований** основана на разработанной ранее в Институте черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины методологии научно-технического аудита системы охлаждения валков широкополосного стана горячей прокатки [4] и включает следующие основные этапы:

- сбор информации о параметрах существующей системы подачи охладителя, в том числе: общий расход охладителя и расход по клетям, температура и давление в подводящей магистрали, качество охладителя;

- сбор информации о конфигурации системы охлаждения в каждой клетке, параметрах коллекторов, их расположении относительно валков, количестве и типах форсунок, включая их напорно-расходные характеристики, давление в коллекторах;

- анализ существующего и перспективного сортамента стана с позиций влияния на температурный режим эксплуатации валков;

- сбор данных о параметрах прокатки полос, включая режимы деформаций, температурный, скоростной режим прокатки, энергосиловые параметры;

- определение фактической схемы подачи охладителя на валки, состояния форсунок;

- экспериментальные исследования температурного режима эксплуатации валков в зависимости от технологических параметров прокатки полос, цикла прокатки, фактических параметров системы охлаждения валков;

- адаптация математических моделей температурного режима эксплуатации валков;

- разработка, анализ и оценка с помощью математических моделей возможных решений по повышению эффективности системы охлаждения валков;

- экспериментальная проверка разработанных решений и определение фактической их эффективности<sup>1</sup>.

Используемые математические модели, разработанные Институтом черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины и ООО «Металлтехно-маш», подробно приведены в работах [5, 6].

**Основные результаты.** На стане 1680 прокатывают полосы толщиной от 1,5 до 10 мм, шириной от 860 до 1520 мм, массой до 16,5 т, в основном, из низкоуглеродистых сталей. Чистовая группа включает шесть клетей кварто (№ 5–10) с диаметром рабочих валков 585–620 мм. Особенности стана 1680 – применение прямой прокатки слябов (со слябинга без подогрева в печах перед станом) и использование промежуточного перемоточного устройства (ППУ) коилбокс перед чистовой группой клетей. Применение ППУ приводит к тому, что в чистовую группу раскат задается задним концом вперед, а верхняя и нижняя стороны раската меняются местами. Практически устраняется системный температурный клин по дли-

не раскатов на входе в чистовую группу и прокатанных полос.

Как показывают наши исследования, при близких параметрах охлаждения верхних и нижних валков чистовой группы клетей на ШСГП, не оснащенных ППУ, температура нижних валков, как правило, на 2–5 °С больше, чем верхних. На станах с ППУ, наоборот, температура верхних валков больше, чем нижних.

Толщина раскатов перед чистовой группой – от 19 до 25 мм. Максимальная скорость прокатки полос – 8–8,5 м/с.

Основные параметры системы охлаждения рабочих валков чистовой группы следующие (подача воды на опорные валки не производится):

- общий расход воды – до 4200 м<sup>3</sup>/ч;

- температура охлаждающей воды – 21–30 °С;

- давление воды в подводящей магистрали перед раздвоением для подачи в группу клетей № 5–7 (Ø 600 мм) и 8–10 (Ø 500 мм) составляет 6–6,6 атм.

Количество рядов форсунок: в клетях № 5–10: на входе – один, на выходе – два; в клетях № 10 установлен дополнительный однорядный коллектор сверху на выходе, который может открываться вальцовщиком при необходимости для воздействия на плоскостность полос. Количество форсунок в коллекторах без учета дополнительного коллектора в клетях № 10 приведено в табл. 1.

В системе охлаждения валков (СОВ) используется два типа форсунок фирмы Лехлер – модели 665.124.17 со стороны входа каждой клетки (99,6 л/мин при давлении 5 атм.) и 665.204.17 со стороны выхода каждой клетки (158 л/мин при 5 атм.). Номинальный угол раскрытия факела 60°, фактический угол 68,43° на расстоянии от сопла форсунки 250 мм. Фактическое соотношение сторон раскрытия факела (5–8):1.

Углы наклона плоскости факелов форсунок к оси коллекторов в однорядных коллекторах клетей № 5, 6, 9, 10 – 35°, № 7, 8 – 30°. Углы наклона плоскости факелов форсунок к оси коллекторов в двухрядных коллекторах клетей № 5, 6 – 45°, № 7 – 50°, № 8, 9, 10 – 40°.

Соотношение расхода воды на верхние и нижние валки 50/50 %, со стороны входа и выхода – 25/75 % (без учета дополнительного коллектора клетки № 10).

Измеренное распределение расхода воды на охлаждение рабочих валков по клетям № 5–10 составило, соответственно: 700–745; 756–803; 737–778; 689–727; 626–659; 467–511 м<sup>3</sup>/ч. Измеренные величины давления в коллекторах охлаждения рабочих валков составили от 4,0 до 6,2 атм.

Изготовление коллекторов охлаждения весьма точное, разориентация форсунок минимальна. Параллельность коллекторов валкам высокая. Конфигурация (шаг, углы наклона, расстояния между рядами и сдвиг форсунок в рядах двухрядных коллекторов) приемлемы и обеспечивают равномерность погонного расхода охладителя в пределах 5 %. В то же время начало зоны охлаждения на поверхности валков со стороны выхода из клетки существенно удалено от очага деформации.

<sup>1</sup> – при участии Мудрицкого С.А., Линкевича В.Е., Кириллова Д.М., Литвишкова И.В.

Количество форсунок в коллекторах

Расположение коллектора	Количество форсунок в коллекторе по клетям					
	5	6	7	8	9	10
Вход верх	16	16	14	14	12	11
Вход низ	16	16	14	14	11	11
Выход верх	31	31	27	27	21	21
Выход низ	31	31	27	27	21	21
Всего форсунок	94	94	82	82	65	64

Состояние загрязненности форсунок в ходе обследования свидетельствует об удовлетворительном состоянии фильтров, которые установлены перед насосами. По всей чистой группе были обнаружены всего лишь 5 форсунок с признаками перекрытия проходного отверстия металлическими или неметаллическими частицами.

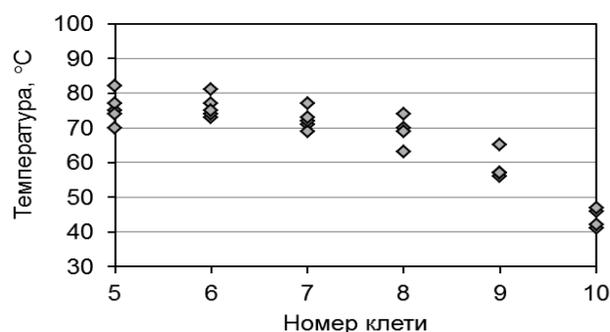
Результаты замеров температуры валков, выполненных непосредственно после их вывалки (после прокатки полос толщиной 1,9–3,2 мм), показаны на рис. 1. Температура охлаждающей воды 21–23 °С.

Измерения температуры валков показали, что в пятой клетке разброс температуры между верхним и нижним рабочим валком составлял 3–6 °С, причем более высокая температура в разных случаях была зафиксирована как на верхнем, так и на нижнем вал-

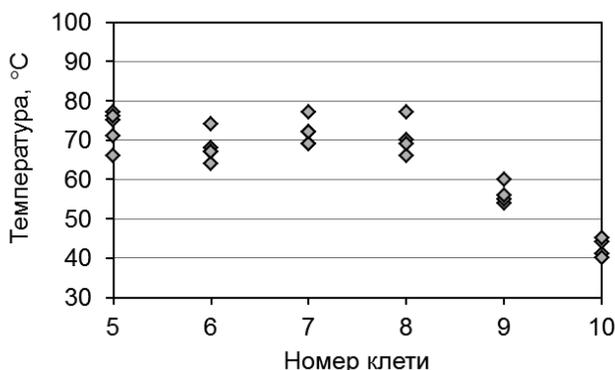
ках. В шестой клетке температура верхнего рабочего валка по всем результатам измерения была выше, чем температура нижнего валка на 4–10 °С. В седьмой клетке разность температур минимальна. В восьмой клетке нижние валки горячее верхних до 3 °С. В девятой клетке температура верхнего валка была выше на 2–5 °С. В десятой клетке верхние валки горячее нижних примерно на 2 °С.

Такое соотношение температур верхних и нижних валков клеток № 8–10 является одной из причин их различного износа – величины максимального износа составили (мм; верх/низ): клетка № 8 – 0,184/0,086; клетка № 9 – 0,12/0,05; клетка № 10 – 0,082/0,027.

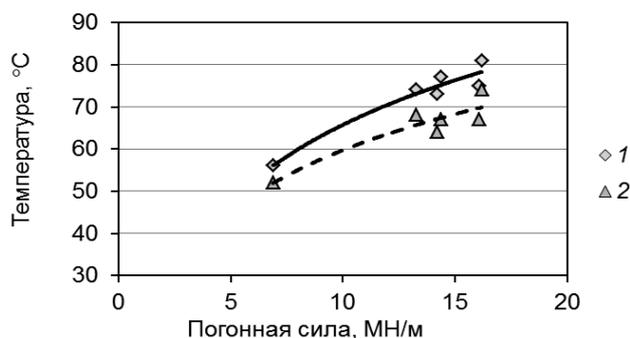
Температура валков на участках, соответствующих прокатке прикромочных участков полос, различается со стороны привода и обслуживания на



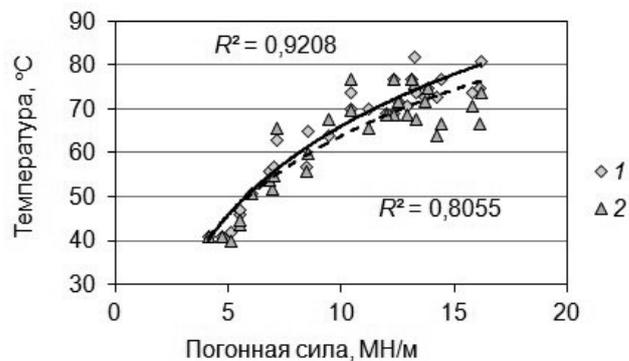
Верхние валки



Нижние валки



а



б

Рис. 1. Измеренная температура валков по клетям чистой группы

Рис. 2. Влияние погонной силы прокатки на температуру верхних (1) и нижних (2) валков клетки № 6 (а) и всех клеток чистой группы (б)

1–11 °С. При этом более высокая температура валков наблюдается в различных случаях как с приводной стороны, так и со стороны обслуживания.

Имеют место локальные (на длине до 200 мм) перепады температуры (до 8–9 °С) по длине бочки верхнего и нижнего рабочих валков пятой клетки. Это может вызывать локальную неравномерность их износа (по нашим оценкам 10–20 мкм) в соответствующем месте.

Сопоставительный анализ температур валков и параметров прокатки показал значительное влияние расчетной погонной (на метр ширины полосы) силы прокатки (фактическая сила прокатки на стане не измеряется). Результаты представлены на рис. 2.

Проведенные измерения износа рабочих валков показали, что имеет место закономерность повышенного износа верхних рабочих валков со стороны завалки. Поскольку температурные поля этих валков не имеют асимметрии, и эта закономерность износа имеет место только на верхних валках, то наиболее вероятной причиной является односторонний скос на верхних опорных валках со стороны привода. Это вызывает повышенную межвалковую нагрузку и износ с неприводной стороны.

Замеры взаимной ориентации коллекторов, форсунок охлаждения, отсекаелей, проводок и валков позволили определить центральные углы орошения на валках (рис. 3, табл. 2) и уточнить расстояния от форсунок до поверхности рабочих валков в клетях стана. Проектное расстояние от форсунок до поверхности валков – 200 мм, что можно считать рациональным, однако выполненные замеры показали, что фактическое расстояние составляет от 200 до 350 мм.

Полученные в ходе обследования СОВ данные использованы для расчета температуры рабочих валков по разработанным ранее компьютерным программам. Погрешность расчета не превышала  $\pm 5$  °С, что позволило расчетным путем определять эффективность различных вариантов повышения эффективности охлаждения валков.

Рассмотрены следующие варианты возможного повышения эффективности охлаждения валков клетей № 5–7 (наиболее теплонагруженных):

1. Изменение углов наклона форсунок в коллекторах.
2. Применение двухрядных коллекторов со стороны входа в клеть.
3. Применение подстуживания поверхности полос перед входом в очаг деформации.
4. Увеличение давления воды в коллекторах.
5. Увеличение расхода воды на охлаждение валков.

Из перечисленных мероприятий относительно малозатратными являются первое и второе.

Оценку эффективности указанных мероприятий проводили на примере верхнего валка клетки № 6 при прокатке полос размером 1,9x1000 мм, принятого за базовый. Расчетная температура базового варианта – 74,9 °С.

Увеличение углов наклона позволяет увеличить

угол зоны орошения валка при некотором снижении равномерности распределения воды по длине бочки. Рассмотрен вариант увеличения угла наклона форсунок со стороны входа до 45°, выхода – до 50°. При реализации данного решения расчетное снижение температуры валка составило 2,1 °С. При изменении угла наклона форсунок только со стороны входа расчетное снижение температуры валка составило 1,0 °С. Предложенное изменение углов наклона не приводит к существенному увеличению неравномерности распределения воды по длине бочки валка.

Применение двухрядных коллекторов вместо однорядных позволяет значительно увеличить угол зоны орошения валка. Для сохранения общего расхода воды на клеть предложено в дополнительном ряду установить 13 форсунок типа 665.124, а в верхнем ряду коллектора со стороны выхода заменить форсунки типа 665.204 на 665.124. При этом номинальный расход воды увеличивается всего на 6 %. Выполненные расчеты показали, что при одинаковом расходе воды и некотором расчетном снижении давления воды в коллекторах за счет увеличения суммарного проходного сечения форсунок расчетное снижение температуры валка составило 3,6 °С. При установке двухрядного коллектора со стороны входа и увеличении углов наклона форсунок до 45 и 50° со сторон входа и выхода, соответственно, расчетное снижение температуры валка составило 4,4 °С.

Применение подстуживания поверхности полос перед входом в очаг деформации за счет уменьшения теплопередачи от полосы в валок позволяет снизить температуру его поверхности, уменьшить термические напряжения и несколько снизить температуру валков. Расчеты показали, что при подстуживании полосы водой с расходом 50 м<sup>3</sup>/ч на одну сторону ожидаемое снижение температуры валка составляет 4,5 °С (при сохранении постоянным расхода воды на охлаждение валка). Если на подстуживание полосы использовать воду, подаваемую на валок (то есть уменьшить количество воды на охлаждение валка), то при сохранении существующих конструкций коллекторов и типов форсунок, расчетная температура валка практически не изменилась бы.

Увеличение давления воды в коллекторах – эффективное, но затратное техническое решение, так как требует замены насосов, а в некоторых случаях – и форсунок.

Увеличение расхода воды на охлаждение валков требует еще больших капитальных вложений – замена насосов, реконструкция всего цикла подачи, отвода и охлаждения воды, замена всех форсунок. При реконструкции системы охлаждения валков с увеличением расхода воды одновременно следует увеличить и давление воды.

На рис. 4 показано расчетное влияние давления воды при постоянном расходе – 378 м<sup>3</sup>/ч на валок клетки № 6 и 320 м<sup>3</sup>/ч на валок клетки № 9 (а) и расхода воды при постоянном давлении 6,0 атм. (б) на температуру верхних рабочих валков клетей № 6 и 9.

Приведенные данные показывают высокую эффективность данных технических решений.

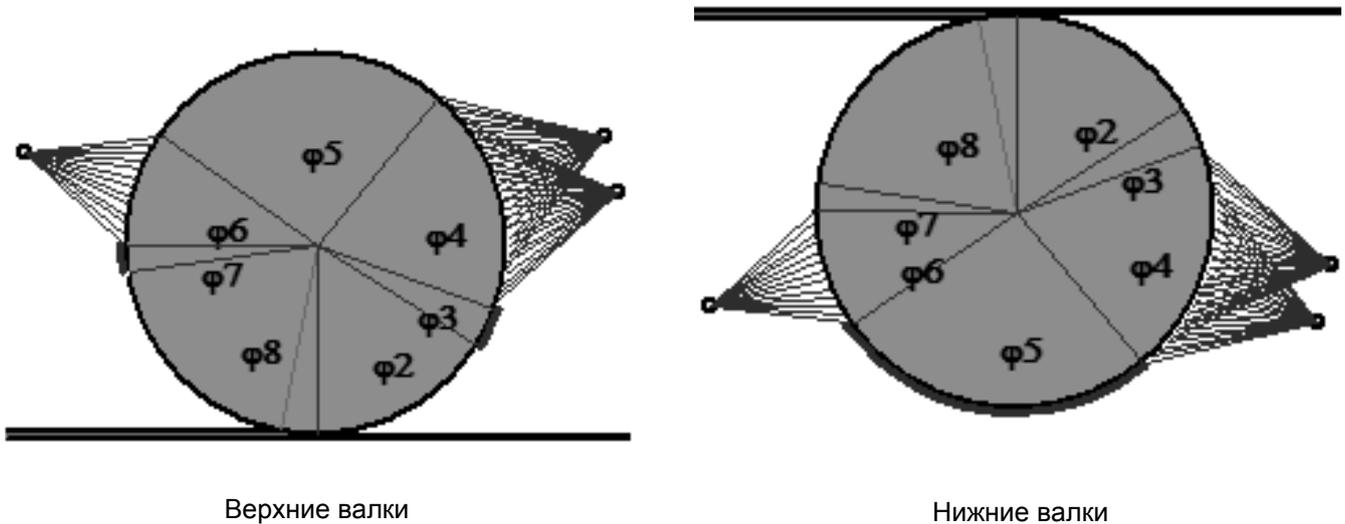


Рис. 3. Схемы охлаждения рабочих валков

Таблица 2

Результаты определения центральных углов зон охлаждения

Расположение валка	Угол	Значения углов (град.) по клетям					
		5	6	7	8	9	10
верх	φ <sup>2</sup>	58	73	64	68	77	79
	φ <sup>3</sup>	14	9	8	30	0	3
	φ <sup>4</sup>	70	58	65	57	57	61
	φ <sup>5</sup>	95	107	112	94	111	97
	φ <sup>6</sup>	32	23	19	27	19	25
	φ <sup>7</sup>	10	21	13	16	18	18
низ	φ <sup>2</sup>	66	28	49	36	40	36
	φ <sup>3</sup>	0	82	0	0	0	0
	φ <sup>4</sup>	90	60	81	91	74	89
	φ <sup>5</sup>	75	66	96	103	128	115
	φ <sup>6</sup>	38	31	24	24	24	30
	φ <sup>7</sup>	18	18	24	19	22	19
	φ <sup>8</sup>	73	75	86	87	72	71

Вариант применения двухрядного коллектора со стороны входа был опробован в клетях № 6. При этом для сохранения общего расхода воды на клетку были заглушены крайние форсунки в коллекторе со стороны входа.

Схема подачи охладителя на валки показана на рис. 5.

Учитывая, что сортамент проката до и после установки двухрядного коллектора несколько отличался, а также повысилась температура воды от 21–23 до 25–27 °С, оценку эффективности охлаждения проводили по разнице температур верхнего и нижнего валков. При использовании однорядного коллектора со стороны входа температура верхнего валка превышала температуру нижнего на 6–10 °С (в среднем 8 °С). После установки двухрядного коллектора температура верхнего рабочего валка стала меньше, чем температура нижнего на 1–3 °С. То есть, уменьшение температуры верхнего рабочего валка составило

примерно 10 °С.

После получения положительных результатов эксперимента, двухрядные коллекторы были установлены на верхние валки клетки № 5 и нижние валки клеток № 5–7. В клетях № 7 двухрядный коллектор на верхний валок установить не удалось по конструктивным причинам.

Проведенные исследования показали снижение температуры рабочих валков клеток № 5–7 по сравнению с базовым периодом на величину от 0,5 до 17 °С. Среднее снижение температуры всех валков этих клеток составило 8 °С.

Вместе с тем, по сравнению с базовым периодом, изменились значения параметров охлаждения валков: температура воды снизилась в среднем на 3 °С; давление воды увеличилось на 1 бар. Изменился средний расход воды на охлаждение валков по клетям: в клетях № 5 – увеличился на 16 м³/ч, № 6 – увеличился на 95 м³/ч, в клетях № 7 – уменьшился

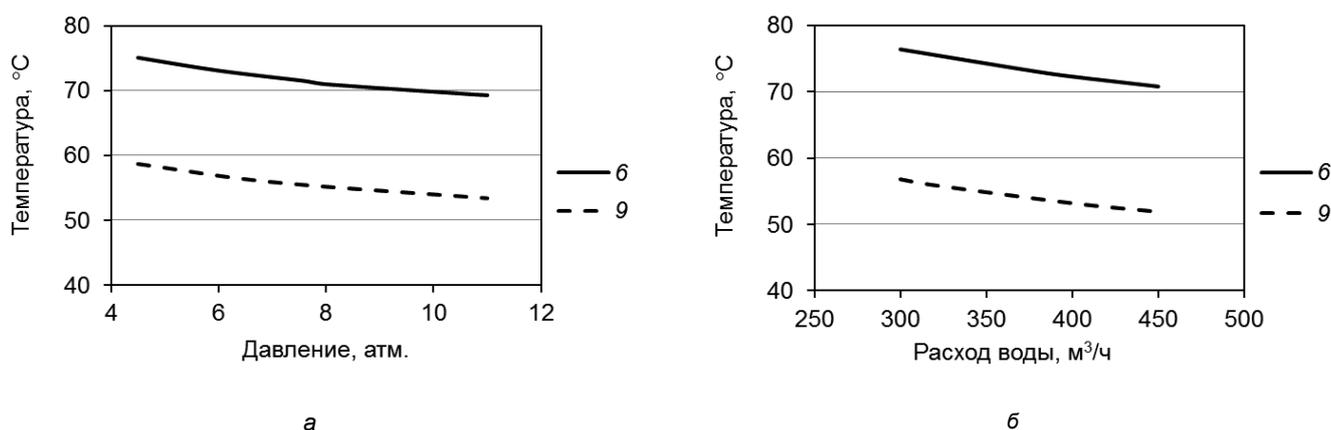


Рис. 4. Расчетное влияние давления воды при постоянном расходе (а) и расхода воды при постоянном давлении (б) на температуру верхних рабочих валков клетей № 6 и 9. Цифры у линий – номера клетей.

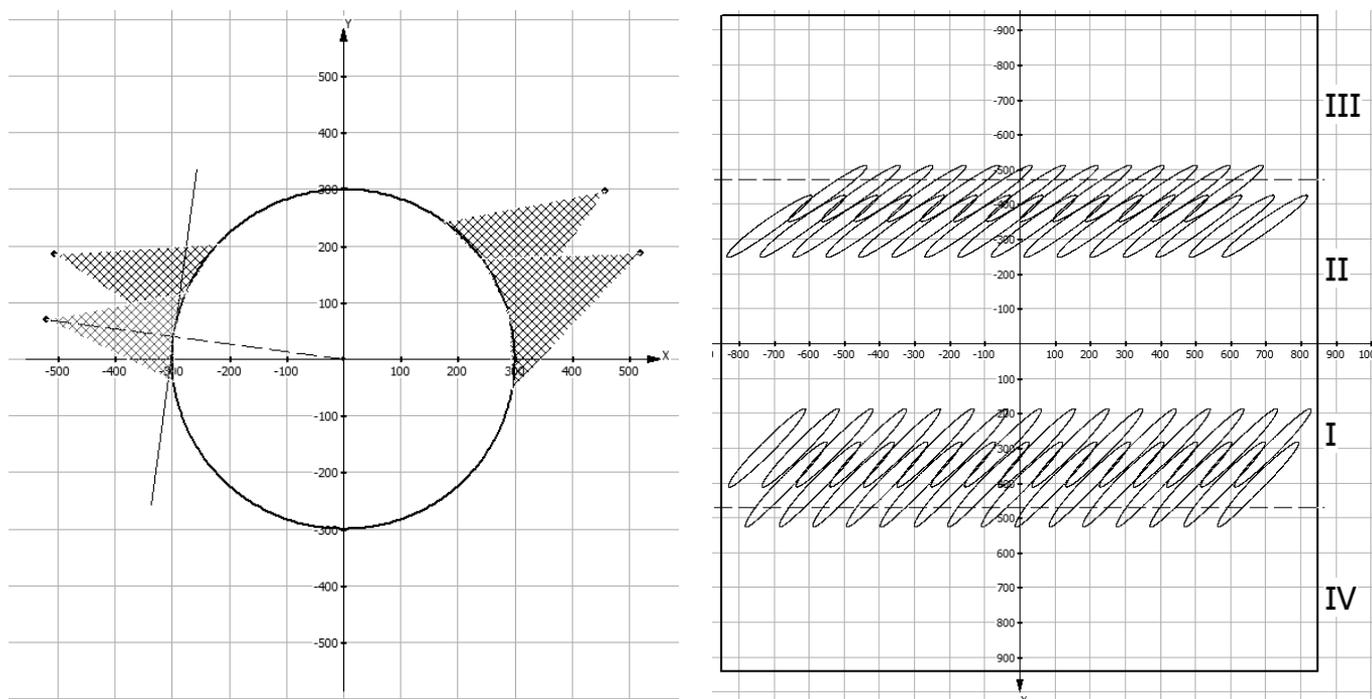


Рис. 5. Схема подачи охладителя на валки при установке двухрядного коллектора со стороны входа и проекции факелов на поверхности валка

шился на 64 м³/ч. В связи с этим были выполнены расчеты скорректированной температуры валков после модернизации системы охлаждения для исключения влияния указанных выше факторов. Изменение скорректированных температур валков по сравнению с базовыми составило от -18 до +8 °С. Среднее снижение температуры всех валков клетей № 5–7 составило 4 °С, что говорит о положительном влиянии модернизации системы охлаждения валков. Данные, полученные нами ранее для одной из клетей чистой группы ШСГП (рис. 6), показывают, что такое снижение температуры валков приводит к уменьшению интенсивности их износа на 5–6 %.

Снижение температуры рабочих валков уменьшает износ валков и, следовательно, повышает эффективность их эксплуатации. Проведенное сравнение параметров эксплуатации высокохромистых чугуных рабочих валков в клетях № 5–7 до и после модернизации СОВ (в течение одного квартала) показало,

что средняя удельная наработка увеличилась от 7686 до 8203 т/мм (6,7 %), а фактический удельный расход валков уменьшился от 0,231 до 0,118 кг/т.

Модернизация СОВ, очевидно, внесла определенный вклад и в повышение плоскостности полос. Так, за указанные сравнительные периоды интегральный уровень отсортировки горячекатаного металла по дефектам плоскостности уменьшился от 0,06 до 0,03 %.

### Выводы

Определены фактические параметры системы охлаждения рабочих валков чистой группы кле-

тей ШСГП 1680 ПАО «Металлургический комбинат «Запорожсталь», включая взаимное расположение коллекторов по отношению к поверхности валков, углы зон охлаждения по окружности валков, равномерность охлаждения по длине бочки валков, углы наклона плоскости факелов форсунок к оси коллек-

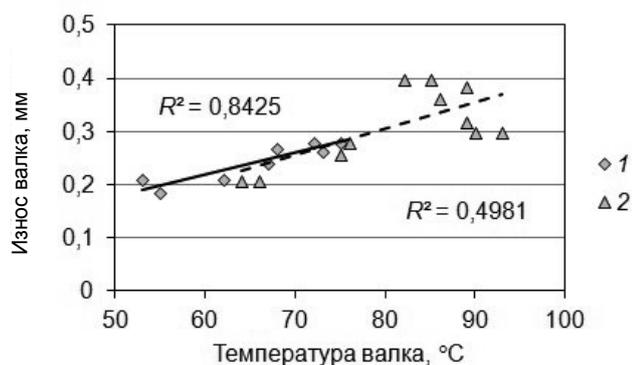


Рис. 6. Влияние температуры верхних (1) и нижних (2) валков на их износ

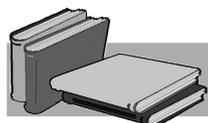
торов и углы раскрытия факелов форсунок. Проведен анализ эффективности системы охлаждения рабочих валков во взаимосвязи с параметрами прокатки полос и параметрами охлаждения.

На основе полученных результатов, с применением разработанных ранее компьютерных программ

расчета температуры валков, проанализированы различные варианты повышения эффективности СОВ. В качестве малозатратного решения предложено заменить однорядные коллекторы охлаждения валков со стороны входа клетей № 5–7 (как наиболее теплонагруженных) на двухрядные.

Экспериментально установлено среднее снижение температуры рабочих валков этих клетей на 0,5–17 °С. Путем расчетной коррекции температуры валков на изменившиеся параметры охлаждения (температуры, давления и распределения расхода охладителя по клетям) установлено, что среднее снижение температуры валков за счет реализованного варианта модернизации составило 4 °С.

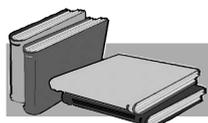
Эффективность модернизации подтверждена уменьшением фактического удельного расхода валков и увеличением средней удельной наработки валка.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Гарбер Э.А., Хлопотин М.В., Траино А.И. и др. Моделирование теплового режима валков широкополосного стана горячей прокатки для определения эффективных режимов их охлаждения. *Металлы*. 2009. № 3. С. 34–47.
2. Prikhod'ko I.Yu., Vorobei S.A., Sergeenko A.A. et al. Temperature regulation of rollers in broad-strip hot-rolling mills. *Steel in Translation*. 2011. Vol. 40 (11). P. 985–989.
3. Платов С.И., Дема Р.Р., Лукьянов С.И. Разработка и внедрение технологии охлаждения прокатных валков с целью повышения их эксплуатационных характеристик на широкополосном стане 2000 ОАО «ММК». *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2012. № 2. С. 100–101.
4. Приходько И.Ю., Воробей С.А., Шатохин С.Е. и др. Методология научно-технического аудита системы охлаждения валков широкополосного стана горячей прокатки. *Труды шестого конгресса прокатчиков*. Том II. М., 2005. С. 97–104.
5. Приходько И.Ю., Воробей С.А., Шатохин С.Е. Моделирование процессов эффективного охлаждения валков листопрокатных станов. *Сталь*. 2005. № 11. С. 72–77.
6. Воробей С.А., Приходько И.Ю. Моделирование температурного режима рабочих валков широкополосного стана горячей прокатки. *Научные новости. Современные проблемы металлургии. Пластическая деформация металлов*. Т. 8. Днепропетровск, 2005. С. 232–235.

Поступила 12.09.2019



## REFERENCES

1. Garber, E.A., Khlopotin, M.V., Traino, A.I. et al. (2009). Modeling the thermal regime of rolls of a broadband hot rolling mill to determine their effective cooling regimes. *Metals*, no. 3, pp. 34–47 [in Russian].
2. Prikhodko, I.Yu., Vorobei, S.A., Sergeenko, A.A. et al. (2011). Temperature regulation of rollers in broad-strip hot-rolling mills. *Steel in Translation*. Vol. 40 (11), pp. 985–989 [in English].
3. Platov, S.I., Dema, R.R., Lukiyanov, S.I. (2012). Development and implementation of cooling technology for rolling rolls in order to increase their operational characteristics at the hot strip mill 2000 of OJSC MMK. *Bulletin of the Magnitogorsk State Technical University im. G.I. Nosova*, no. 2, pp. 100–101 [in Russian].
4. Prikhodko, I.Yu., Vorobei, S.A., Shatokhin, S.E. et al. (2005). Methodology of scientific and technical audit of the cooling roll system of a hot strip mill. *Proceedings of the sixth congress of distributors*. Vol. II. Moscow, pp. 97–104 [in Russian].
5. Prikhodko, I.Yu., Vorobei, S.A., Shatokhin, S.E. (2005). Modeling of processes of effective cooling of rolls of a hot strip mill. *Steel*, no. 11, pp. 72–77 [in Russian].

## Анотація

**І.Ю. Приходько**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, ст. наук. співр., зав. відділу, e-mail: isi@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5651-8106>;  
**С.О. Воробей**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, ст. наук. співр., ст. наук. співр., e-mail: vso54@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-0119-3935>;  
**С.В. Мацко**<sup>2</sup>, начальник цеху гарячої прокатки тонкого листа, e-mail: sergey.matsko@zaporizhstal.com; **В.С. Панченко**<sup>2</sup>, начальник відділу по гарячому прокату Дирекції з технології та якості Технічного управління, e-mail: v.st.panchenko@zaporizhstal.com

<sup>1</sup>Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України (Дніпро, Україна)

<sup>2</sup>ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» (Запоріжжя, Україна)

## Підвищення ефективності системи охолодження валків широкоштабового стана гарячої прокатки (ШСГП) 1680

Проведено обстеження системи охолодження робочих валків чистової групи клітей широкоштабового стана гарячої прокатки (ШСГП) 1680. Показано, що температура валків після прокатки штаб становить 40–80 °С. При цьому максимальні значення температури (65–80 °С) спостерігаються в перших трьох клітях чистової групи. Визначено розміри зон охолодження валків водою (19–38° для однорядних колекторів і 58–90° для дворядних) і їх розташування по колу валків всіх клітей чистової групи, а також відстані від форсунок до поверхні валків (200–350 мм при номінальній 200 мм). Встановлено особливості розподілу температур верхніх і нижніх валків по клітям чистової групи і по довжині бочки валків у взаємозв'язку з режимами прокатки штаб і умовами подачі охолоджувача на поверхню валків. Визначено, що збільшення погонної сили прокатки (на метр ширини штаби) від 5 до 15 МН/м підвищує температуру валків на 20–25 °С. Методами математичного моделювання оцінено можливість зниження температури валків за рахунок модернізації системи їх охолодження, зокрема: коригування кутів нахилу форсунок в колекторах – на 2 °С; заміна однорядних колекторів з боку входу в кліть на дворядні без зміни витрати води – на 4 °С; збільшення витрати води в одній кліті на 50 м³/год – на 2–4 °С; збільшення тиску води на 1 атм. – на 1–3 °С; застосування підстужування поверхні штаб перед входом в осередок деформації додатковим обсягом води – на 4 °С. Для маловитратного підвищення ефективності охолодження валків запропоновано в перших трьох клітях замінити однорядні колектори охолодження з боку входу в кліть на дворядні зі збереженням загальної витрати води за рахунок підбору типу форсунок. Експериментальне середнє зниження температури валків склало не менше 4 °С. Ефективність модернізації підтверджена зменшенням фактичної питомої витрати валків і збільшенням середнього питомого напрацювання валка.

## Ключові слова

Температура робочих валків, параметри прокатки штаб, модернізація системи охолодження.

## Summary

**I.Yu. Prykhodko**<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Head of Department, e-mail: [isi@ukr.net](mailto:isi@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-5651-8106>; **S.A. Vorobei**<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Engin.), Senior Research Scientist, Senior Researcher, e-mail: [vso54@ukr.net](mailto:vso54@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-0119-3935>; **S.V. Matsko**<sup>2</sup>, Head of the Thin Sheet Hot Rolling Workshop, e-mail: [sergey.matsko@zaporizhstal.com](mailto:sergey.matsko@zaporizhstal.com); **V.S. Panchenko**<sup>2</sup>, Head of Hot Rolling Division, Directorate for Technology and Quality, Technical Department, e-mail: [v.st.panchenko@zaporizhstal.com](mailto:v.st.panchenko@zaporizhstal.com)

<sup>1</sup>*Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine (Dnipro, Ukraine)*

<sup>2</sup>*PJSC Zaporizhstal Iron and Steel Works (Zaporizhzhia, Ukraine)*

## Improving the efficiency of the roll cooling system of the Hot Strip Mill 1680

The cooling system for the working rolls of the finishing group of the stands of the Hot Strip Mill 1680 was examined. It is shown that the temperature of the rolls after rolling the strips is 40–80 °C. Moreover, the maximum temperature values (65–80 °C) are observed in the first three stands of the finishing group. The sizes of the cooling zones for the rolls with water (19–38° for singlerow collectors and 58–90° for two-row ones) and their location along the circumference of the rolls of all stands of the finishing group were determined, as well as the distance from the nozzles to the surface of the rolls (200–350 mm at a nominal 200 mm). The features of the temperature distribution of the upper and lower rolls along the stands of the finishing group and along the length of the roll barrel in relation to the strip rolling modes and the conditions for supplying the cooler to the surface of the rolls are established. It was determined that an increase in the rolling force (per meter of strip width) from 5 to 15 MN/m increases the temperature of the rolls by 20–25 °C. Using mathematical modeling methods, the possibility of reducing the temperature of the rolls due to the modernization of their cooling system was evaluated, in particular: adjusting the angle of the nozzles in the collectors – by 2 °C; replacement of single-row collectors from the entrance to the crate with double-row ones without changing the water flow rate – by 4 °C; increase in water consumption in one stand by 50 m<sup>3</sup>/h – by 2–4 °C; increase in water pressure by 1 atm. – by 1–3 °C; the use of undermining the surface of the strips before entering the deformation zone with an additional volume of water – by 4 °C. For a little costly increase in the efficiency of cooling the rolls, it was proposed to replace single-row cooling manifolds from the entrance to the stands by double-row in the first three stands, preserving the total water consumption by selecting the type of nozzles. The average decrease in the temperature of the rolls was at least 4 °C. The effectiveness of modernization is confirmed by a decrease in the actual specific consumption of rolls and an increase in the average specific operating time of the roll.

## Keywords

*Temperature of working rolls, strip rolling parameters, cooling system modernization.*