

А.Б.Моллер, О.Н.Тулупов, Д.И.Кинзин, С.А.Левандовский, С.Ю. Саранча
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И.Носова»

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ФАСОННОГО ПРОКАТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОГО КОМПЛЕКСА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Аннотация. В работе решается задача повышения эффективности сортопрокатных станков, путем управления механическими свойствами раската и содержанием дорогостоящих легирующих добавок (ванадий) через выработку организационных и технологических мероприятий по сокращению не менее чем на пятьдесят процентов содержания ванадия в заготовках предназначенных для производства фасонного и сортового проката по ГОСТ 19281-2014.

Ключевые слова: ускоренное водяное охлаждение проката, исключение микролегирования стали, сортопрокатное производство, механические свойства, ГОСТ 19281-2014.

Введение

Для повышения эксплуатационных характеристик проката из марки 09Г2С и 10ХСНД на ОАО «ММК» был разработан комплекс мероприятий, в частности – легирование ванадием. Добавка ванадия позволила поднять класс прочности с 325 до 345. При этом важно отметить, что дополнительное легирование ванадием марки стали 09Г2С при производстве фасонного проката класса прочности 325 снижает количество брака.

В данной работе предлагается технология ускоренного охлаждения фасонного проката из стали 09Г2С при производстве на стане 450 ОАО «ММК» с целью получения требуемых механических свойств готовой продукции без микролегирования ванадием.

Актуальность и состояние вопроса

На современных непрерывных станах горячей прокатки сортового проката температура конца прокатки достигает высоких температур в диапазоне 1000-1100°C. При такой температуре формируется крупное аустенитное зерно, что обуславливает повышенные значения временного сопротивления разрыву и пониженное значение предела текучести со снижением в некоторой степени показателей пластичности (относительного удлинения и относительного сужения), а также низкие значения отношения предела текучести к временному сопротивлению разрыва металла. Кроме того, крупное зерно обуславливает низкие значения ударной вязкости металла, особенно при отрицательных температурах (повышается порог хладноломкости стали). Это, в конечном итоге, приводит к забракованию такой продукции.

Существует несколько способов измельчения зерна.

1. Микролегирование стали нитридо- и карбидообразующими элементами, такими как ванадий, ниобий, алюминий, титан, бор и др., что обуславливает измельчение аустенитного и действительного зерна [2].

2. Снижение температуры конца прокатки также действенный способ, но для достижения значимого эффекта измельчения зерен необходимо обеспечение температуры конца прокатки на уровне 900-850°C и ниже, что обуславливает высокие энергосиловые параметры процесса прокатки [3-5].

3. Применение ускоренного охлаждения металла (в режиме термической или термомеханической обработки) непосредственно сразу после окончания его деформации с целью подавления собирательной (повторной) рекристаллизации стали, при которой происходит интенсивный рост зерен [6, 7].

Простой анализ позволяет сделать выбор в пользу 3 способа измельчения зерен стали ввиду его дешевизны и высокой эффективности. Выполненные исследования направлены на обеспечение формирования мелкозернистой структуры фасонного проката из низколегиро-

ванных сталей типа 09Г2С в условиях сортопрокатного производства. Марочный состав и механические свойства исследуемых сталей соответствуют требованиям ГОСТ 19281-2014.

Областью применения результатов исследований является технология ускоренного охлаждения фасонных профилей проката в потоке мелко- средне- и крупносортовых станов с целью получения более высокого класса прочности до 440 МПа с исключением микролегирования стали дорогостоящими химическими элементами без уменьшения производительности станов.

Постановка задачи

Выбор способа и устройства для ускоренного охлаждения фасонного проката в потоке прокатного стана должен основываться на следующих положениях.

1. Необходимо стремиться к двухэтапному охлаждению профиля: на первом этапе подвергать интенсивному охлаждению массивные участки поперечного сечения такие, как вершина уголка, на втором этапе равномерно охлаждать все поперечное сечение фасонного профиля.

2. Для разработки технологии и конструкции линии водяного охлаждения необходимо провести адаптацию решения (на основе математического и физического моделирования) для условий производства фасонных профилей из марок стали 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД в условиях стана 450 ОАО «ММК».

Математическое и физическое моделирование

Наибольший интерес для исследования представляет сталь 09Г2С. В связи с невозможностью проведения исследования на динамической установке охлаждения в линии стана в виду отсутствия таковой в настоящее время на стане 450, были выбраны следующие методы проведения моделирования: охлаждение фасонных профилей при термоупрочнении, модель термической обработки фасонного проката в программной среде DEFORM 3D + Heat Treatment, физическое моделирование для определения температурных коэффициентов конвективной теплоотдачи, статическое моделирование на установке охлаждения для выявления тенденций к упрочнению и определению его динамики. В качестве образцов для физического моделирования была выбрана сталь СтЗсп, относящаяся к той же группе характера упрочнения что и сталь 09Г2С.

Математическое моделирование основано на структурно-матричном подходе [8-19] и моделях, разработанных Сибирским государственным индустриальным университетом (СибГИУ) [20-22]. Модели СибГИУ ориентированы на их применение в условиях технологии Западно-Сибирского металлургического комбината, и были адаптированы для условий температурных режимов стана 450 ОАО "ММК". При проектировании математической модели охлаждения раската за основу взята математическая модель, представленная в работе [20-22], усовершенствованная и адаптированная для условий стана «450» ОАО «ММК». Модель рассчитывает внешний и внутренний теплообмен с учётом изменения теплопроводности, теплоёмкости и линейного расширения стали. С использованием разработанной математической модели проведена серия многовариантных расчетов охлаждения проката из стали 09Г2С: равнополочных уголков 40х3, 80х7, 125х16, швеллеров №5, 12, 18 и двутавра №12 (толщины полок (стенок) 3; 7; 16; 4,4; 4,8; 5,1 и 4,8 мм соответственно). Режим охлаждения трехстадийный: первая секция струйное форсуночное охлаждение, время охлаждения 0,45 с, вторая секция – охлаждение на воздухе 0,07 с в условиях естественной конвекции (скорость транспортировки раската 5,5 м/с), третья секция – водяное форсуночное охлаждение продолжительностью 0,75 с. Температуры начала ускоренного охлаждения 900-1050°С. На рис. 1 представлены результаты математического моделирования (температурный режим) охлаждения проката уголок, швеллер, двутавр с толщиной полок (стенок) 3, 5, 7 и 16 мм.

Были рассчитаны распределения температур по толщине раската после первой, второй и третьей стадии охлаждения (пример одного из расчётов на рис. 2).

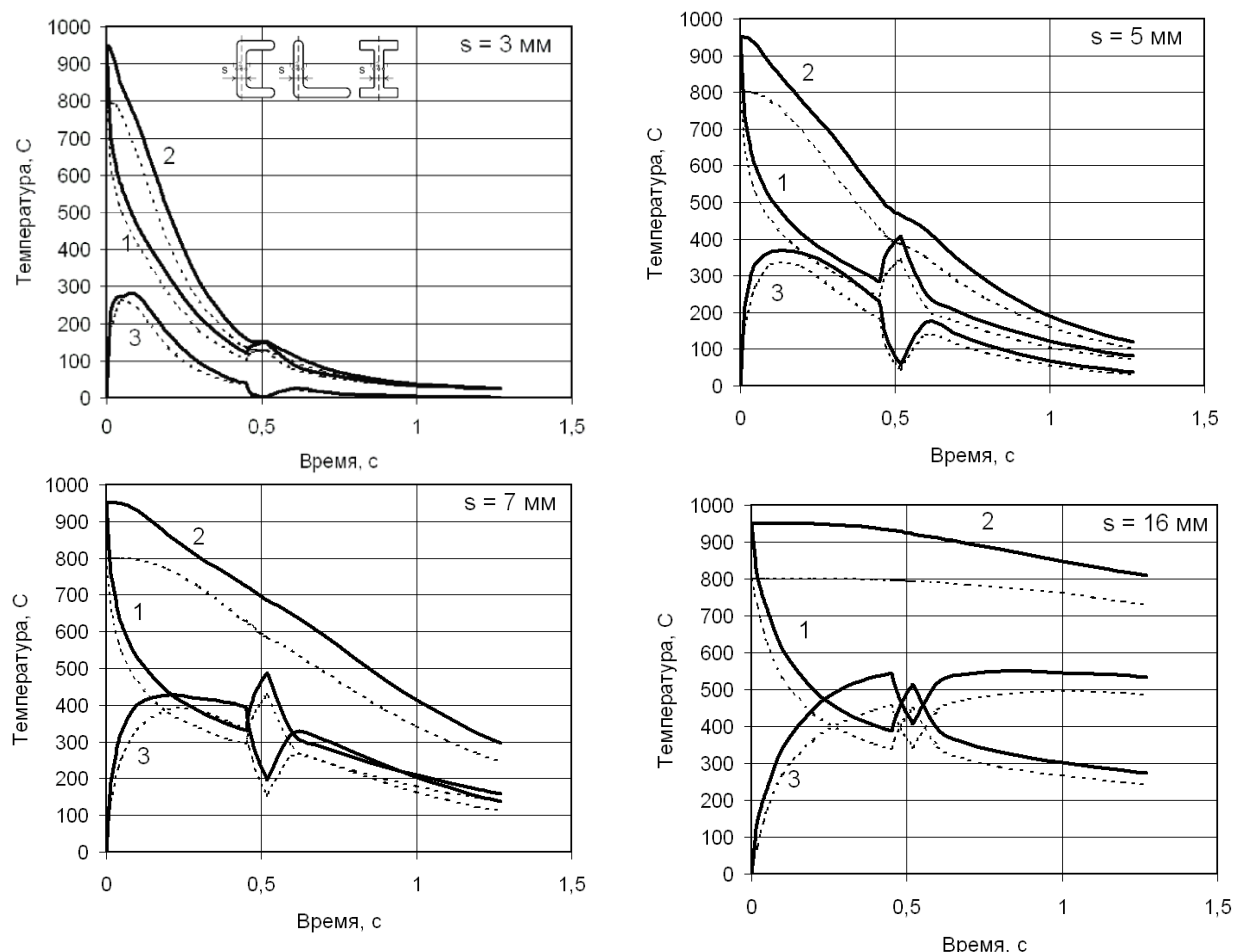
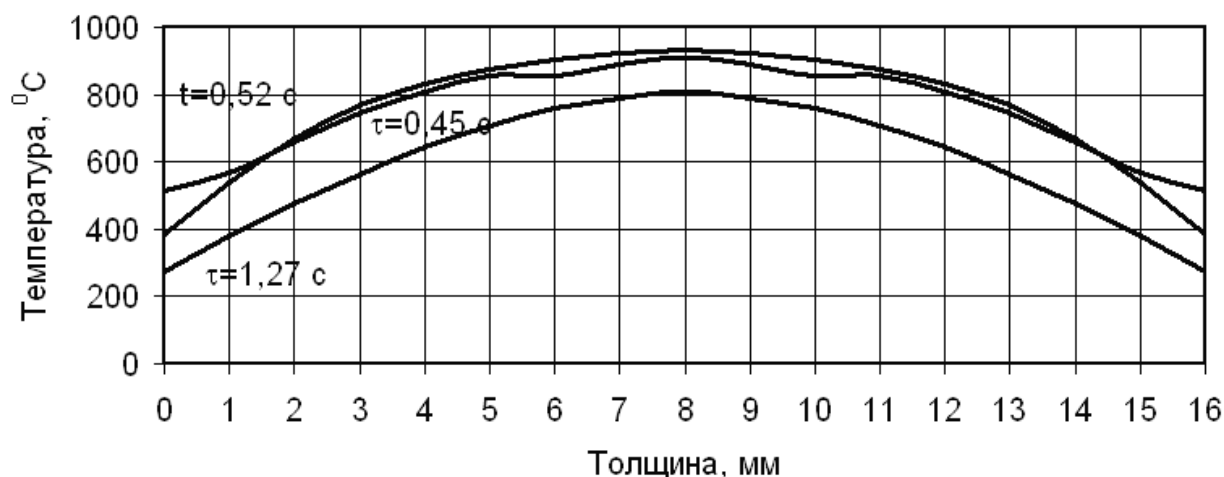


Рис. 1. Температурный режим охлаждения раската

Рис. 2. Распределение температур по толщине раската после первой ($\tau = 0,45 \text{ с}$), второй ($\tau = 0,52 \text{ с}$) и третьей ($\tau = 1,27 \text{ с}$) стадий охлаждения раската

Диаграммы температурных режимов охлаждения раската показали возможность применения технологии на стане 450 ОАО «ММК».

Результаты применения адаптированной модели охлаждения фасонных профилей при термоупрочнении, используемой на Западно-Сибирском металлургическом комбинате подтверждаются на текущем сортаменте стана 450 этого комбината, относящимся к крупным сечениям (например, швеллер 18, уголок 100, двутавр 155). DEFORM 3D (с модулем «Heat Treatment») использовался для проведения исследования с целью выявления теплообмена [23] в поперечном сечении раската с учетом интенсивности охлаждения, стадийности и протяжённости выдержки между стадиями для определения средневзвешенной температуры и

фазовых состояний в готовом прокате. Моделирование проводилось для условия водяного турбулентного потока и охлаждения в течение 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; и 5 с для равнополочных уголков 63х63х4, 40х40х4 и 75х75х8 мм и швеллера № 5 – по шесть образцов из стали СтЗсп с температуры 900 и 1000°C и последующего отпуска с отдельного нагрева при температурах 200, 300, 400, 500, 600 и 650°C. Один из результатов приведен на рис. 2.

В программе DEFORM 3D были смоделированы: распад аустенита, перлитное превращение, мартенситное превращение и изменение температуры во времени для указанных временных интервалов и профилей. В зависимости от температур аустенитизации, самоотпуска и толщины конструктивных элементов фасонного профиля определено необходимое время охлаждения. При этом на первом этапе следует охлаждать массивные элементы профилей исходя из толщины таких участков, на втором этапе – равномерно охлаждать все сечение профилей, что позволит получить равномерную структуру и свойства по сечению и длине раскатов. Это позволит обеспечить упрочнение металла на заданный класс прочности.

Физическое моделирование проводилось на образцах ОАО «ММК»: применительно к условиям ОАО «ММК» для установления коэффициента конвективной теплоотдачи и определения наличия динамики упрочнения для конкретных образцов; для установления механических характеристик (предела прочности и предела текучести), формируемых при различных скоростях и величинах температуры (начала и конца охлаждения).

Проводилось испытание образца уголка 40х40х4 из стали СтЗсп в горячекатаном состоянии и после физического моделирования условий водяного охлаждения: испытание на растяжение образца с определением временного сопротивления разрыву, предела текучести, относительного удлинения на 5-ти кратной измерительной базе; испытание на ударный изгиб на образцах с плавным концентратором напряжений (KCU) при температурах минус 40°C, минус 70°C, после механического старения при температуре плюс 20°C по ГОСТ 9454, ГОСТ 7564; на образцах с острым концентратором напряжений (KCV) при температурах плюс 20°C и минус 20°C.

Общее количество опытных образцов равняется 30, длина образца – в диапазоне 50-60 мм. После термической обработки у опытных образцов замерялась твердость в единицах HRC в нескольких участках фасонного профиля – в центре и у кромок полок.

Результаты лабораторного моделирования доказывают эффективность термической обработки фасонного проката и получение требуемого эффекта упрочнения нелегированного металла из низкоуглеродистой стали обыкновенного качества в диапазоне температур отпуска, имитирующих температуру самоотпуска в диапазоне от 200 до 650°C, коэффициент упрочнения при этом соответственно находится в интервале 2,6-1,4. То есть при температуре отпуска 650°C значение предела текучести повысится с исходного значения 320 до примерно 450 МПа, а при 500°C – до 480 МПа.

Структурообразование при физическом моделировании полностью соответствует теоретическим положением и предопределяет уровень механических свойств фасонного проката. На основании представленных результатов можно с уверенностью утверждать, что полученные результаты можно распространить на другие марки стали (09Г2, 09Г2С, 10ХСНД) и существенно снизить микролегирование ванадием этих сталей.

При понижении температуры самоотпуска наблюдалось повышение прочностных свойств, увеличение ударной вязкости и плавное снижение пластичности, а также подтверждена тенденция к формированию прочностных свойств (класс прочности не ниже 390) и выявлена её динамика.

Результаты сравнения сведений, полученных математическим моделированием, с результатами физического моделирования свидетельствуют об адекватности работы модели. Следовательно, целесообразно применить математическую модель процесса охлаждения фасонных профилей стана 450 ОАО «ММК» при составлении технического задания и конструктивных решений для реконструкции стана.

Обоснование и выбор конструкции установки термоупрочнения

При выборе вариантов расположения и устройства установки термоупрочнения фасонного проката на стане 450 ОАО «ММК» руководствовались следующими основными требованиями: универсальность установки – обеспечение возможности охлаждения широкого сортамента профилируемых проката (уголки равнополочные и неравнополочные, швеллеры, двутавровые балки) и возможности варьирования режимов термоупрочнения; компактность установки термоупрочнения.

Из рассмотренных вариантов конструктивных решений устройств термоупрочнения проката для условий ОАО «ММК» более перспективным представляется блочная схема установки с ее расположением за делительными ножницами (рис. 3).

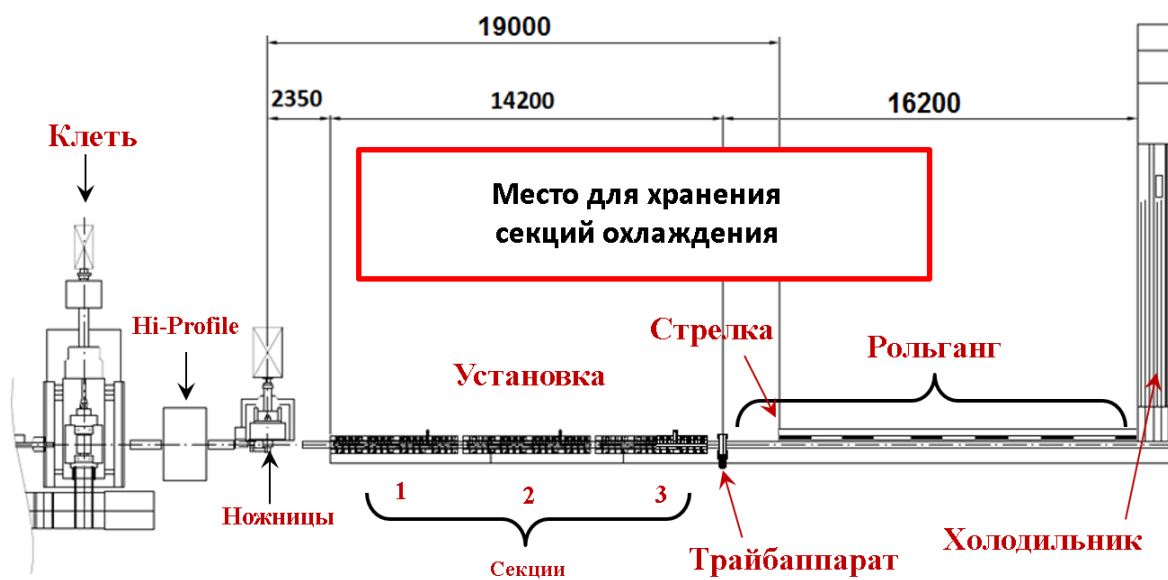


Рис. 3. Схема расположения установки линии водяного охлаждения (ЛВО) стана 450 ОАО «ММК»

Такая схема установки позволит обеспечить возможность термообработки широкого номенклатурного ряда прокатных профилей, возможность варьирования параметров ускоренного охлаждения в широких пределах. Конструктивное решение, позволяющее осуществить перемещение в линию прокатки рольганга взамен секций установки термоупрочнения и быстрое обратное перемещение, позволит обеспечить высокую производительность прокатного стана.

На основе обзора и анализа мирового опыта, выбранных технологических и технических решений с применением прямоточных щелевых форсуночных устройств на участке действующего рольганга за последней клетью стана 450, проведенное математическое (на адаптированной математической модели) и физическое моделирование процесса охлаждения прокатываемых профилей, разработанных режимов охлаждения уголков и швеллеров на классы прочности 295...390 МПа категории 12-15 согласно ГОСТ 19281-2014 были разработаны технические требования к стационарному оборудованию ЛВО, техническое задание на реконструкцию стана 450, содержащее чертежи конструктивных решений (рис. 4).

Планируемое место ЛВО (за последней клетью) имеет длину 19 метров, что достаточно для требуемого охлаждения профиля. Предложенное решение имеет следующие характеристики: три секции охлаждения – две длинных и одна короткая; охлаждаются уголки, швеллеры и полосы (толщиной до 30 мм) актуального размерного сортамента стана; варьируется интенсивность ускоренного охлаждения количеством работающих форсунок; применимость установки для выполнения поставленной задачи относительно стали марок 09Г2С, 10ХСНД, 15ХСНД, 10ХНДП, 14Г2 с возможностью исключения микролегирования стали; реализуемость ЛВО в рамках существующей системы водоснабжения относительно общецехового

расхода воды с учетом действующей системой автоматизированного календарного планирования производства.

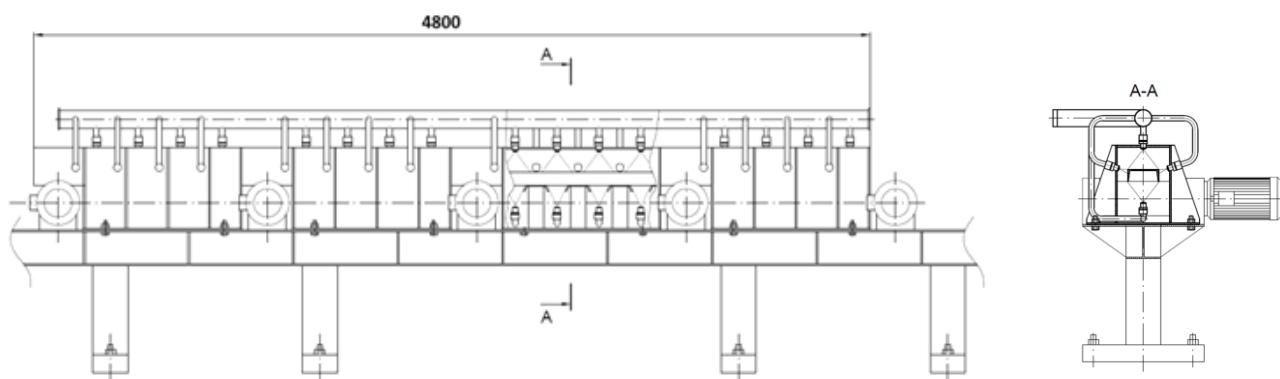


Рис. 4. Принципиальная схема секции ускоренного охлаждения

К основным требованиям к механическому оборудованию ЛВО относятся: секции линии водяного охлаждения должны быть взаимозаменяемыми; каждая отдельная форсунка должна иметь возможность приближения к поверхности проката на расстояние до 20 мм; также каждая форсунка должна иметь индивидуальный клапан для перекрытия подачи воды; часть рольганга должна быть реконструирована путем установки роликов в горизонтальное положение и организации посадочных мест для установки секций ЛВО; необходимо установить дополнительный фильтр воды на подающем водопроводе до ЛВО с целью обеспечения в воде количества взвешенных частиц до 20 мг/л (возможно потребуется более существенное изменение водоснабжения сортопрокатного цеха).

Расчеты режимов термообработки на проектируемой линии охлаждения

Первоначально были выполнены расчеты режимов охлаждения уголков и швеллеров из сортамента стана 450 для марки стали 09Г2С (практический интерес представляет класс прочности 390 МПа) [24]. В настоящее время ударная вязкость КСУ стали марки 09Г2С при температуре -70°C для проката класса прочности 345 по требованию ГОСТ 19281-2014 не менее 29 Дж/см^2 и 34 Дж/см^2 – обеспечивается в горячекатаном состоянии только при микролегировании ванадием, содержание которого в стали 0,06%.

Далее теплотехнические расчеты были проведены, уточнены и расширены до класса прочности 700 с применением математической модели относительно времени и интенсивности охлаждения в зависимости от температур аустенитизации и самоотпуска с целью существенного повышения эксплуатационных свойств проката путем термической обработки в линии стана с использованием прокатного нагрева.

Причем в первой секции ЛВО начинает охлаждаться массивная часть профиля путем приближения форсунок к металлу охлаждаемого участка, а затем проводится охлаждение всего профиля в оставшейся части первой секции. Далее во второй и третьей секциях охлаждение может осуществляться по двум схемам: первая – в режиме (а) непрерывного охлаждения (вторая и третья секции включены); вторая схема – в режиме (б) прерывистого охлаждения (вторая и третья секции включены частично, что предусматривает выдержку проката без охлаждения водой с целью выравнивания температуры по сечению и осуществления самоотпуска, позволяющего получить повышение и прочностных и пластических свойств проката. При охлаждении уголков боковые форсунки в узлах охлаждения не работают. Например, при производстве уголка 40x40x4, температуре конца прокатки 1100°C и классе прочности 390 МПа для охлаждения полки требуется 0,1 с и 0,29 с – для вершины. Время охлаждения одной форсункой $0,3/12 = 0,025$ с (шаг между форсунками 0,3 м, скорость движения раската 12 м/с). Тогда количество необходимых форсунок 4 – для полки и 11,6 – для вершины. В итоге рассматриваемый уголок следует охлаждать так: вершина с 1 по 8 (форсунки приближены), а полки с 8 по 12 (форсунки удалены).

Разработаны режимы охлаждения углового проката размерами от 40х40х4 до 125х125х16 мм с учётом двух вариантности схемы охлаждения а и б (классов прочности 345, 390 и 440). Также разработаны режимы охлаждения для швеллеров (от №5 до №18) и полового проката (эквивалентной толщины).

Заключение

В рамках исследований разработан вариант реконструкции стана 450 для установки системы ускоренного охлаждения в промежутке между чистовой клетью стана и холодильником, а также созданы режимы ускоренного охлаждения проката в потоке стана с целью обеспечения требуемых прочностных свойств фасонных профилей, что позволяет отказаться от применяемого в настоящее время микролегирования и снизить себестоимость производства фасонного проката.

Экономический эффект от внедряемой разработки будет достигнут за счет снижения себестоимости проката на стоимость элементов для микролегирования стали 09Г2С, доля которой от общего объема производства стана составляет около 10%. Модернизированная ЛВО позволит повысить прочностные характеристики и других марок стали (10ХСНД, 15ХСНД, 10ХНДП, 14Г2), что может быть подвергнуто детальному изучению для определения дополнительного экономического эффекта.

В качестве рекомендаций по развитию работы и её применению на других объектах стоит отметить, что процесс интенсивного водяного охлаждения можно в максимальной степени приблизить к процессу термической обработки фасонного проката по термоциклической схеме обработки – технологии прерывистого охлаждения с многократным чередованием операций закалки поверхностных и последующих слоев по толщине проката в различных циклах и самоотпуска закаленных слоев металла после каждого цикла закалки. Такая термическая обработка обуславливает формирование слоистой, квазикомпозитной микроструктуры, формирующей уникальное сочетание механических свойств металла – высокие прочность, пластичность, вязкость при отрицательных температурах, рациональное отношение предела текучести к временному сопротивлению разрыву.

При проектировании и модернизации аналогичных технологических линий: прокатный сортовой стан – участок поточной термической обработки можно рассмотреть возможность осуществления полной термомеханической обработки [25, 26], например, путем установки предварительного охлаждающего устройства между промежуточной и чистовой группами прокатного стана, при помощи математического моделирования с учетом конструкции стана.

Библиографический список

1. Rashnikov V.F., Senichev G.S., Gasilin A.V., Shiryaev O.P., Loginov V.G. Radical reconstruction of bar production at OAO MMK // Steel in Translation 2007. Т.37 №2, С.152-157.
2. Parusov, V.V., Sychkov, A.B., Derevyanchenko, I.V., Perchatkin, A.V., Parusov, É.V., Zhigarev, M.A. High-carbon wire rod made of steel microalloyed with vanadium // Metallurgist. 2004. Т.48 №11 12, С.618-625.
3. Kiefer B.V., Krejdovsky W.P. Thermomechanical processing for quality products in high-speed rod rolling mills // Wire Journal International. 2013. Т.46. №9. С.56-62.
4. Разработка и освоение регулируемого охлаждения проката в потоке стана / В.З.Аршавский, Л.А.Вакула и др. – Харьков: УкрГНТЦ «Энергосталь». 1981. 80с.
5. Референция центра новых систем охлаждения и технологий термоупрочнения металлов. Екатеринбург: ВНИИМТ, 2010. 2с.
6. Zaky A.I., El-Morsy A., El-Bitar T. Effect of different cooling rates on thermomechanically processed high-strength rebar steel // Journal of Materials Processing Technology. 2009. Т.209. №3. С.1565-1569.
7. Temlyantsev M.V., Peretyatko V.N., Starikov V.S. Basic final parameters of thermomechanical treatment of steel // Steel in Translation. 2001. Т.31. №4. С.47-50.

8. Использование адаптивной структурно-матричной модели для управления качеством сортового проката с разработкой рациональных предупреждающих действий / Моллер А.Б., Ручинская Н.А., Зайцев А.А., Тулупов О.Н., Луценко А.Н. // В сборнике: Неделя металлов в Москве сборник трудов Конференций и Семинаров. редкол.: Сивак Б.А. и др.. Москва, 2007. С.357-367.
9. Новые решения в моделировании и практике процессов сортовой прокатки на основе структурно-матричного подхода и его приложений / Тулупов О.Н., Моллер А.Б., Поляков М.Г., Логинов А.В., Симаков Ю.В., Колясов Д.В., Левандовский С.А. // Производство проката. 2004. №7. С.19-26.
10. Совершенствование сортопрокатных технологических систем через развитие элементов менеджмента качества / Моллер А.Б., Левандовский С.А., Ручинская Н.А., Лимарев А.С., Симаков Ю.В., Логинов А.В., Назаров Д.В., Колясов Д.В. // В сборнике: Труды Восьмого конгресса прокатчиков 2010. С.224-229.
11. Эволюция методологического подхода к моделированию процессов сортовой прокатки в МГТУ им. Г.И.Носова / Тулупов О.Н., Моллер А.Б. // Сталь. 2014. №4. С.25-34.
12. Повышение степени автоматизации сортопрокатного производства / Саранча С.Ю., Моллер А.Б., Левандовский С.А., Моллер Т.Ю. // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. №3. С.51-54.
13. Information technology and Juran's spiral of quality as a continuous process of improving the efficiency of section-rolling mill / Sarancha S.Yu., Levandovskiy S.A., Moller A.B., Statsenko J.S. // Калибровочное бюро. 2015. №5. С.30-44. URL:<http://www.passdesign.ru/numbers/> (дата обращения: 10.12.2016).
14. Chumachenko, E.N., Mashkova, N.N., Cherednikov, V.A., Tulupov, S.A. Modeling of the process of rolling in roll passes // Steel in Translation. 1996. T.26 №11, C.60-66.
15. Tulupov O.N., Moller A.B., Kinzin D.I., Levandovskiy S.A., Ruchinskaya N.A., Nalivaiko A.V., Rychkov S.S., Ishmetyev E.N. Structural-matrix models for long product rolling processes: modeling production traceability and forming consumer properties of products // Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №5 (Т.45). С.46-50.
16. Kinzin D.I., Moller A.B., Rychkov S.S. Calculation of the broadening in simple bar rolling // Steel in translation. 2012. T.42 №10 C.707-710.
17. Tulupov, O.N., Moller, A.B. Simulation of bar rolling: Experience at Nosov Magnitogorsk State Technical University // Steel in Translation. 2014. T.44. №4. С.280-288.
18. Nazarov D.V., Zakharov E.A., Denisov S.V., Moller A.B., Zavyalov K.A. Assessing channel rolling on a 450 mill // Steel in Translation. 2009. T.39. №10. С.901-905.
19. Tulupov S.A., Loginov V.G., Tulupov O.N., Rashnikov V.F. Use of adaptive computerized roll pass design system // Сталь 1992. №2 С.56-57.
20. Перетятко В.Н. Нагрев стальных слябов / В.Н.Перетятко, Н.В.Темлянцев, М.В.Темлянцев, Ю.Е.Михайленко – М.: Теплотехник, 2008. 192с.
21. Горбунов А.Д., Глущенко Е.Л., Хиш Л.К. К аналитическому расчету суммарного коэффициента теплоотдачи при охлаждении тел на воздухе. – Металлургическая теплотехника: сб. научн трудов. – НМетАУ в 2-х книгах. – Кн. 1. – Днепропетровск: Пороги, 2005. С.118-131.
22. Temlyantsev M.V., Starikov V.S., Kolotov E.A., Zhuravlev B.K., Mogil'nyi E.V. Rational heating of steel slabs for rolling // Steel in translation. 2001. T.31 №2 C.69-73
23. Jiang L.-Y., Yuan G., Wu D., Wang G.-D. Analysis of heat transfer coefficients during high intensity cooling processes of hot rolled strips after rolling // Dongbei Daxue Xuebao/Journal of Northeastern University. 2014. T.35 №5 C.676-680.
24. Belov E.G., Poltoratskii L.M., Efimov O.Y., Konovalov S.V., Gromov V.E. Formation of structure and mechanical properties in the accelerated cooling of an H beam // Steel in Translation. 2010. T.40. №2. C.114-118.

25. Kosterev V.B., Efimov O.Y., Ivanov Y.F., Belov E.G., Gromov V.E. Formation of gradient structure-phase states in thermomechanical hardening // Steel in Translation. 2011. T.41. №4. С.283-286.
26. Сычков А.Б., Малашкин С.О. Оборудование и технология для термоправки-термомеханического упрочнения фасонного профиля / Теория и технология металлургического производства. 2014. №2 (15). С.96-101.

• INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH •

A.B.Moller, O.N.Tulupov, D.I.Kinzin, S.A.Levandovskiy, S.Yu. Sarancha
Nosov Magnitogorsk State Technical University

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF ACCELERATED COOLING
OF SHAPE-ROLLED STEEL FOR PROVIDE SPECIFIED MECHANICAL PROPERTIES**

Abstract. The work is intended to solve the problem of increasing the effectiveness of section rolling mills, by controlling the mechanical properties of metal and the content of expensive alloy additives (vanadium) through the preparation of organizational and technological events to reduce by at least fifty percent of the content of vanadium in the billets intended for the production of shaped and long products according to GOST 19281-2014.

Keywords: accelerated cooling by water, excluding microalloying of steel, section rolling, mechanical properties, GOST 19281-2014.