

P A S S D E S I G N . R U



ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ
КАЛИБРОВОЧНОЕ БЮРО

ВЫПУСК 8

Разработка и внедрение
обучающих систем для
подготовки студентов ВУЗов, ССУЗов
и повышения квалификации кадров



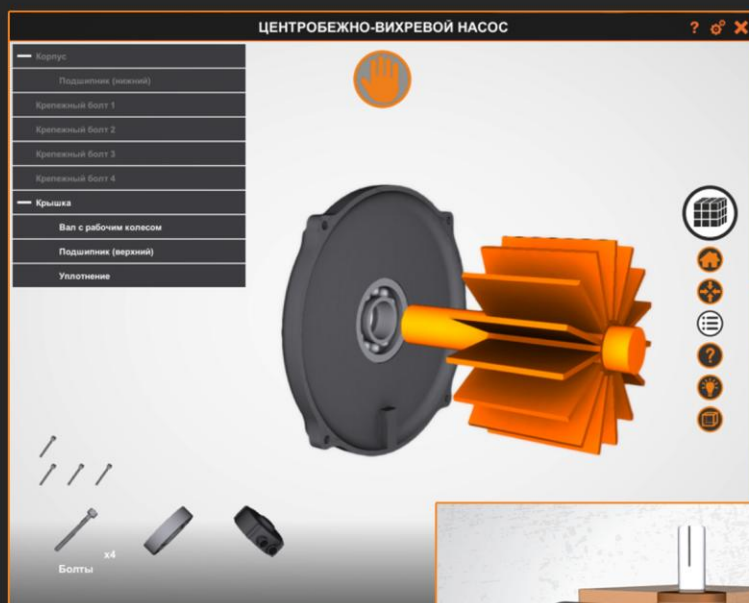
МЫ ПРЕДЛАГАЕМ ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ

3D АТЛАСЫ ОБОРУДОВАНИЯ
3D СБОРКА/РАЗБОРКА
АНИМАЦИОННЫЕ ФИЛЬМЫ
ТРЕНАЖЕРЫ ИМИТАТОРЫ
ЭЛЕКТРОННЫЕ КУРСЫ
ЭЛЕКТРОННЫЕ ПЛАКАТЫ

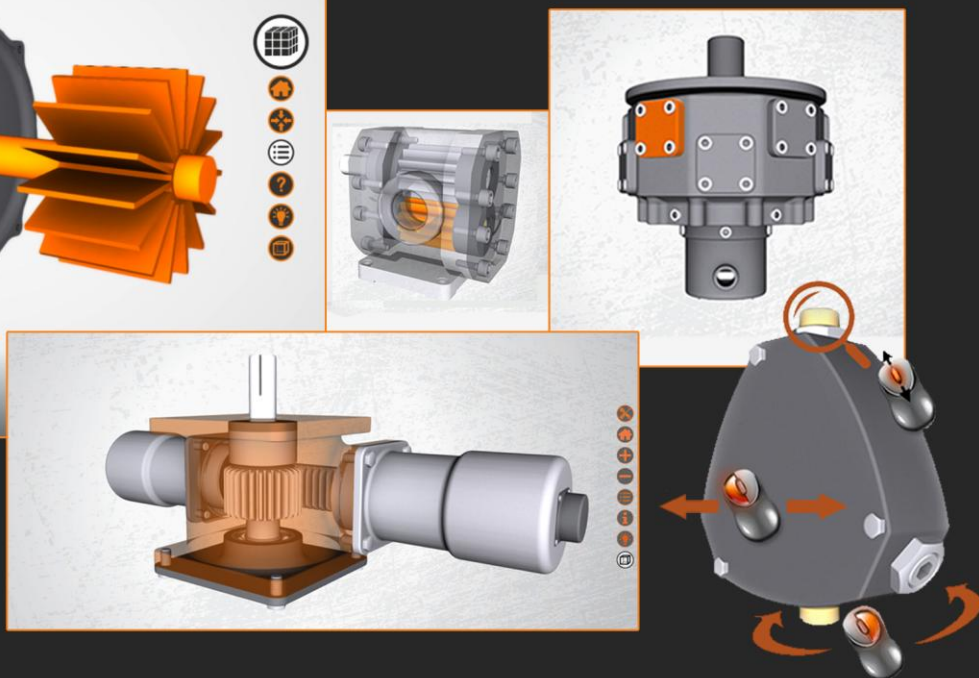
- Проблемы с текучкой кадров?
- Неоправданные затраты на обучение?
- Сотрудники долго и некачественно выполняют ремонт?

КОМПАНИЯ SIKE ПРЕДЛАГАЕТ УНИКАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ

ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА «ВИРТУАЛЬНЫЙ МЕХАНИК»



Быстрая подготовка
квалифицированного ремонтного
и обслуживающего персонала на
виртуальном оборудовании



Россия, г. Магнитогорск, 455023
Тел.: 8 (3519) 22-22-44, 22-04-05
E-mail: info@sike.ru
Сайт: sike.ru
Интернет-магазин: shop.sike.ru

«КАЛИБРОВОЧНОЕ БЮРО» Электронный научный журнал. Выпуск 8

Дата опубликования: 28.12.2016.

Издается в авторской редакции

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ: Кинзин Дмитрий Иванович.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор:

Д.И. Кинзин – кандидат технических наук, доцент.

Технический редактор:

С.А. Левандовский – кандидат технических наук, доцент.

Адрес редакции: 455000, г.Магнитогорск, ул. Ломоносова, 34, 8.

Адрес в Интернет: www.passdesign.ru.

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций и входит в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77–51759 от 23.11.2012

ISSN 2308-6440

© Кинзин Дмитрий Иванович

СОДЕРЖАНИЕ

Сортопрокатное производство	5
<i>А.Б.Моллер, О.Н.Тулупов, Д.И.Кинзин, С.А.Левандовский, С.Ю. Саранча</i>	
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ФАСОННОГО ПРОКАТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОГО КОМПЛЕКСА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ	5
<i>S. Spuzic</i>	
HOW TO REDUCE IMPACT OF INDUSTRIAL ROLLING ON GLOBAL RESOURCE CONSUMPTION AND CLIMATE CHANGE?	14
Листопрокатное производство	23
<i>М.И. Румянцев</i>	
РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ СИНТЕЗА ЧАСТНЫХ ОБЖАТИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ВАЛКАМИ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ НА ШИРОКОПОЛОСНЫХ СТАНАХ	23
<i>М.И.Румянцев, И.О.Новицкий, О.Б.Калугина, И.Д.Зелинов, Ю.А.Зелинова</i>	
НОВЫЙ АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ПЕРВОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ РЕЖИМА ОБЖАТИЙ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ В ТРАВильНО-ПРОКТНОМ АГРЕГАТЕ	33
Переработка проката	37
<i>А.К.Белан, А.Д.Картунов, О.А.Белан</i>	
ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ ГОРЯЧЕКАТАНОГО ПРОКАТА ПОД ХОЛОДНУЮ ШТАМПОВКУ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ	37
<i>A.S.Limarev, M.Y.Ushakov, I.Y.Mezin</i>	
REVIEW OF THE MAIN REQUIREMENTS FOR PERFORMANCE AND QUALITY CHARACTERISTICS OF THE RAILWAY BOLTING	42
Сведения об авторах	47

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).

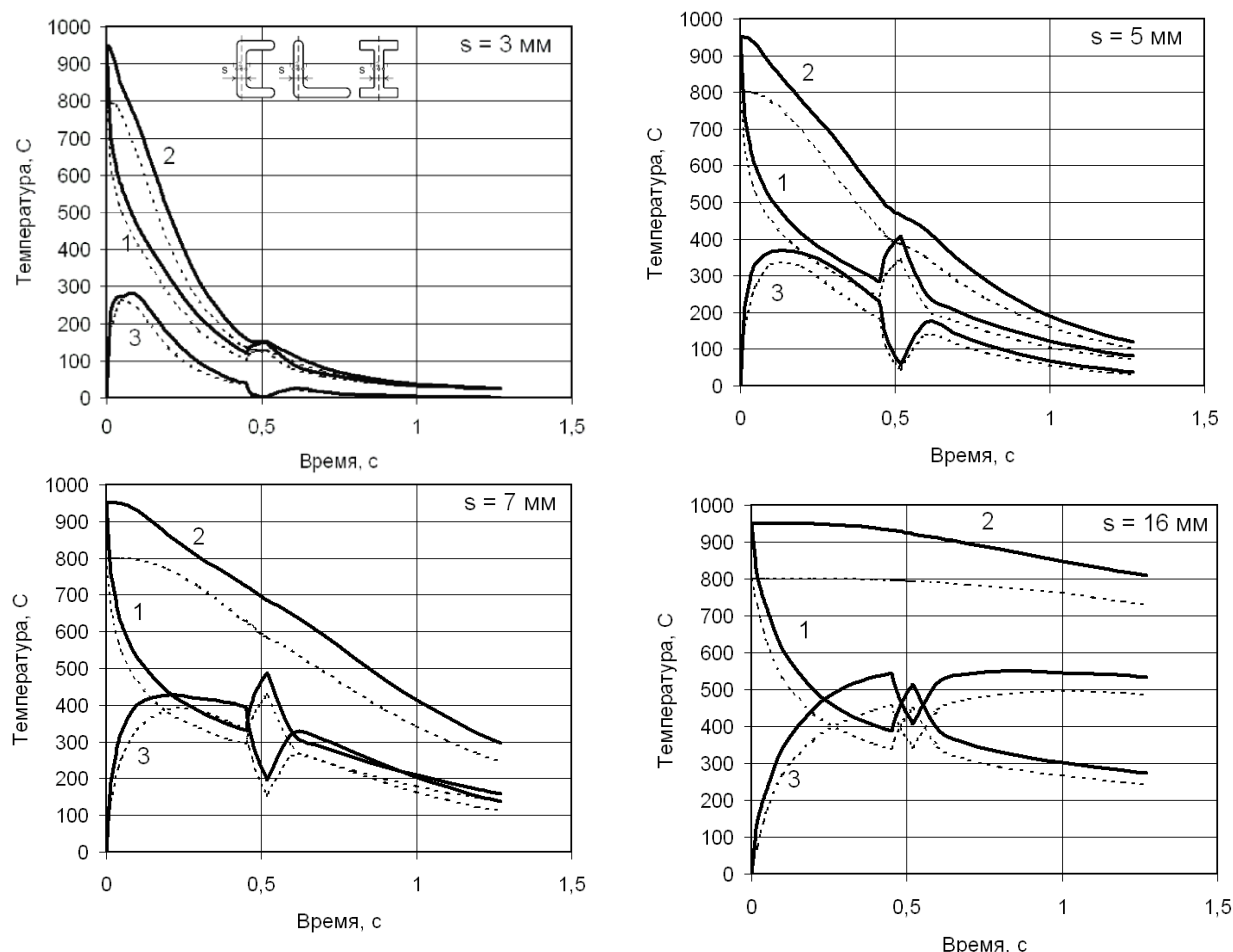
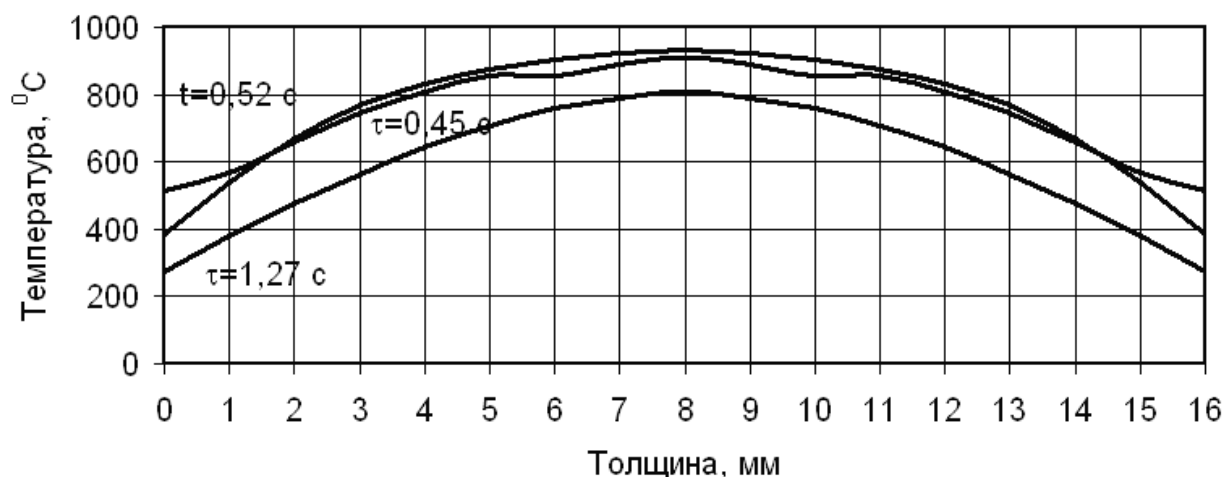


Рис. 1. Температурный режим охлаждения раската

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

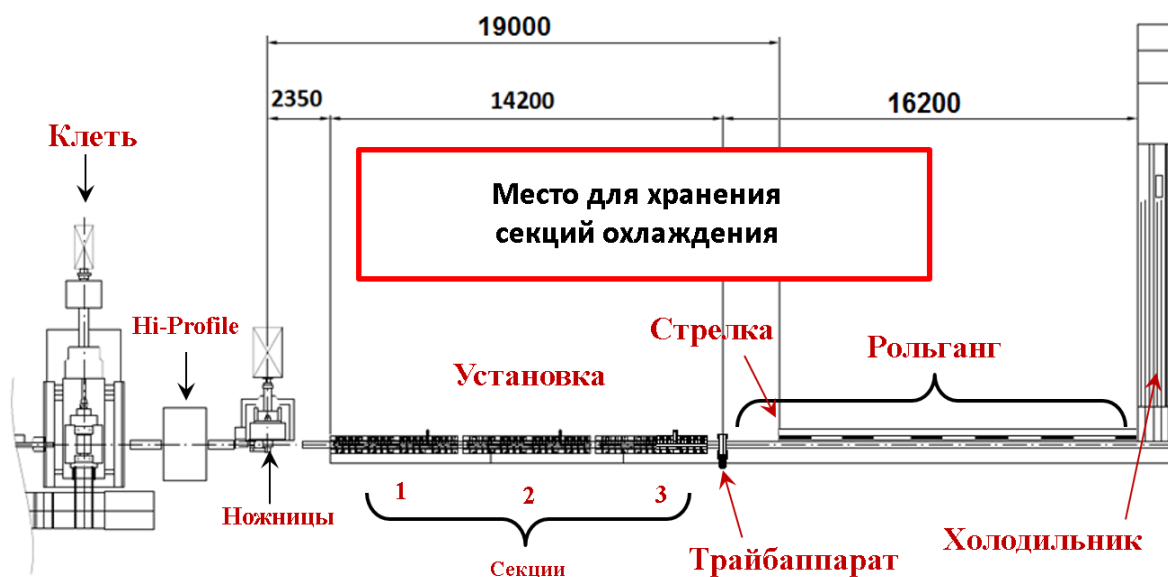


Рис. 3. Схема расположения установки линии водяного охлаждения (ЛВО) стана 450 ОАО «ММК»

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.

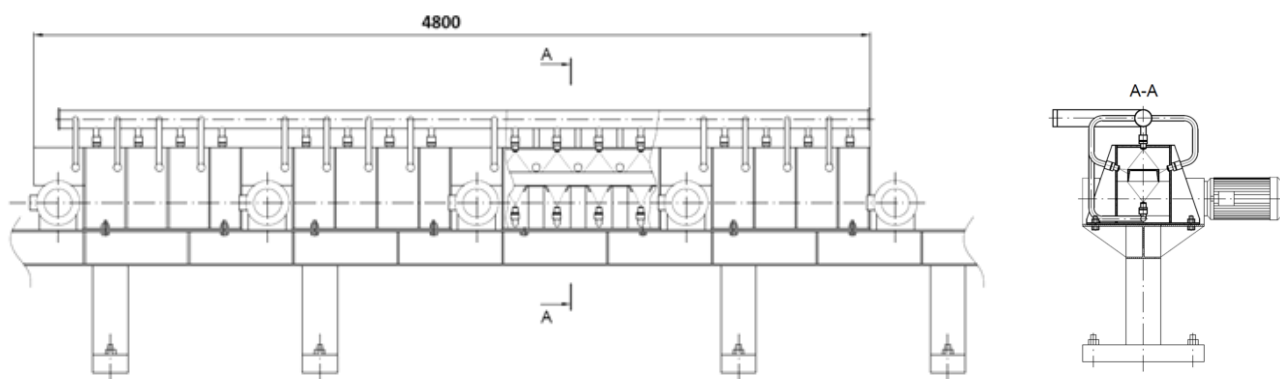


Рис. 4. Принципиальная схема секции ускоренного охлаждения

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.ni 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, С.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 С.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 С.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 С.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. С.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.

HOW TO REDUCE IMPACT OF INDUSTRIAL ROLLING ON GLOBAL RESOURCE CONSUMPTION AND CLIMATE CHANGE?

Abstract. Motivation for scrutinizing rolling process is triggered by growing evidence of anthropological causes of global climate change that are amplified by worldwide acceleration in natural resource consumption. While the key industries such as steel manufacturing systems are condition sine qua non for our progress, the rationalisation of relevant technologies is of critical importance. Hot rolling systems, which are in the heart of steel industry, are ineludible examples of unavoidable man-made enterprises crying for rationalisations. The promising avenue for decisive progress in (re)designing rolling systems is by implementing Big Data strategy for mitigating the problems in untenable production and in designing new processes. This strategy stems from recognising importance of knowledge extracted from data accumulated in industrial repositories. An internationally maintained collaboration between industry and academe is the prerequisite for application of proposed strategy in practice.

Keywords: global warming, natural resources, industrial rolling, rationalisation, big data.

Introduction

The alarming evidence of global warming, key resource decline, and consequent socio-economic disruptions indicate a need for addressing aspects of significance for future wellbeing. Rather than bluntly proposing various cutbacks in living standards (such as reductions in water and energy supply to urban settlements) a more intelligent and humanistic approach is to focus on further improvements and rationalizations in operating large-scale industrial enterprises. These gigantic man-made systems are governed by multinational corporations that are too often driven by narrowly defined profit. Typical examples are steel manufacturing plants. A conservative estimate indicates that the production of one tonne of steel product requires nearly 90 tonnes of fresh water. The complete metalworking sector and majority of complementary industries are seething with sources of environmental pollution and hazard. As another example, the gas and ore mining (that present the primary suppliers for steel industry itself) have critically affected landscape, food production, water security and communities across too many geographic regions [1].

However, awareness of this state of affairs must not overshadow mindfulness of their intrinsic and intended usefulness. The significance of metallic materials such as steel for constructing and maintaining infrastructure is well known. Abundant examples include Chaotianmen Bridge (with the world's longest arch span of 1,700 m) over the Yangtze River, Burj Dubai, the tallest skyscraper in the world (incorporating 4,000 tonnes of steel), Sydney Harbour Bridge (the world's largest steel arch bridge), trans-Pacific 9,000 km long undersea cable, (that includes steel wire along with other metallic components) connecting Oregon US and Japan, to mention just a few [1].

What makes steel so favourable as a construction material? Steel is one of the world's most-recycled materials, which makes it environmentally sustainable. This versatile, durable and affordable material has a very advantageous combination of elasticity, strength, plasticity and strain hardening, and these properties do not decline during the recycling process. When a structure such as a bridge or a power transmission tower is assembled and fastened, any individual component (column, joint) that is exposed to extreme stress, will react elastically. If load persists this component will adjust its dimension plastically to transfer the fraction of load on its neighbours. It will not lose integrity nor will undermine the integrity of the assembly. On the contrary, the deformed element will gain in strength, thus relaxing the stress in other members.

As the world's largest steel producers India and China China's iron and steel technology have stepped into post industrialization stage, the new road to industrialization must be taken and the ecological iron and steel technology system must be built, in order to solve the problems of resource, energy and environment. The entire industrialised world is faced with an imperative to realize "green production", to enforce the harmonious and sustainable development of the steel sector.

About 90% of all steel products (and about 80% of all metallics) are at some stage processed by rolling, and the foreseeable long-term global views imply growing requirements for metallic products of increasing quality, [2-7]. The challenge for contemporary rolling technology is how to reconcile this with the reality that, in addition to environmental pollution, the rolling plants consume enormous amount of energy that is generated mostly by fossil fuels (which, in turn, are nonrenewable resources).

The fossil fuel peak of discoveries has been passed and followed by a steady decline more than a half a century ago. Global environment in which these trends make their hefty impact is characterized by the disproportionate amount of energy resources consumed in technically inflated countries. Although the orientation on renewable sources of energy is gaining in progress (e.g. South Australia has closed its coal-based power plants; by 2020 Denmark will be producing half of its electricity from renewables) the growing challenge remains: how to reduce energy consumption and yet to sustain industrial development [1]?

Indisputable efforts are invested into improving the sustainability of rolling mill systems, but the global warming forecasts indicate that more must be done, more urgently. Apart from energy issues, the mill infrastructure is a matter that demands a particular focus. Steel rolling operations rely heavily on the availability of equipment such as rolls. The owners of such assets need to keep their equipment up and running as efficiently as possible. The last resort is replacing defective components with ready for use components. The defective components are usually expensive. Therefore, a defective component is repaired if possible and put back in operation. It is important to note that any instant of the process interruption (in order to perform such a replacement) causes considerable losses. One hour of delay (stoppage) in a typical rolling mill production process costs about \$ 30,000 [1].

The above issues ought to be resolved along with a continuous strive to improve the quality of rolled products. Quality is not just a complementary aspects, it is in fact the principal key performance indicator. The numerous paradigms promoted over the recent decades converge to emphasizing the need for implementing continuous improvements in manufacturing systems. Typical examples are Kaizen and Taguchi's philosophy.

Key features of Kaizen include.

1. Improvements are based on many small changes rather than the radical interventions.
2. As the ideas come from the workplace, they are less likely to be fundamentally different, and therefore these suggestions are easier to implement.
3. Small improvements are less likely to require major capital investment than major process changes, etc.

Taguchi's quality philosophy can be summarised as follows.

1. An important dimension of the quality of a manufactured product is the total loss generated by that product to society.
2. In a competitive economy, continuous quality improvement and cost reduction are necessary for staying in business.
3. A continuous quality improvement program includes an incessant reduction in the variation of product performance characteristic about their target values.
4. The final quality and cost of a manufactured product are determined largely by the engineering designs of the product and its manufacturing process.

The overall picture would be incomplete without realising that large multinational and national corporations operating rolling mills remain burdened by over-commercialisation and an emphasis on short-term profit. This results in too slow introduction of technological advances and, as a consequence, many current rolling systems are unsustainable. Moreover, there is a strong but narrow-minded trend of creating exclusive circles of so called inter-industry and intra-industry trades – closed within politically and economically allied countries [1].

In spite of efforts of institutions such as World Steel Association (<http://www.worldsteel.org>), Association of International Roll Pass Designers and Rolling Mill Engineers (<http://www.aikw.org>),

Kalibrovchnoe Biro (<http://www.passdesign.ru>) and Association for Iron & Steel Technology - AIST (<https://www.aist.org>), the above problems persist on a worldwide scale. Rolling system design consultants (such as WICON, Gerdau, Hatch, Morgardshammar and Danieli) and industrial technology departments (such as those incorporated in Voestalpine, Siemens AG, Sumitomo Heavy Industries, and Sandvik) are restricted by competitive environment and do not collaborate efficiently.

Academic interactions present a movement that acts to break these barriers, yet these initiatives need more institutional endorsement in order to prevail. Scientific advances in principle allow for significant technological improvements by means of introducing intelligent modifications in the material processing and product finalisation. Operations research theories developed a variety of models for analyzing complex dynamic systems, such as Markov modulated Poisson process, Non-stationary Poisson processes, Static or Dynamic Priority Rules, Decomposable Lagrangian multipliers. Multi-item repairable inventory models are abundant in literature [8].

Along with the vigorous research into advanced materials and new sources of energy, there is a whole spectrum of theoretical, analytical and intelligent methods that are explored within the research into design and optimisation of rolling systems. Theory of plasticity has been greatly elucidated by application of deterministic models such as FEM, slip-line and finite difference analyses. In spite of all this, the actual rolling practice outstrips understanding of it [9, 10]. When facing problems such as low productivity and poor quality, rolling system designers still must rely on costly trials and errors. New solutions by virtue of evolutionary algorithms are increasingly sought for by utilising rapid advances in computing technology [11-14].

In summary, there is an evident urge for complementing and combining the existing methodologies with additional strategies, might they be found within or beyond the boundaries of accustomed disciplines.

Promising avenues

The contemporary availability of growing industrial and academic databases and the capability of information technology and communication systems open a possibility to analyse this treasure and share the extracted knowledge in unprecedented volumes and at the speed of magnetic waves. Big data is a concept that embraces very large and/or complex data sets that may be analysed computationally to reveal patterns, trends, outliers and correlations. This strategy is already broadly utilized in the fields of social sciences, medicine, climatology, and increasingly in research related to global warming.

Big data analyses can make important contributions but also present unique challenges to international development, such as privacy and interoperability issues. Advancements in big data analysis offer cost-effective opportunities to improve decision-making in critical development areas such as technological infrastructure, operations and product quality [15-17].

Big data provides a methodology for unravelling uncertainties such as inconsistent component performance and availability. It facilitates real-time decisions that mitigate operation problems, such as downtime, by online transforming measurements into useful information. Vast quantity of sensory records (such as vibration, pressure, voltage, dimensions) present an information rich repository that can be correlated to the historical evidence of process key performance indicators [17, 18].

Cyber-physical implementations use information during the actual operations while analytical algorithms perform more reliably when more data throughout the machine's lifecycle is entered. There is a potential to systematically integrate, manage and analyse machinery, tool or process data during different stages of manufacturing operations. This includes the capacity to handle information such as system configuration more efficiently and further achieve better transparency of equipment and tool utilisation [18].

There is a well-accepted general understanding about the importance of analysing actual industrial records. The most valid evidence about the interplay of all possible variables in a rolling mill and the ultimate outcome is a factual manufacturing process. "Intelligent systems that continu-

ously learn and optimise the performance of rolling mills are extremely valuable for the manufacture of consistent/repeatable product quality. Rolling mill operations generate huge quantities of records, and this database has not been put to good use in the past. Developing analytical tools to utilise the manufacturing databases would be of great benefit to the industry. It only requires a small yield improvement to make a valuable financial contribution when rolling such large quantities of steel products" [19].

In essence, the principles of multivariate statistics, nonlinear optimisation and matrix algebra are projected to increasingly more complex and voluminous sets of data by virtue of analysis of principal components, canonical correlation and MANOVA, to mention just a few techniques. Analysing data in high dimensions by including hundreds of parameters is viable as long as the sufficient number of observations is made available. In summary, the reliable information can be extracted from big data and combined with a variety of empirical and deterministic approaches. Assortment of available mathematical methods that can be employed is quite rich (starting with descriptive techniques, via multivariate distributions and inferential statistics to probabilistic optimisation). Factor analysis and fuzzy logics can be used to uncover the latent structure (dimensions) of a set of variables. It reduces attribute space from a larger number of variables to a smaller number of factors. In the absence of sufficient observations, the statistical analysis can be combined with empirical and theoretical models leading to hybrid models.

However, on one side, the competitive environment that dominates in steel manufacturing industry prevents standardisation and open sharing these records. On the other side, even when published, these records show only summative key performance indicators, and technical parameters. When it comes to a more detailed information, the available records differ in customs and conventions. For example, technical drawings are dimensioned using non-standardised codes, tool life is defined using different criteria, etc. In order to translate industrial records into structured database, there is need to define these specificities using generic and standardised format. This will allow for applying mathematical methods to analyse processes of interest.

Initial attempts to utilize big data and apply mathematical analysis are taking place, usually including limited collaboration between a single industrial organisation and one research institution. For example, authors in [20] reported successful collaboration with a specific corporation operating industrial rolling mills. The company was interested in implementing corrective actions to improve quality management, and especially to prevent recurrence of production drawbacks. The need for investigation arose when management was urged to reduce the portion of finished product of unsatisfactory quality due to the presence of defects. Deciding on specific corrective measures for such complex production process that involves multiple stages entailed identifying an unknown combination of (two or more) factors that were responsible for the defect [20, 21].

Rolling technology aspects

A number of researchers observed that dynamic and morphometric factors (deformation rate, geometry and dimensions) rank high in the hierarchy of the variables controlling the rolling process. It is known that suboptimal geometric conditions during the rolling operation can distort the shape of the finished product as well as the distribution of the local plastic flow and kinematic parameters. The use of mathematical models to determine the reasons that a given metallurgical product is of low quality can significantly shorten the time needed to devise corrective measures and reduce the costs incurred in substantiating technological innovations [9-11, 21-22].

"Normal rolling conditions" can undergo many different changes during tool exploitation. After a roll change or an operation delay, rolls need some time to return to stable thermal conditions. Every new bar entering the mill creates an impact. Sometimes, severe rolling accidents occur, due to faults by operators, internal defects in the roll or rolled material, a power cut, mechanical problems, transportation hold-up or interruptions in the water cooling system. These "abnormal" rolling conditions are more or less quite "normal" for industrial operations, as roll damage often occurs with consequences for the mill and the rolled product. Evidently, the reasons of roll failure have to be discussed and analysed to reduce further risks. It is impossible to predict all such accidents, how-

ever, reasonable emergency rolling schedules can be anticipated, provided that engineers have sufficient knowledge of possible design boundaries and variants [23, 25].

Brinza et al. have shown that relations between geometric factors in the section-rolling and theoretical indices that characterize various components of the quality of deformed material can be generalized in mathematical models. A range of such models has been constructed, tested, and put to practical use in analysing the laws which determine the quality of rolled products. These models have been constructed using experimental and theoretical solutions of three-dimensional plastic flow expressed in terms of the mechanics of deformable solids. A set of geometric factors that uniquely characterize the deformation zone during the rolling in roughing passes was defined for the purpose of modelling the rolling process in bar and wire rod mills operated by company Evraz. Geometric parameters of rolling pathways were transformed into dimensionless factors and statistically analysed. The multivariate representation of the passes yielded significant information which enabled detection of technological reserves in the rolling process. Production records were collected over the period of three years of full production in 250 mm bar and wire rod mills. A universal method for process improvements is defined allowing for rapid corrections of the groove elements and the rolling protocol [20, 21].

Another example leading to big data approach is discussed by Appleton [11] who promotes hierarchical classification system termed Durham matrix-based methodology. This strategy, which has been successfully used in several areas, such as design for manufacture and maintenance planning, gives the designers an incentive to consider all input-related parameters, issues and concerns they think are important. The whole spectrum of mechanistic, materials, operation and maintenance data is embraced and analysed by means of manifold iterations.

Other authors explored whether significant statistics can be inferred by analysing published information about morphometric and dynamic aspects of rolling series. Pilot statistics indicated that significant correlations can be inferred by using various linear combinations of morphometric variables. There is a wide range of publications that provide information about rolling mills, roll materials, and rolled products that all fit into the same category with regard their technical configurations, chemical compositions of processed materials, etc. In order to apply multivariate analysis on morphometric data there is a need to invent appropriate generic functions that assign to each observation a unique combination of coefficients. Preliminary simplified analyses of morphometric data for symmetrical products have shown statistically significant correlations [9, 10, 24, 26].

Roll pass design (RPD) is a concept that is embedded in the heart of rolling mill technology. Bearing in mind that RPD is one of the most influential aspects, an assumption has emerged that significant patterns and correlations can be observed by analysing morphometric RPD series. Since all published designs of rolling series aimed to achieve the best key performance indicators, it follows that the statistical patterns and correlations can be extracted from this database. When these patterns are combined with empirical knowledge (e.g. spread calculations), probabilistic design allows for anticipating morphometric improvements for each individual pass. For example, minute corrections can be introduced to counterbalance the inevitable wear of the roll surface, when the analysed case statistically falls on the wrong side of the common trend [9, 10, 24].

The complexity of applied RPD depends on the level of expectations; some designs are intended to enable energy or productivity effective schedules, others aim at more exact morphometry or the best thermo-mechanical processing for the product microstructure. Roll grooves can be designed in a variety of ways at the same cost, but with significant economic consequences for both maintenance and operations. A complete RPD needs to take into account the gradual change in the groove contour during the rolling campaigns due to roll wear. As discussed above, this class of optimisations can be pursued based on knowledge extraction from databases constructed from industrial records.

First step in developing Big Data RPD is to describe rolling processes by means of structured matrices such as illustrated by Eq. (1):

$$A = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

In order to apply multivariate analysis on morphometric records defining more complex grooves there is a need to invent appropriate generic functions that assign to each observation a unique combination of coefficients.

The elements in the matrix A must present morphometric parameters for the subsequent passes along the rolling sequence. These parameters are successfully defined using Chebyshev polynomials to provide a generic formulation that filters out the insignificant differences in morphometric RPD records. In this way the principal features of the rolling pass sequence are represented by dimensionless parameters. This multivariate representation provides significantly more information which further enables making inferences about technological RPD reserves of the process [26].

Although a significant correlation can be inferred based on morphometry of rolling passes exclusively, for extracting more comprehensive knowledge about the process the matrix A needs to be further extended. This is done by including additional process parameters of interest (e.g. product and tool specifications such as chemical composition, and operation variables such as rolling temperature and velocity).

Matrix B components can be summarised as follows:

1. productivity;
2. yield;
3. reliability;
4. quality;
5. costs.

Ultimately, matrix A needs to be correlated with corresponding matrix B where the process output parameters are embraced. When knowledge about multivariate distributions of RPD parameters is presented in a conceivable fashion, the reliability of predictions increases proportionally to the quantity of the observations and the predictors taken [26].

Sequel

The quantity of published theoretical works addressing plastic forming by rolling and related solid mechanics and materials science is impressive. However, the resulting models do not offer sufficiently close approximations to real actualisations in the case of the design of rolling process, simply because they fail to include all significant variables. In addition, it appears that idealisation of experimental designs in laboratories and the resulting deterministic models undermine their service as possible realisations in practice [27].

Theoretical derivations and idealised experiments are caught in the trap of the first principles and so-called natural laws. Practical applications (empowered by today's improved detectors and sensors) indicate that the "laws" hold only under limited circumstances that often do not reflect the real situations of practical importance. Complex mathematical formalisations appear to serve only for the self-purpose of theory itself – not for the purposes of practice, i.e. for solving the problem as it has been stated. As explained by Griesemer [28]: "A theory does not count as formalized unless its presentation in a conceptual notation is actually used in these practices. In other words, formalization is a practice, not merely a state, property, or condition of a theory. Successful formalization affords increased facility or even makes possible new kinds of theoretical and empirical practice (that were) unavailable without (such) formalization".

Theories of physics of solids, continuum mechanics, elastoplasticity and thermodynamics provide the grounds on which the industrial processes of rolling are designed and constructed initially. Yet, these methods alone do not provide sufficient optimisation effects in the actual manufac-

turing operations. This means that costly corrections and trials must be undertaken at the resource-consuming industrial scale. In this scenario the information about the multifactorial correlation between the critical dependent variables and actually independent and controllable parameters is decisive. The knowledge of how we can affect the outcomes within the scope of real controls must be ranked highly in the hierarchy of modelling of the rolling process [27].

Although the sensors, actuators and the logics of pertinent loop control are constructed based on exact scientific theories, the key idea of their operation is the so-called "black-box" principle. We do not need to know exactly why the output changes due to other factors, as long as we know that by changing a limited number of the input control factors we can control the process. The prerequisite for this is to define the system operation and maintenance statistics, which are ultimately estimated by means of a statistically significant number of repetitions. Records of such repetitions are abundant in rolling mills, however, published sources providing such databases are rare [27].

Attempts were made to share in such data bases with institutions and companies involved in similar research and fabrication. Communication with potential industrial stakeholders was met with initial interest that advanced only to a point where access to industrial data bases was requested. The industrial correspondents exhibited an interest in receiving, however, not in providing, information.

On the other side, academics are interested in collaboration related to this topic; the following are several examples of institutions from which the positive responses were received over recent 5 years.

1) The University of West Bohemia; contact: Prof. Dr. Ing. Bohuslav Mašek, Director FORTECH (e-mail: masekb@kmm.zcu.cz and bohuslav.masek@mb.tu-chemnitz.de) The Research Centre of Forming Technology, Czech Republic (<http://fortech.zcu.cz>).

2) National University of Science and Technology "MISIS", <http://en.misis.ru/>; contact: Dr. Viacheslav V. Brinza, Director, The Scientific and Research Center of Technological Forecasting (e-mail: viachbrinza@mail.ru) Russia (misis.ru/spglnk/b3631767).

3) The University of Adelaide; contact: A. Prof. Reza Ghomashchi, School of Mechanical Engineering (<http://mecheng.adelaide.edu.au>) (e-mail: reza.ghomashchi@adelaide.edu.au) Structures and Materials Group, Australia (www.mecheng.adelaide.edu.au/mrg/).

4) The University of South Australia, <http://www.unisa.edu.au/> Contact: A. Prof. Kazem Abhary (<http://people.unisa.edu.au/Kazem.Abhary>) School of Engineering, (<http://www.unisa.edu.au/IT-Engineering-and-the-Environment/School-of-Engineering>) (e-mail: kazem.abhary@unisa.edu.au).

5) CQ university Australia, Contact: Dr. Ramadas Narayanan, School of Engineering Technology, (<https://www.cqu.edu.au/>), Australia, Qld 4670 (e-mail: r.narayanan@cqu.edu.au).

6) Faculty of Metallurgy and Materials (<http://www.famm.unze.ba/>) – a member of the University of Zenica (<http://www.unze.ba/>); contact: Prof. Faik Uzunovic e-mail: fa.uzun@yahoo.com (Head of the Department for Working-Processing of Metals).

Conclusions

Initiative for employing Big Data strategy to RPD is motivated by recognising the following.

(i) The need for sustaining industrial practice in operating rolling mills that deliver current and develop new products of continuously increasing quality and quantity (volume of manufactured steel has surpassed 1,6 billion tons per year).

(ii) The necessity for urgently reducing the natural resource consumption and carbon emission caused by the above industry.

(iii) The demand for activating multi-disciplinary research synergy by connecting academics and professional engineers at a level of coordinated international collaboration.

(iv) The urge for unlocking access to growing industrial and academic databases and take advantage of capability of information technology and communication systems to share the extracted knowledge.

(v) The need to shift the competition attitude from an emphasis on short-sighted profit and knowledge ownership towards a competition based on inventiveness in applying advanced technology, sustainable operations, and constructive distribution of profit.

Along with the well established statistical merits, the criteria for evaluating the Big Data RPD strategy include the following questions:

- (i) whether or not it incites continuous improvement in product quality, and improved control with regard to morphometric, mechanical, metallurgical and other aspects as specified by standards;
- (ii) does it lead to an increase in production yield (due to a decrease in scrap and losses caused by production interruptions);
- (iii) how it enhances and increases productivity (due to a decrease in the frequency and duration of the delays, and due to decrease in the overall duration of the manufacturing campaigns);
- (iv) whether it assists in improving the system reliability (due to extended tool life); and
- (v) does it lead to a decrease in the overall sustainability of the operations, both with regard to commercial viability of the metalworking plant and with regard to environmental impacts?

Big data paradigm, which provides designers with powerful tools for transforming intricate records accumulated in manufacturing systems into useful knowledge, opens promising avenues in search for improving design of complex systems such as rolling mills.

References

1. S. Spuzic, R. Narayanan, P. Gudimetla, Big Data Model – An Application to Design of Rolling Process, keynote lecture presented at the International Conference on Innovative Material Science and Technology (IMST2016), Shenzhen, China, 19-21 August 2016.
2. S. Kalpakjian, Manufacturing engineering and technology (Pearson Education India, 2013).
3. Y. Lee, Rod and bar rolling: theory and applications (CRC Press, 2004).
4. M. Poursina, N. T. Dehkordi, A. Fattahi and H. Mirmohammadi, Application of genetic algorithms to optimization of rolling schedules based on damage mechanics, Simulation Modelling Practice and Theory, 22, 61-73 (2012).
5. R.A. Muniz, Non-Linear Finite Element Method Simulation and Modeling of the Cold and Hot Rolling Processes (Virginia Polytechnic Institute and State University, 2007).
6. A. Dubois, E. Luc, M. Dubar, L. Dubar, C. Thibaut and J.-M. Damasse, Initiation of sticking during hot rolling of stainless steel plate, Procedia Eng, 81, 1958-1963 (2014).
7. J. Schey, Introduction to manufacturing processes (McGraw-Hill, New York 1999).
8. J. Arts, A multi-item approach to repairable stocking and expediting in a fluctuating demand environment, Eur. J. Oper. Res. (2016).
9. K. Abhary, K. Garner, Z. Kovacic, S. Spuzic, F. Uzunovic and K. Xing, A Knowledge Based Hybrid Model for Improving Manufacturing System in Rolling Mills, Key Eng. Mater., 443, 3-8 (2010).
10. K. Abhary, Z. Kovacic, S.-E. Lundberg, R. Narayanan and S. Spuzic, The application of a hybrid algorithm to roll pass design, Int. J. Adv. Manu. Tec. (2015).
11. E. Appleton and E. Summad, eds., Roll Pass Design: A 'Design for Manufacture' View, 2nd European Rolling Conference, AROS Congress Center, Västerås, Sweden, pp. 24-26 (2000).
12. S. Riljak, Numerical simulation of shape rolling (Stockholm: Royal Institute of Technology 2006).
13. F. Lambiase and A. Langella, Automated procedure for roll pass design, J. Mater. Eng. Perform., 18, 263-272 (2009).
14. V. Oduguwa and R. Roy, A review of rolling system design optimisation, Int.J. Mach. To. Manu., 46, 912-928 (2006).
15. E. Letouzé et. al., Big data for development: Challenges & opportunities, New York: UN Global Pulse (White Paper): Big Data for Development: Opportunities & Challenges (2012). Retrieved on 13 April 2016 from [http://www.unglobalpulse.org/projects/BigDatafor Development](http://www.unglobalpulse.org/projects/BigDataforDevelopment).

16. M. Hilbert, Big data for development: From information-to knowledge societies, United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean, Retrieved on 25 July 2016 from http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2205145.
17. "Manufacturing: Big Data Benefits and Challenges". TCS Big Data Study. Mumbai, India: Tata Consultancy Services Limited. Retrieved on 3rd Jun 2014 from <http://sites.tcs.com/big-data-study/manufacturing-big-data-benefits-challenges/#>.
18. J. Lee, F. Wu, W. Zhao, M. Ghaffari, L. Liao and D. Siegel, Prognostics and health management design for rotary machinery systems-Reviews, methodology and applications, *Mech. Sys. sig. process.* 42, 314-334 (2014).
19. O. Gregory, correspondence with the Director, ARC Research Hub for Australian Steel Manufacturing (2014).
20. V. Brinza, I. Kuznetsov and A. Yur'ev, Geometric conditions in bar rolling, *Steel in Translation*, 44, 517-522 (2014).
21. V. Brinza and I. Kuznetsov, Modeling the Laws that Determine the Quality of Rolled Rounds During the Rolling Operation, *Metallurgist*, 58, 510-515 (2014).
22. S. Spuzic, D. Hapu Arachchige, Z. Kovacic, K. Abhary and R. Narayanan, Some trends in roll design for manufacture of long products, *Steel and metallurgy - a complete magazine special issue on 2nd international conference on rolling and finishing technology of Steel*, 17, No.11, 32-39, (2015).
23. K. Schroder, A basic understanding of the mechanics of rolling mill rolls, *Eisenwerk Sulzau-Werfen, ESW-Handbook*, 54-56 (2003) Retrieved on 23 Jun 2016 from http://www.brcil.com/common/downloads/technical/Rolling_Mill_Rolls.pdf.
24. S. Spuzic and K. Abhary, A Contribution to Rolling Mill Technology – Roll Pass Design Strategy for Symmetrical Sections, *Der Kalibreur*, 75, 14-27 (2014).
25. S. Byon, D. Na and Y. Lee, Effect of roll gap adjustment on exit cross sectional shape in groove rolling-Experimental and FE analysis, *J. Mater. Process. Technol.*, 209, 4465-4470 (2009).
26. S. Spuzic, R. Narayanan, Z. Kovacic, D. Hapu Arachchige, K. Abhary (2016) Roll Pass Design Optimisation, *Int. J. Adv. Manuf. Tech.* (accepted for published in the International Journal of Advanced Manufacturing Technology).
27. D. Mulcahy, S. Pignata, N. Rajendhiran, S. Spuzic, F. Uzunovic, R. Narayanan, N. Vaikundam and K. Fraser, eds., Some issues related to knowledge transfer in postgraduate research and education, 11th Biennial QPR Conference - Quality in Postgraduate Research, Adelaide (2014).
28. J. Griesemer, Formalization and the meaning of "theory" in the inexact biological sciences, *Biological Theory*, 7, 298-310 (2013).

М.И.Румянцев
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

РАЗВИТИЕ МЕТОДИКИ СИНТЕЗА ЧАСТНЫХ ОБЖАТИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ ВАЛКАМИ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ НА ШИРОКОПОЛОСНЫХ СТАНАХ

Аннотация. Рассмотрены закономерности распределений частных обжатий горизонтальными валками в черновой и чистовой группах широкополосного стана горячей прокатки. Выявлены методы выбора частных обжатий, обеспечивающие наименьшие отклонения первого приближения режима деформации от применяемого на практике.

Ключевые слова: широкополосный стан горячей прокатки, частное обжатие за проход, режим обжатий в черновой группе, режим обжатий в чистовой группе.

Введение

Деформация металла на широкополосном стане горячей прокатки (ШСГП) производится в черновой и чистовой группах клетей, в каждой из которых осуществляется N_R и N_F проходов соответственно. Прокатку в черновой группе клетей рекомендуют производить с максимально возможным обжатием в каждой клети так, чтобы суммарное обжатие черновой прокатки было бы не менее 75-90% общего обжатия, необходимого для получения из заданного сляба полосы необходимой толщины. Такой подход позволяет наиболее полно использовать высокую пластичность относительно толстого и горячего раската, а также обеспечивает наиболее высокую температуру конца черновой прокатки, что благоприятно влияет на условия прокатки в первых чистовых клетях. При чистовой прокатке основными задачами считают обеспечение заданной толщины и удовлетворительной плоскостности полосы, рациональной температуры конца прокатки и наибольшей производительности [1, 2]. Указанные различия задач черновой и чистовой прокатки предопределяют необходимость применения различных методов выбора обжатий.

Закономерности режимов обжатий в черновой группе

Особенности режимов деформации раскатов из стали различных марок (рис. 1) рассмотрим для стана 2000 ОАО «ММК» в черновой группе которого установлены шесть клетей с горизонтальными валками. Первая из них – клеть дуо с валками диаметром 1400 мм, остальные – универсальные клети кварто с рабочими валками диаметром 1180 мм. Анализ абсолютных обжатий (рис. 1) показал, что отчетливо просматриваются две характерных стратегии деформации горизонтальными валками. Особенности стратегий оценивали напряжением текучести при стандартных условиях испытания σ_{s0} , значение которого определяли с реального учета химсостава стали по методике Л.В.Андреюка [3], и коэффициентом использования длины бочки валков $\beta_L = b_k / L_p$ (где b_k – ширина полосы, L_p – длина бочки рабочего валка).

Первая стратегия (рис. 1, а) используется при прокатке относительно мягких марок стали (σ_0 не более 85 МПа), либо при прокатке нешироких раскатов ($\beta_L < 0,64$) прочных марок стали. Для этого варианта характерно, что в первой клети применяется пониженное абсолютное обжатие в пределах 30-35 мм. Во второй и третьей клетях оно достигает 53-56 мм (в отдельных случаях – 60 мм), а затем монотонно снижается до 15-20 мм в последней клети. При наблюдаемых относительных обжатиях в первом проходе $\varepsilon/100 = 0,12-0,15$ (в среднем 0,135). Следовательно, в этом случае

$$\Delta h_{R1} = 0,135 \cdot H_{cl} \quad (1)$$

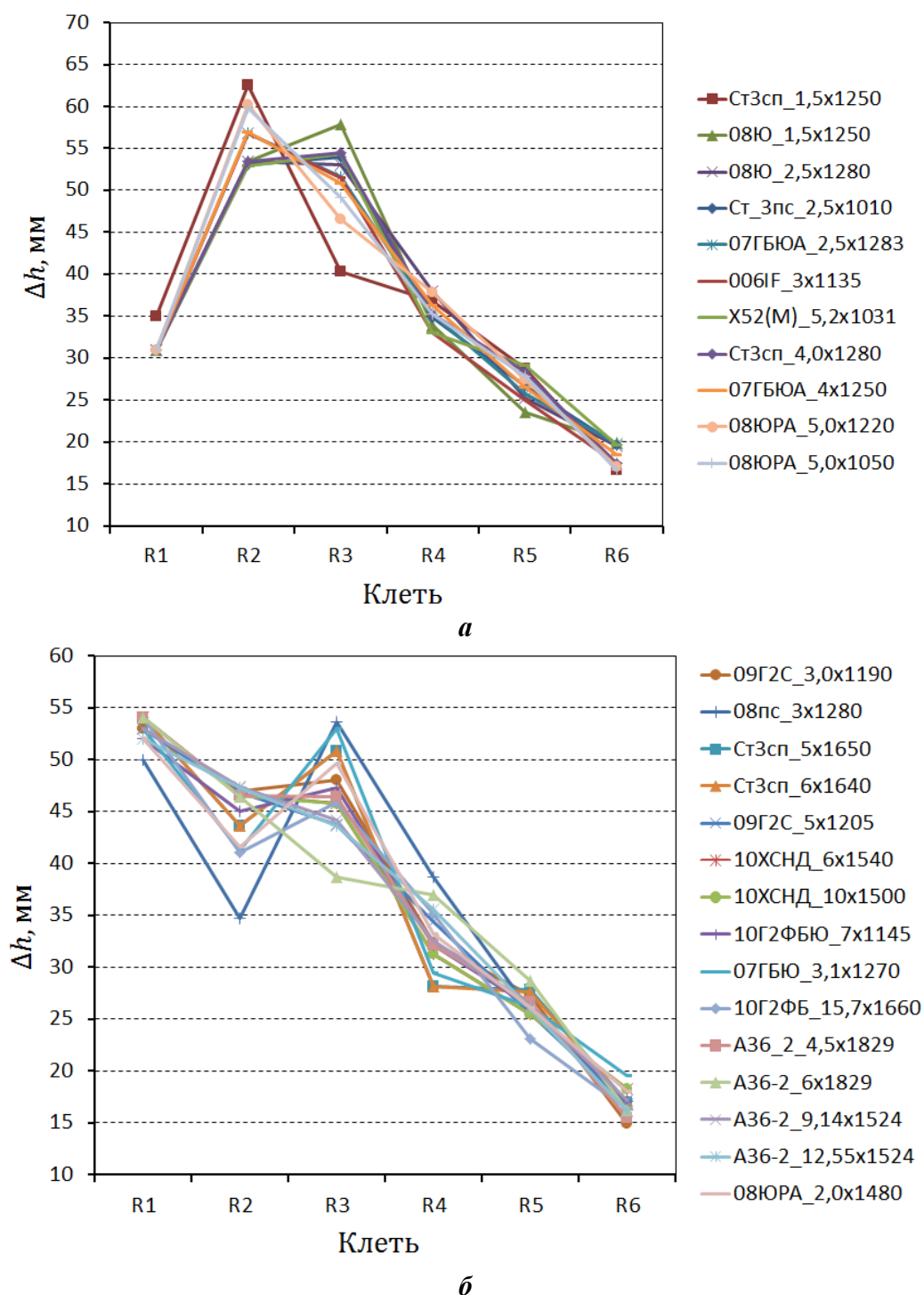


Рис. 1. Распределение абсолютных обжатий по клетям черновой группы ШСГП 2000:
 а – σ_0 не более 85 МПа, β_L не более 0,64; б – σ_0 более 85 МПа, β_L более 0,64

Вторая стратегия деформации горизонтальными валками применяется при прокатке прочных марок стали ($\sigma_0 > 85$ МПа), а также при прокатке широких раскатов ($\beta_L > 0,64$). Для него характерна следующая тенденция (рис. 1, б): наибольшее абсолютное обжатие (50-55 мм) производится в первой клетке, во второй и третьей клетях оно снижается до 40-46 мм, а затем убывает до 15-20 мм в последней. Абсолютное обжатие в первом черновом проходе составляет 0,83-0,92 от допустимого по условию захвата $[\Delta h_{R1}]_\alpha$ (в среднем $\Delta h_{R1}/[\Delta h_{R1}]_\alpha$ равно 0,875). Следовательно, в этом случае (скорость прокатки около 1 м/с,

валки стальные с гладкой бочкой) коэффициент условий захвата $K_\alpha=0,042$ и абсолютное обжатие в первом проходе

$$\Delta h_{R1} = [\Delta h_{R1}]_\alpha = 0,875 K_\alpha D_p = 0,875 \cdot 0,042 \cdot D_p = 0,037 \cdot D_p. \quad (2)$$

Методы синтеза режима обжатий в черновой группе ШСГП

Для синтеза режима обжатий горизонтальными валками в черновой группе ШСГП могут быть использованы несколько методов. Известен, например, подход к синтезу режимов обжатий [4], который можно назвать методом долей суммарного абсолютного обжатия (МДСАО). Суть метода заключается в том, что абсолютное обжатие в i -м проходе Δh_i задается как доля $\beta_{\Delta hi}$ от суммарного обжатия за все проходы, т. е. от толщины сляба $H_{сл}$ до толщины раската за черновой группой h_p ($\Delta h_\Sigma = H_{сл} - h_p$):

$$\Delta h_i = \beta_{\Delta hi} \Delta h_\Sigma. \quad (3)$$

Очевидно, что значения долей обжатия связаны с особенностям компоновки и характеристикам оборудования черновой группы. Например, на рис. 2 приведены усредненные значения $\beta_{\Delta hi}$ для непрерывных станов 2000 ОАО «НЛМК», ОАО «Северсталь», ОАО «ММК» и 1700 ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» («МарМК им. Ильича», Украина), а также полунепрерывного стана 2500 ОАО «ММК». Во всех случаях отчетливо проявляются различия в связи с коэффициентом использования длины бочки рабочего вала (при увеличении β_L доли обжатия в первых проходах, как правило, уменьшаются). На станах 2000 доли обжатия в первой черновой клетки выше, чем на станах 1700 «МарМК им. Ильича» и 2500 ОАО «ММК». Это, вероятно, связано с тем, что в черновых группах станов 2000 имеются вертикальные окалиноломатели, а на станах 1700 и 2500 разрушение печной окалины приходится производить в первом черновом проходе.

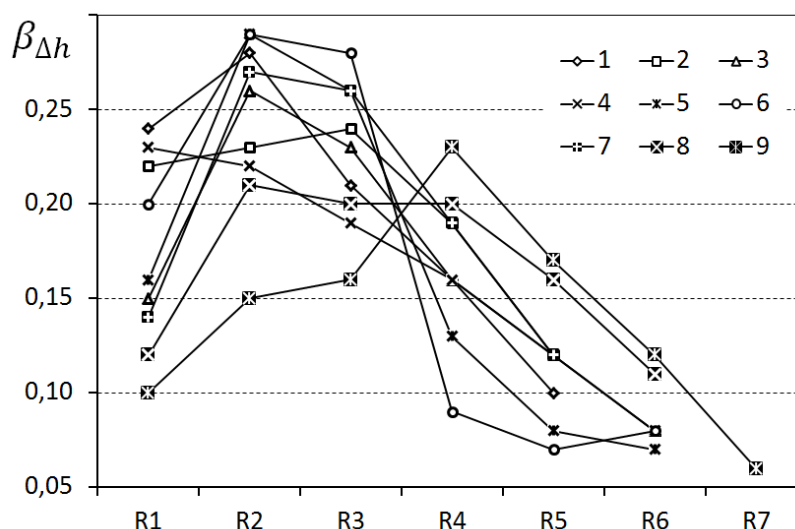


Рис. 2. Доли обжатия при прокатке в черновых группах различных ШСГП:

1 и 2 — непрерывные станы 2000 ОАО «Северсталь» и ОАО «НЛМК»

($N_R = 5$, $\beta_L < 0,64$ и $\beta_L > 0,64$); 3 и 4 — непрерывный стан 2000 ОАО «ММК»

($N_R = 6$, $\beta_L < 0,64$ и $\beta_L > 0,64$); 5 и 6 — непрерывный стан 1700 ПАО «МарМК им. Ильича»;

7, 8 и 9 — полунепрерывный ШСГП 2500 ОАО «ММК» ($N_R = 5$; $N_R = 6$ и $N_R = 7$)

Более универсальным является метод коэффициентов обжатия [5] (МКО), в котором формализован подход, предложенный Н.В.Литовченко [6]. Из предположения линейного распределения коэффициентов обжатия $\eta_i = h_{i-1}/h_i$ по черновым проходам ($i = 1, \dots, N_R$) получили [7]

$$\eta_{Ri} = \eta_{R1} + 2(i-1) \frac{\sqrt[N_R]{H_{cl}/h_p} - \eta_{R1}}{N_R - 1}, \quad (4)$$

где η_{R1} – коэффициент обжатия в первом черновом проходе, значение которого может быть выбрано, например, из условия захвата. В действительности распределение коэффициентов обжатия по черновым проходам не является линейным и в зависимости от особенностей прокатываемых профилей (марка стали, ширина и др.) варьируются в широких пределах.

Анализ закономерностей режимов обжатий при прокатке крупногабаритных листов [8] показал, что более точно реальные распределения обжатий отображаются с применением показателя $\eta_{\Sigma i}/\eta_{\Sigma}$, где $\eta_{\Sigma i} = H_{cl}/h_{i1}$ – коэффициент накопленного обжатия от толщины сляба до толщины после i -го прохода h_{i1} ; $\eta_{\Sigma} = H_{cl}/h_p$ – коэффициент суммарного обжатия в черновой группе. На основе указанного показателя разработан метод коэффициентов накопленного обжатия (МКНО) и применительно к черновым группам ШСГП найдена зависимость из которой получили следующее выражение для определения коэффициента накопленного обжатия в i -м проходе:

$$\eta_{\Sigma i} = \eta_{\Sigma} \left(0,1889 - 0,0174\beta_L - 0,0197\sqrt{\eta_{\Sigma}} \right) \exp \left[2,1056(i/N_R)^{1,218} \right]. \quad (5)$$

Чтобы оценить погрешности рассмотренных методов, сравнили прогнозируемые значения абсолютных обжатий с наблюдавшимися в условиях прокатки на ШСГП 2000 ОАО «ММК», которым соответствуют графики на рис. 1.

Оценки погрешностей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Оценки погрешности режимов обжатий в черновой группе ШСГП, разработанных с применением различных методов

Характеристики точности	Методы			
	МКО	МКНО	МДСАО	МКНО ⁺
δ_{\min} , %	-55,16	-91,28	-64,77	-30,09
δ_{\max} , %	45,59	51,25	38,25	19,58
$\bar{\delta}$, %	-1,99	-0,14	-1,24	-0,70
s_{yx} , мм	5,41	9,40	5,72	4,06

Наименьшую точность обнаружил метод коэффициентов накопленного обжатия (диапазон погрешности $\Delta_{\delta} = |\delta_{\min}| + |\delta_{\max}| = 142,53\%$ при стандартной ошибке $s_{yx} = 9,4$ мм), хотя ему же соответствует наименьшее по модулю значение средней погрешности ($\bar{\delta} = -0,14\%$). Погрешности методов коэффициентов деформации и долей суммарного обжатия меньше и практически одинаковые (Δ_{δ} 100,7 и 103,02%, s_{yx} 5,41 и 5,72 мм, $\bar{\delta}$ 1,99 и 1,24% соответственно). Анализ источников погрешности МКНО показал, что наибольшие отклонения прогнозируемых обжатий от действительных наблюдаются в первой и второй черновых клетях при прокатке по первой стратегии деформации. Причиной этого является то, что в методах МКО и МДСАО в явном виде учитывается факт применения пониженного обжатия в первом черновом проходе, а метод МКНО дает монотонно убывающее распределение обжатий, что характерно для прокатки по второй стратегии. Чтобы повысить точности

Диапазон погрешности сократился до $\Delta_{\delta}=49,67\%$. При практически такой же, как у остальных методов средней погрешности ($\bar{\delta} = -0,7\%$), стандартная ошибка оценивания снизилась до 4,06 мм (табл. 1).

Закономерности режимов обжатий в чистовой группе

Основными ограничениями параметров прокатки в чистовой группе являются прочность клетей и возможности привода, а условия захвата как ограничение могут проявиться только в первой клетке при использовании раската увеличенной толщины. Анализ практики работы ШСГП 2000 ОАО «ММК» показал, что полосы толщиной не более 5 мм прокатываются в семи чистовых клетях, а при толщине более 12 мм – используются пять клетей. Если должна быть прокатана полоса толщиной от 5 до 12 мм, то критерием для выбора числа клетей является отношение $\beta_{bh} = b_k/h_k$. При $\beta_{bh} > 210$ используется шесть чистовых клетей, а в противном случае – пять [9]. Во всех случаях частные обжатия убывают от первой чистовой клетки к последней (рис.5).

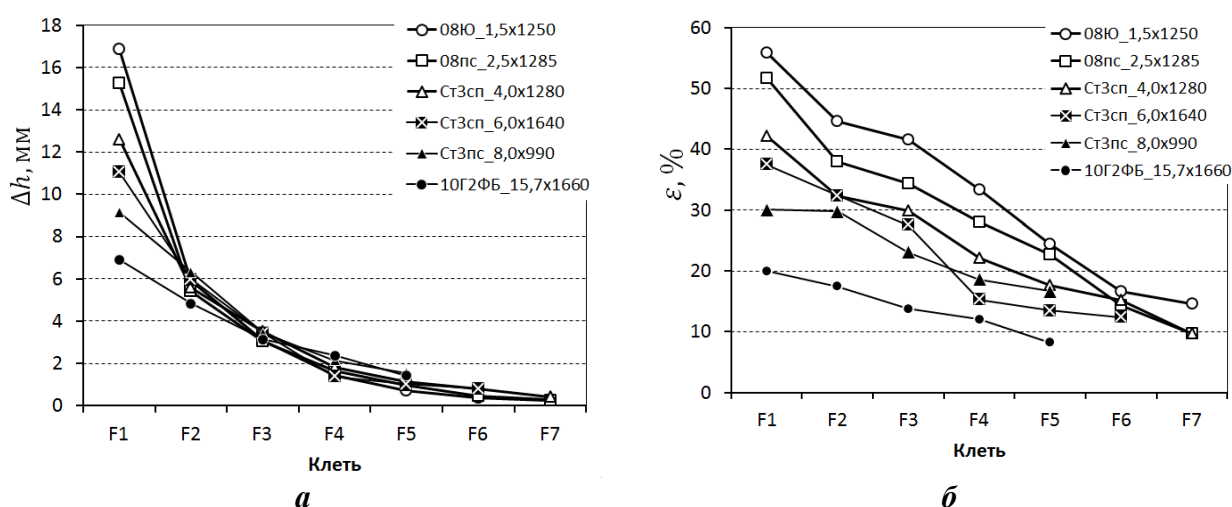


Рис. 5. Распределения абсолютных (а) и относительных (б) частных обжатий по клетям чистовой группы ШСГП 2000

Метод синтеза режима обжатий в чистовой группе

Указанные выше особенности обусловили широкое распространение для синтеза режима обжатий в чистовой группе ШСГП метода Имаи. Метод базируется на следующей формуле (приводится на основании [10] с использованием обозначений, принятых в нашей работе):

$$h_{li} = \frac{h_p h_k}{\sqrt[im]{\beta_{wi} h_p^{im} + (1 - \beta_{wi}) h_k^{im}}}, \quad (6)$$

где im – коэффициент, рассчитываемый по формуле:

$$im = 0,30 + \frac{0,21}{h_k}; \quad (7)$$

β_{wi} – коэффициенты использования мощности главных приводов:

$$\beta_{wi} = \sum_{j=1}^{j=i} W_j / \sum_{i=1}^{i=N_F} W_i, \quad (8)$$

W_i – мощность, необходимая для прокатки в i -й клетки.

В отечественной литературе метод впервые описан Ю.В.Коноваловым и др. [11], причем для прокатки в семи клетевой чистовой группе обоснованы следующие значения β_{Wi} : 0,16; 0,33; 0,49; 0,66; 0,79; 0,90 и 1,00. Уравнения (5 и 6) получены без учета числа чистовых проходов N_F , которое, однако, в зависимости от размеров полосы и прочности стали, может меняться от 5 до 7. Так как в связи с различным числом активных клеток чистовой группы проявляются отчетливо выраженные особенности режимов деформации [9], задачу выбора коэффициентов β_{Wi} необходимо рассмотреть для каждого конкретного N_F отдельно.

Чтобы повысить обоснованность режимов обжатий, получаемых на основе формулы Имаи, были исследованы распределения коэффициентов β_{Wi} при прокатке полос различной толщины. В работе [12] такое исследование было выполнено для случая прокатки полос толщиной 1,2-2,5 мм как специфической части размерного сортамента ШСП. В работе [13] выделены две группы толщин: «тонкие» (до 4,0 мм включительно) и «толстые» (более 4 мм). Прокатку тонких полос рассматривали в 7, а прокатку толстых полос – в 6 клетях. С учетом того, что толстые полосы могут прокатываться не только в шести, но и в пяти чистовых клетях, выполнили аналогичный анализ с учетом этих случаев и получили распределения коэффициентов, указанные в табл. 2.

Таблица 2

Фактические распределения коэффициентов загрузки приводов чистовых клеток ШСП при прокатке полос различной толщины

Вариант	Толщина полосы, мм	N_F	Клеть						
			F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
1	1,2-2,5	7	0,19	0,32	0,52	0,67	0,81	0,92	1,00
2	2,6-5,0	7	0,17	0,34	0,49	0,65	0,78	0,89	1,00
3	5,1-8,0	6	0,19	0,35	0,52	0,68	0,84	1,00	-
4	8,1-12,0	6	0,16	0,30	0,47	0,62	0,80	1,00	-
5	8,1-12,0	5	0,18	0,36	0,57	0,75	1,00	-	-
6	Св. 12,1	5	0,17	0,33	0,52	0,71	1,00	-	-

Как и в работах [12-13] эти распределения аппроксимировали полиномами второй степени относительно номера клетки i

$$\beta_{Wi} = a_0 + a_1 i + a_2 i^2. \quad (9)$$

Коэффициенты регрессии зависимости (9) для различных вариантов чистовой прокатки приведены в табл. 3, а блок-схема алгоритма синтеза режима обжатий методом Имаи с учетом указанных дополнений представлена на рис. 6.

Таблица 3

Коэффициенты уравнения (9) для различных вариантов прокатки в чистовой группе ШСП

Вариант	Толщина полосы, мм	N_F	Коэффициенты уравнения		
			a_0	a_1	a_2
1	1,2-2,5	7	-0,0126	0,2036	-0,0083
2	2,6-5,0	7	-0,0240	0,1979	-0,0073
3	5,1-8,0	6	0,0187	0,1669	-0,0006
4	8,1-12,0	6	0,0264	0,1227	0,0065
5	8,0-12,0	5	0,0221	0,156	0,0077
6	12,1 и более	5	0,0541	0,1001	0,0174

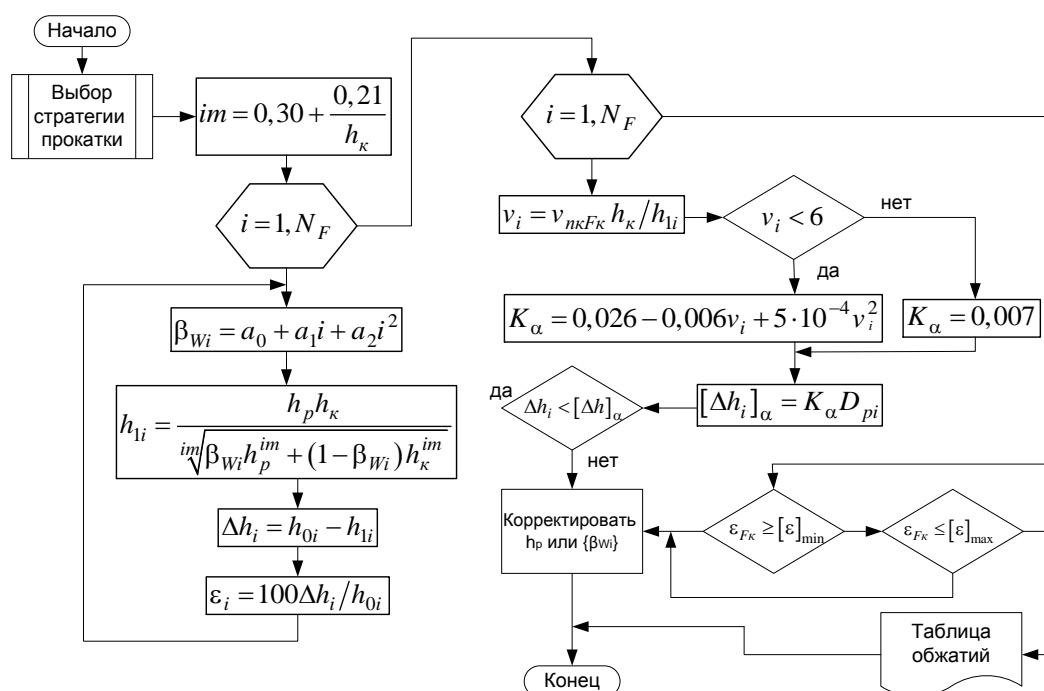


Рис. 6. Алгоритм синтеза режима обжатий в чистовой группе ШСГП на основе метода Имаи

Сначала выбирается вариант стратегии чистовой прокатки (число активных чистовых клеток N_F , диапазон рациональных значений степени деформации $[\varepsilon_{Fk}]_{min}$ и $[\varepsilon_{Fk}]_{max}$, скорость захвата переднего конца полосы $v_{нкFk}$ в последней катающей клетки, а также коэффициенты полинома, аппроксимирующего распределение β_{wi} по чистовым клетям). Затем рассчитываются толщины на выходе из клеток и характеристики деформации. Найденные абсолютные обжатия сравниваются с максимальными допустимыми по условиям захвата $[\Delta h]_\alpha$, величина которых определяется с учетом влияния скорости прокатки на коэффициент условий захвата в чистовой группе ШСГП [12-13]. Также проверяются соответствие относительного обжатия в последней катающей клетки ε_{Fk} диапазону рациональных значений. Если какое либо из указанных ограничений нарушается, необходимо скорректировать толщину раската или коэффициенты β_{wi} .

Погрешность разработанного алгоритма оценили сравнением значений абсолютных обжатий, прогнозируемых с его применением и обжатий, наблюдавшихся при прокатке на ШСГП 2000 ОАО «ММК». Контрольные выборки получали случайным отбором параметров прокатки 100 полос из массивов данных, полученных с применением датчиков АСУ ТП (всего 2697 наблюдений при $N_F = 5$, 1188 для $N_F = 6$ и 6483 при $N_F = 7$). Диапазон погрешности находится в пределах от 37,8 до 49,4 % при среднем значении от -0,6 до 0,2%. Стандартная ошибка оценки колеблется от 0,57 до -0,63 мм (табл. 4).

Таблица 4

Оценки погрешности режимов обжатий в чистовой группе ШСГП, разработанных на основе метода Имаи

Характеристики точности	N_F		
	5	6	7
$\delta_{min}, \%$	-20,0	-19,9	-25,0
$\delta_{max}, \%$	19,8	17,9	24,4
$\bar{\delta}, \%$	-6,1	-2,1	0,2
$S_{yx}, \text{ мм}$	0,58	0,63	0,57

Диаграммы соответствия прогнозируемых и наблюдавшихся обжатий (рис.7) так же показывают достаточно высокую точность прогноза.

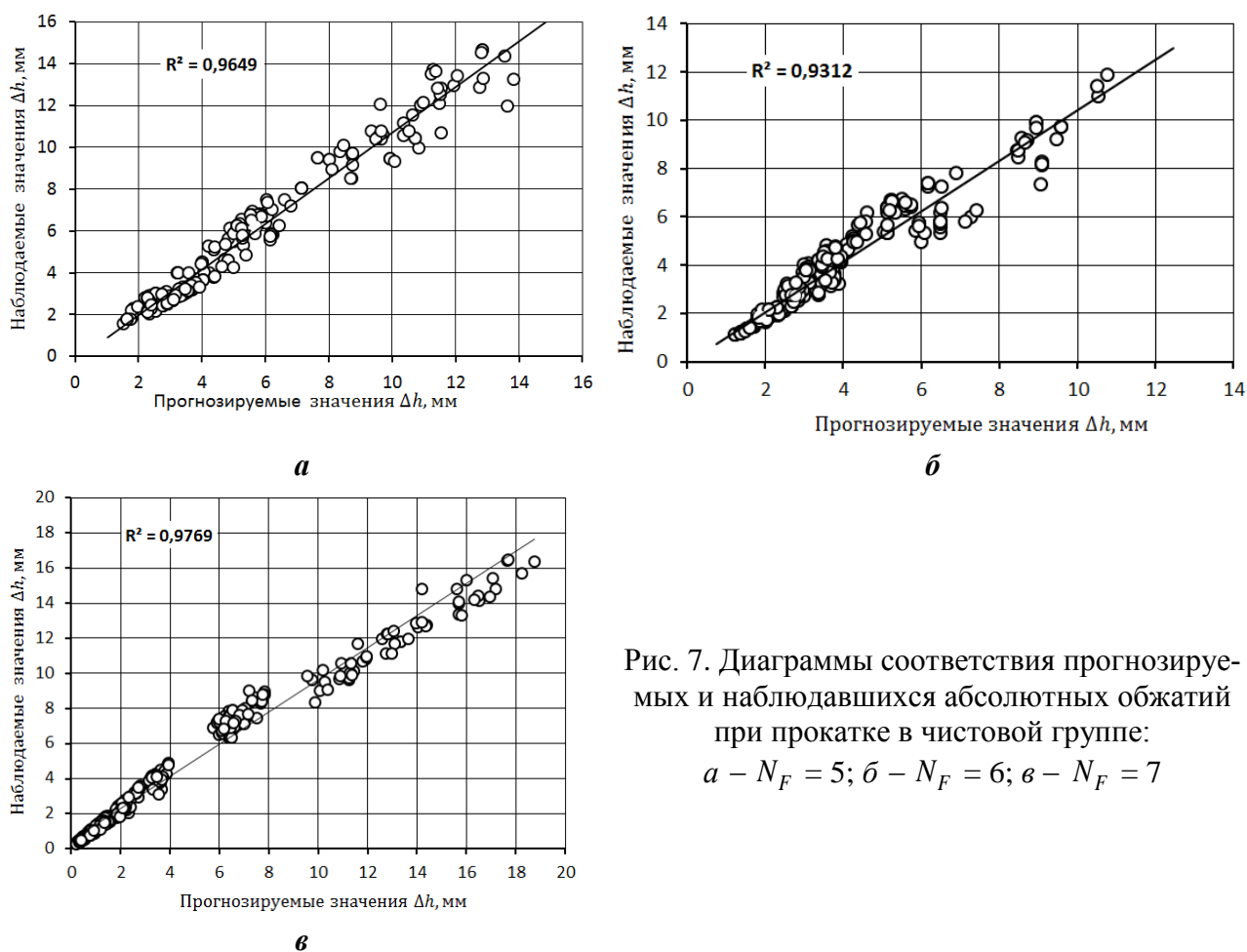


Рис. 7. Диаграммы соответствия прогнозируемых и наблюдавшихся абсолютных обжатий при прокатке в чистовой группе:

a – $N_F = 5$; *б* – $N_F = 6$; *в* – $N_F = 7$

Заклучение

Выполненный анализ позволил выделить две стратегии прокатки в черновой группе ШСГП. Деформация относительно мягких марок стали (σ_0 не более 85 МПа), либо нешироких раскатов ($\beta_L < 0,64$) прочных марок производится с пониженным абсолютным обжатием в первом проходе, а при прокатке прочных марок стали ($\sigma_0 > 85$ МПа), а также широких раскатов ($\beta_L > 0,64$) абсолютное обжатие в первом проходе максимальное. По остальным черновым проходам в обеих стратегиях реализуется убывающее распределение абсолютных обжатий. Наиболее точное первое приближение режима обжатий в черновой группе достигается при использовании метода коэффициентов накопленного обжатия с регламентацией величины деформации в первом проходе.

В чистовой группе полосы толщиной не более 5 мм прокатываются в семи чистовых клетях, а при толщине более 12 мм – используются пять клетей. Если должна быть прокатана полоса толщиной от 5 до 12 мм, то критерием для выбора числа клетей является отношение $\beta_{bh} = b_k/h_k$. При $\beta_{bh} > 210$ используется шесть чистовых клетей, а в противном случае – пять. Во всех случаях частные обжатия убывают от первой чистовой клетки к последней. Для обеспечения высокой точности первого приближения режима деформации в чистовой группе в алгоритме синтеза режима обжатий при чистовой прокатке на основе метода Имаи необходимо предусмотреть выбор коэффициентов загрузки приводов мощностью в зависимости от числа активных клетей и заданной толщины полосы.

Библиографический список

1. Горячая прокатка широких полос / В.Н.Хлопонин, П.И.Полухин, В.И.Погоржельский, В.П. Полухин. М.: Металлургия, 1991. 198с.
2. Коновалов Ю.В. Справочник прокатчика. Справочное издание в 2-х книгах. Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос. М.: «Теплотехник», 2008. 640с.
3. Андреюк Л.В., Тюленев Г.Г., Прицкер Б.С. Аналитическая зависимость сопротивления деформации сталей и сплавов от их химического состава // Сталь. 1972. №6. С.522-523.
4. Погоржельский В.И. Контролируемая прокатка непрерывнолитого металла. М.: Металлургия. 1986. 151с.
5. М.И. Румянцев. Методика разработки режимов листовой прокатки и ее применение // Вестник МГТУ. 2003, №3. С.16-18.
6. Литовченко Н.В. Станы и технология листовой прокатки. М.: Металлургия, 1979. 272с.
7. Румянцев М.И. Опыт развития и применения автоматизированного проектирования режимов горячей и холодной прокатки листовой сталиразнообразного назначения на станах различных типов // Труды девятого конгресса прокатчиков: Череповец 15-18 апреля 2013г. Т2. Череповец: Череповецкий гос. университет. 2013. С.43-54.
8. Румянцев М.И. Развитие методики синтеза режима обжатий при прокатке крупногабаритных листов на толстолистовых станах // Калибровочное бюро. 2013. №2. С.91-100. URL: <http://passdesign.ru/numbers> (дата обращения: 10.01.2016).
9. Румянцев М.И. Развитие методики синтеза режима обжатий при горячей прокатке на широкополосных станах. Сообщение 1. Выбор числа активных чистовых клетей. // Калибровочное бюро. 2015. №6. С.100-107. URL: <http://passdesign.ru/numbers> (дата обращения: 10.01.2016).
10. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник. М.: Металлургия, 1985. 430с.
11. Коновалов Ю.В., Налча Г.И., Савранский К.Н. Справочник прокатчика. М.: Металлургия, 1977. 312с.
12. Производство горячекатаного листового проката для замещения холоднокатаного аналогичного назначения / М.И. Румянцев, И.Г. Шубин, Р.А. Исмаилов и др. Монография. Магнитогорск: ФГБУ ВПО МГТУ, 2012. 217с.
13. Обоснованный выбор режима обжатий в чистовой группе широкополосного стана горячей прокатки / В.М. Салганик, М.И. Румянцев, А.Г. Соловьев, Д.С. Цыбров // Производство проката. 2010. №5. С.16-20.
14. Румянцев М.И. Развитие методики синтеза режима обжатий при горячей прокатке на широкополосных станах. Сообщение 2. Выбор толщины промежуточного раската // Калибровочное бюро. 2014. №4. С.23-32. URL: <http://passdesign.ru/numbers> (дата обращения: 02.05.2015).

● INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH ●

M.I.Rumyantsev

Nosov Magnitogorsk State Technical University

**DEVELOPMENT THE METHODOLOGY FOR SYNTHESIS
OF SOLITARY REDUCTIONS BY MEANS THE HORIZONTAL ROLLS
IN WIDE STRIP HOT ROLLING MILLS**

Abstract. The patterns of the distributions of the solitary reductions by means of the horizontal rolls in roughing and finishing groups of wide strip hot rolling mill have been considered. The methods for a choice the solitary reductions, providing the minimum deviation between real modes of deformation and theirs first approximations, have been identified.

Keywords: wide strip hot rolling mill, solitary reduction per pass, mode of the reductions in roughing group, mode of the reductions in finishing group.

М.И.Румянцев, И.О.Новицкий, О.Б.Калугина, И.Д.Зелинов, Ю.А.Зелинова
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

НОВЫЙ АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ПЕРВОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ РЕЖИМА ОБЖАТИЙ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ В ТРАВИЛЬНО-ПРОКТНОМ АГРЕГАТЕ

Аннотация. Получены зависимости, которые позволяют формализовать выбор рационального режима обжатий методом заданных мощностей при холодной прокатке в совмещенном травильно-прокатном агрегате 2000 (PLTSM 2000). Степень соответствия прогнозируемых и действительных рациональных толщин достигает 99,8%.

Ключевые слова: холодная прокатка, совмещенный травильно-прокатный агрегат, режим обжатий, мощность двигателя, коэффициент загрузки.

В работе [1] описан метод синтеза режима обжатий на непрерывном стане холодной прокатки по критерию заданных мощностей двигателей главного привода (рис. 1), разработанный на основе «базисного метода» определения удельного расхода энергии, который предложили А.В.Третьяков и Б.Е.Локшин [2]. В данном методе W_i – активная мощность, которую должен отдать двигатель i -ой клетки, чтобы осуществить процесс прокатки в ней, определяется относительно номинальной мощности привода $W_{ном}$ с помощью коэффициента k_i :

$$W_i = W_{ном} \cdot k_i. \quad (1)$$

Кроме указанных в тексте, на рис. 1 использованы следующие обозначения: H_0 – толщина подката, мм; h_k – толщина х/к полосы, мм; γ_{520} и k_{520} – коэффициенты, учитывающие отличия валков узлов от валкового узла стана 520/1016x740, D_p – диаметр рабочих валков, мм; σ_T – предел текучести, МПа; σ_ϕ – временное сопротивление разрыву, МПа; M_x и M_y – параметры кривой удельного расхода энергии; A_Σ – работа, затрачиваемая на тонну, кВт·час/т; C – количество часов на тонну, час/т; A_i – удельный расход энергии в i -ой клетки, кВт·час/т; $A_{\Sigma i}$ – накопленный удельный расход, кВт·час/т; h_i – толщина полосы после i -го прохода, мм.

Однако в работе [1] рекомендации по выбору k_i отсутствуют. Для обоснования выбора коэффициента загрузки двигателя применительно к прокатному модулю агрегата PLTSM 2000, был проведен анализ данных, накопленных ранее при выполнении исследования [3]. Рассматривали прокатку полос толщиной от 0,33 до 3 мм из подката шириной 1000 до 1670 и толщиной от 1,8 до 6 мм с пределом текучести от 280 до 550 МПа. На основании отчетов АСУ ТП о параметрах прокатки находили толщину полосы на выходе из каждой клетки $h_{i\phi}$ и для той же клетки методом последовательного приближения подбирали коэффициенты k_i , которые обеспечивали расчетное значение толщины h_{ip} , вычисленное по алгоритму на рис. 1, такое, чтобы выполнялось условие: $|h_{ip} - h_{i\phi}|/h_{i\phi} \leq 0,1$. Пределы текучести подката прогнозировались с применением формул, представленных в работе [4], а кривые упрочнения по формулам, представленным в работе [5].

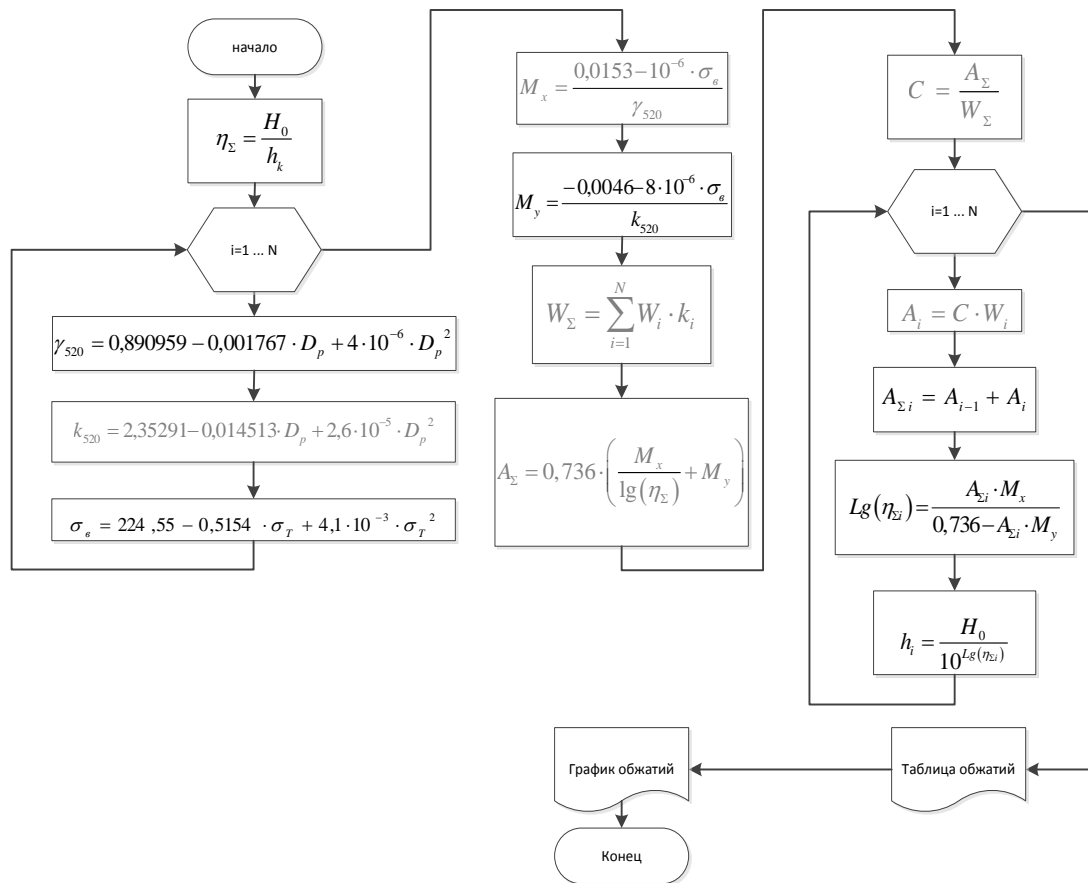


Рис. 1. Исходный алгоритм синтеза режима обжатый [1]

Оказалось, что сумма $\sum_{i=1}^N k_i / \eta_\Sigma$ (где $\eta_\Sigma = H_0 / h_k$ – коэффициент суммарного обжаты от толщины подката H_0 до толщины готовой полосы h_k) стремится к единице с погрешностью не более 10%. Таким образом отношение k_i / η_Σ можно рассматривать как долю β_i , которую составляет частный коэффициент обжаты в i -ой клетки ($\eta_i = h_{0i} / h_{1i}$) относительно суммарного коэффициента обжаты ($\eta_\Sigma = H_0 / h_k$), т.е.:

$$\beta_i = (h_{0i} / h_{1i}) / (H_0 / h_k). \quad (2)$$

С помощью программного комплекса «STATISTICA», применяя инструмент «Общие регрессионные модели» и процедуру «Лучшие подмножества», установили, что в каждой клетки $\beta_i = f_i(i; \eta_\Sigma; \sigma_H)$ и наилучшими отображениями указанной тенденции для клеток 1-4 являются следующие аппроксимации:

$$\beta_1 = 0,2401 + 0,0214\eta_\Sigma - 0,0049\eta_\Sigma^2 + 0,00002\sigma_H\eta_\Sigma; \quad (3)$$

$$\beta_2 = -0,0430 + 0,0003\sigma_H + 0,0915\eta_\Sigma - 0,0112\eta_\Sigma^2; \quad (4)$$

$$\beta_3 = 0,1073 + 0,0339\eta_\Sigma - 0,0070\eta_\Sigma^2 + 0,0001\sigma_H\eta_\Sigma; \quad (5)$$

$$\beta_4 = 0,1749 - 0,0014\eta_\Sigma^2. \quad (6)$$

Доля клетки 5, сходя из того, что $\sum_{i=1}^N \beta_i \rightarrow 1$:

$$\beta_5 = 1 - \sum_{i=1}^4 \beta_i. \quad (7)$$

Для определения требуемой величины активной мощности двигателя ($W_i = W_{ном} \cdot k_i$) необходимо привести рассчитанные значения β_i к коэффициентам k_i :

$$k_i = \beta_i \cdot \eta_{\Sigma}. \quad (8)$$

На основании полученных данных алгоритм определения толщины и предела текучести, представленный на рис. 1, можно привести к следующему виду (рис. 2):

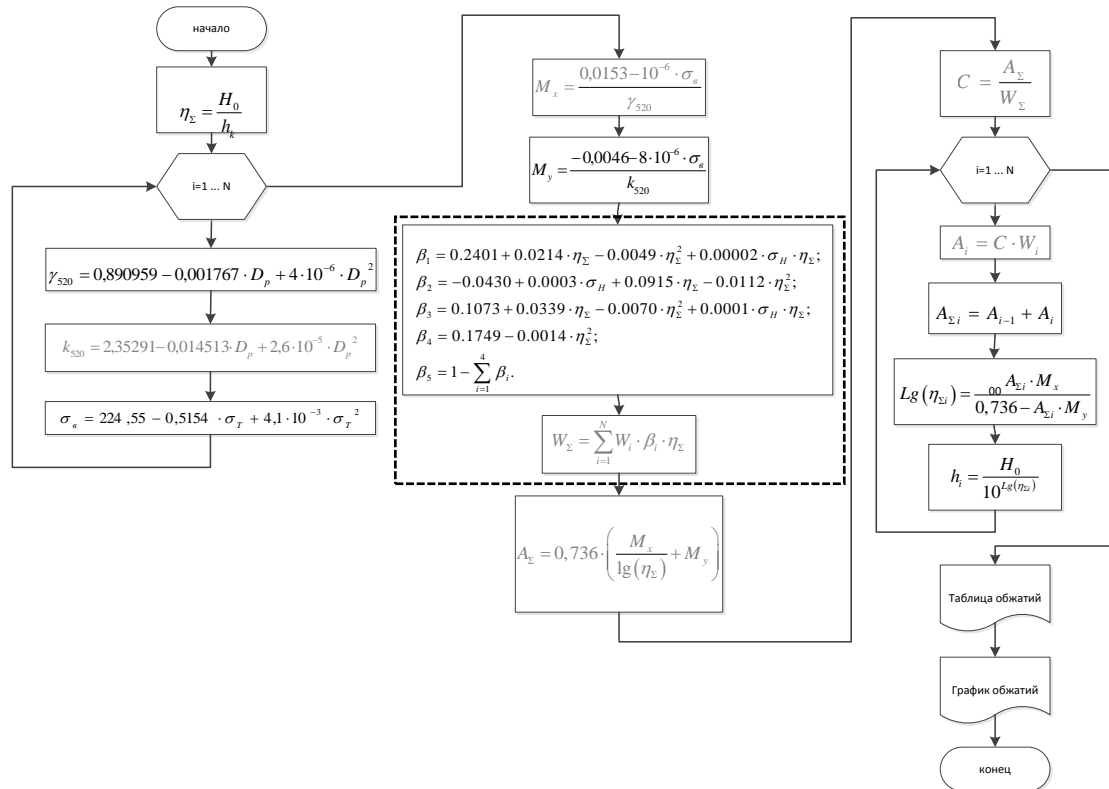


Рис. 2. Модернизированный алгоритм синтеза режима обжатий

Сравнение фактических толщин на выходе из клеток и толщин, прогнозируемых по модернизированному алгоритму (рис. 2) показало, что степень их соответствия достигает 99,8% (рис. 3).



Рис. 3. Диаграмма соответствия прогнозируемых и фактических значений толщины полосы на выходе из клеток

Таким образом, выявлена сущность коэффициентов загрузки приводов, которые применяемых в методе [1] синтеза режима обжатий при холодной прокатке на непрерывном стане, а также получены выражения для расчета указанных коэффициентов применительно к прокатному модулю агрегата PLTCM 2000. Результаты исследования позволяют формализовать выбор частных обжатий по клетям прокатного модуля и тем самым повысить их обоснованность, а также являются основой для изучения особенностей взаимосвязей толщины полосы и активной мощности привода на станах холодной прокатки других типов.

Библиографический список

1. Выбор первого приближения скоростного режима при автоматизированном проектировании непрерывной холодной прокатки / В.М.Салганик, М.И.Румянцев, Б.Я.Омельченко и др. // Труды четвертого конгресса прокатчиков. М.: ОАО «Черметинформация», 2002. С.163-171.
2. Оптимальная производительность станов холодной прокатки / Г.Л. Химич, А.В.Третьяков, Э.А.Гарбер, М.А.Макарова. М.: Металлургия, 1970. 240с.
3. Анализ особенностей режимов работы травильно-прокатного агрегата 2000 ОАО «ММК» / Сарычев Б.А., Денисов С.В., Горбунов А.В. и др. // Труды IX конгресса прокатчиков 2013. С.141-146.
4. M.I. Rumyantsev. Generalized algorithm aided design modes of rolling and its application for developing technology of PLTCM 2000. CIS Iron And Steel Review 2014(9). Pp.40-44.
5. Сравнение методов прогнозирования деформационного упрочнения металла при автоматизированном проектировании режимов холодной прокатки / Румянцев М.И., Шубин И.Г., Митасов В.С. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова. 2012. №2. С.39-42.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

M.I.Rumyantsev, I.O.Novitsky, O.B.Kalugina, I.D.Zelinov, J.A.Zelinova
Nosov Magnitogorsk State Technical University

THE NEW SYNTHESIS ALGORITHM FOR A FIRST APPROXIMATION OF DRAUGHTING SCHEDULE DURING COLD ROLLING INTO PICKLING-ROLLING MILL

Abstract. The relationships between drive usage of a rolling stand and yield strength and summary reduction were obtained. This relationships makes it possible to formalize a choice of draughting schedule in combination pickling-rolling mill 2000 (PLTCM 2000). The formula was found using target power method. The degree of conformity between forecasting and actual rational thickness achieved 99,8%.

Keywords: cold rolling, combination pickling-rolling mill, draughting schedule, engine power, drive load factor.

А.К.Белан

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

А.Д.Картунов, О.А.Белан

ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ»

ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ ГОРЯЧЕКАТАНОГО ПРОКАТА ПОД ХОЛОДНУЮ ШТАМПОВКУ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация. В статье рассмотрены оборудование и технология подготовки горячекатаного проката для последующей холодной штамповки различных видов крепежных изделий.

Ключевые слова: проволока, калиброванный прокат, волочение, крепеж, холодная объемная штамповка, степень деформации, обжатие.

В качестве исходного сырья для штамповки крепежных изделий используется катанка или горячекатаный прокат. Поставляемый с металлургических комбинатов прокат, в исходном состоянии не предназначен для холодной объемной штамповки (ХОШ), так как имеет неоднородную структуру, нестабильные свойства и большой допуск на диаметр проката. Поэтому, прежде чем металл подается на холодновысадочный автомат, необходимо провести его подготовку, т.е. изготовить калиброванный прокат с требуемыми структурой, механическими свойствами и геометрическими параметрами.

При разработке технологии изготовления калиброванного проката и проволоки, предназначенных для дальнейшей штамповки крепежа методом холодной объемной штамповки, должны быть учтены все требования и особенности будущих крепежных изделий. Разработка технологии начинается с выбора марки стали. Марка стали определяется, исходя из механических свойств и дальнейшего назначения крепежного изделия. Для возможности проведения операций ХОШ важен также размер зерен микроструктуры, это следует учитывать при термообработке сталей [1]. Затем выбирается оборудование, разрабатывается маршрут волочения, режим термической обработки, определяется наличие подсмазочного слоя.

При рассмотрении особенностей технологии изготовления проволоки и калиброванного проката, целесообразно разделить крепежные изделия на группы и рассматривать технологию изготовления металла для каждой отдельной группы [2]:

- проволочные крепежные изделия;
- крепеж повышенной прочности из углеродистых и легированных марок сталей с последующей термообработкой;
- крепежные изделия из сталей марок 10, 10пс, 20, 20пс без термообработки.

Проволочные крепежные изделия (гвозди, шпильки)

В качестве сырья используется светлая проволока общего назначения в бухтах, мотках или катушках массой до 1000 кг. Проволока изготавливается из низкоуглеродистых марок сталей. Исходным сырьем является катанка по ГОСТ 30136-95. Готовая проволока должна соответствовать требованиям ГОСТ 3282-74. Особенностью технологии является получение требуемых механических свойств проволоки. Проволока изготавливается без термической обработки. В зависимости от диаметра проволоки, волочение происходит на многократных волочильных станах. Обязательным условием при волочении является не допускать перегрева проволоки, которое приводит к образованию цветов побежалости на поверхности [3]. Перегрев проволоки и цвета побежалости возникают в результате недостаточного охлаждения волок при волочении. Это приводит к плохому формированию острия при штамповке гвоздей: не отпадает обсека и острие не формируется. Особенно это проявляется на быстроходных гвоздильных автоматах с производительностью более 1000 штук в минуту. Решением данной проблемы является переход на волочение с пониженной скоростью и достаточным охлаждением волок. Современные волочильные станы обеспечивают качественную поверх-

ность проволоки даже при высокой скорости волочения, так как обеспечивается достаточное охлаждение при волочении. Рекомендуемые механические свойства проволоки для гвоздей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Рекомендуемые механические свойства готовой проволоки	
Марка стали	Временное сопротивление, Н/мм ²
Ст1пс, Ст1, Ст2пс, Ст2, Ст3пс	Ø(1,2-1,4) мм – не более 1350
	Ø(1,6-3,1) мм – 590-1180
	Ø(3,4-4,4) мм – 440-930
	Ø(4,6-6,0) мм – 390-830

Крепежные изделия повышенной прочности из углеродистых и легированных марок сталей с последующей термообработкой

К данной категории изделий можно отнести болты и винты класса прочности 8.8, 10.9, 12.9; гайки класса прочности 8, 10, 12; самонарезающие винты, дюбель, пружинные шайбы и др. Данная группа крепежных изделий изготавливается либо из легированных марок сталей 15Г(М), 20Г2Р, 30ХР, 40Х «Селект» либо из высокоуглеродистых типа 65Г, 70. Особенностью технологии изготовления проволоки для таких изделий является получение максимально пластичной проволоки перед штамповкой, т.е. снизить предел прочности и повысить удлинение и сужение. Это обеспечивает технологичность металла при штамповке. Особенностью данных марок сталей является сильное упрочнение даже при небольшой степени деформации. В среднем деформация на 10% дает упрочнение на 100-150 МПа. Поэтому для штамповки необходимо сделать металл как можно более пластичным, а все необходимые прочностные свойства крепежных изделий достигаются за счет последующей термообработки крепежных изделий [4, 5].

Технология изготовления проволоки и калиброванного металла:

- травление исходного горячекатаного проката и известкование;
- волочение проката на промежуточный размер;
- отжиг передельной заготовки;
- травление передельной заготовки и фосфатирование;
- волочение проволоки на готовый размер.

После отжига передельной проволоки-заготовки, степень деформации при последнем волочении должна быть (5-10)%. Данное обжатие обеспечивает получение максимально пластичной проволоки. Также после отжига должна быть операция фосфатирования. Фосфат является подсмазочным слоем и обеспечивает отсутствие залипания металла в инструменте при штамповке.

Также одним из условий иногда является получение требуемого обезуглероженного слоя на калиброванном прокате. Это достигается качеством исходного горячекатаного проката (при необходимости дополнительно обговаривается с поставщиком металла) и качественным отжигом передельной заготовки. Отжиг металла в современных колпаковых печах, например фирмы «EBNER», обеспечивает получение требуемой структуры металла и механических свойств без прироста по величине обезуглероженного слоя [1, 5].

Свойства горячекатаного проката и передельной заготовки после отжига приведены в табл. 2.

Таким образом, качественный отжиг, хорошая подготовка поверхности и степень деформации не более 10% при волочении на готовый размер, обеспечивают получение качественного калиброванного проката и проволоки из трудноштампуемых марок сталей.

Рекомендуемые механические свойства калиброванного готового проката приведены в табл. 3.

Таблица 2

Свойства горячекатаного проката и передельной заготовки после отжига

Марка стали	Обозначение документа	Временное сопротивление, Н/мм ² (кгс/мм ²), не более	Относительное сужение, %, не менее	Относительное удлинение (δ_{100}), %, не менее
40X	ГОСТ 10702	650 (66,0)	55	-
40X «Селект»	ТС 00187895-028			
	ТУ 14-101-594			
40C2A «Селект»	ТУ 14-101-481	750 (76,5)	48	13
65Г	ТС 14-101-773	750 (76,5)	-	13
10, 20	ГОСТ 10702	460 (47,0)	-	-
15Г(М)	ТС 14-101-679-2007	450	50	20

Таблица 3

Рекомендуемые механические свойства готового калиброванного проката

Марка стали	Назначение калиброванного металла	Временное сопротивление, Н/мм ²	Относительное сужение, %, не менее	Относительное удлинение (δ_{100}), %, не менее
20Г2Р, 30ХР,40Х, 40Х «Селект»	Болты класса прочности 8.8; 10.9	не более 750	-	-
40C2A «Селект»	шайбы двухвитковые	не более 750	48	13
65Г	шайбы пружинные	не более 804	-	13
15Г(М)	самонарезающие винты	не более 490	50	20

Крепежные изделия из сталей марок 10, 10пс, 20, 20пс без термообработки

Особенностью технологии подготовки калиброванного металла для данной группы является получение требуемых механических свойств проволоки, с одной стороны обеспечивающие требуемый класс прочности будущих крепежных изделий, с другой – пластичность металла при штамповке [6].

Существует несколько вариантов технологии изготовления проволоки и калиброванного металла в зависимости от условий штамповки и требований к будущему крепежному изделию.

1 вариант:

- травление и фосфатирование горячекатаного проката;
- волочение проволоки на готовый размер.

Данный вариант технологии без отжига наиболее подходит для болтов с шестигранной головкой, поскольку для их штамповки не требуется повышенная пластичность металла. Варьируя диаметром горячекатаного металла, можно подобрать требуемый процент обжатия при волочении, и получить необходимые механические свойства на металле и готовых болтах.

2 вариант:

- отжиг горячекатаного проката;
- травление и фосфатирование;
- волочение проволоки на готовый размер.

Данная технология применяется для болтов с шестигранной головкой до М12, болтов с фасонной головкой, шестигранных гаек, может также применяться для заклепок, винтов и шурупов.

Недостатками первых двух вариантов является.

- Качество поверхности готового металла зависит от качества поверхности горячекатаного проката. При маленьком обжатии есть вероятность наличия дефектов на поверхности.
- Отсутствие требуемого диаметра горячекатаного проката.

3 вариант:

- травление исходного горячекатаного проката и известкование;
- волочение проката на промежуточный размер;
- отжиг передельной заготовки;
- травление передельной заготовки и фосфатирование;
- волочение проволоки на готовый размер.

Этот вариант применяется в основном для изготовления проволоки для винтов, шурупов, заклепок. Для данных изделий требуется маленькие размеры проволоки от 2 мм, а минимальный размер катанки 5,5 мм и при этом необходимо получить достаточно пластичную проволоку, обеспечивающую механические свойства будущих заклепок и позволяющую производить штамповку шлица на винтах и шурупах. Следовательно, без промежуточного отжига не обойтись.

Механические свойства готового калиброванного проката и проволоки приведены в табл. 4.

Таблица 4

Рекомендуемые механические свойства готового калиброванного проката и проволоки

Марка стали	Назначение калиброванного металла	Временное сопротивление, Н/мм ²	Относительное сужение, %, не менее
10, 20	болты классов прочности 4.8; 5.8; 6.8	не более 650	-
10, 10пс, 20, 20пс	гайки класса прочности 6	461 - 588	-
10, 10пс	винты класса прочности 4.8; 5.8	450 - 560	55
10, 10пс	шурупы, заклепки	343 - 510	55

Таким образом, стабильность технологических процессов изготовления крепежных изделий и их качество, во многом определяется качеством проволоки и калиброванного металла. Следовательно, при разработке технологии подготовки металла нужно стремиться максимально приблизить получаемые свойства и качество поверхности к требуемым, тем самым, сократить различные проблемы при дальнейшем изготовлении крепежных изделий и предотвратить выпуск несоответствующей продукции.

Библиографический список

1. Лавриненко Ю.А., Евсюков С.А., Лавриненко В.Ю. Объемная штамповка на автоматах: учеб. Пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.
2. Белан А.К., Белан О.А. Особенности технологии изготовления проволоки и калиброванного проката для холодной штамповки // КШП. ОМД. 2014. №12. С.28-31.
3. Харитонов В.И., Зюзин В.И., Белан А.К. Ресурсосбережение при производстве проволоки: Учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ, 2003.
4. Тефтелев Е.Н., Артюхин В.И., Паршин В.Г., Белан О.А. Проектирование многопереходных процессов холодной объемной штамповки крепежных изделий на основе средств САПР. Эффективные технологии производства метизов: Сб. науч. тр. / Под ред. Тефтелева Е.Н. – Магнитогорск: МГТУ, 2001.
5. Картунов А.Д., Белан А.К., Белан О.А. Разработка конструкции и технологии производства самонарезающих винтов повышенной прочности в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ»: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: МГТУ, 2016, Вып. 22.

6. Белан А.К., Малышева М.С., Белан О.А. Холодная штамповка головок стержневых изделий методом поперечного выдавливания. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008.

• INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH •

A.K.Belan

Nosov Magnitogorsk State Technical University

A.D.Kartunov, O.A.Belan

JSC «MMK-METIZ»

**EQUIPMENT AND PREPARATION TECHNOLOGY OF HOT-ROLLED
UNDER COLD DIE FORGING OF FASTENERS**

Abstract. The article describes the equipment and technology of producing hot-rolled steel for subsequent cold forming of various types of fasteners.

Keywords: hot-rolled steel, wire, calibrated roll, drawing, fastener, cold forming, the degree of deformation, compression.

A.S.Limarev, M.Y.Ushakov, I.Y.Mezin
Nosov Magnitogorsk State Technical University

REVIEW OF THE MAIN REQUIREMENTS FOR PERFORMANCE AND QUALITY CHARACTERISTICS OF THE RAILWAY BOLTING

Abstract. The article discusses the requirements for rail rail bonding. The intermediate bonders are designed for secure connections to the rail base of the rails and provide the electrical insulation of rails in areas with self-locking and electric traction. Presented variety of designs of rail bonders used on the territory of Russia. The prospects for development of rail bonds production at JSC "MMK-METIZ".

Keywords: rail fasteners, railroad, terminal, anchorage bond, the terminal bolt bond List the keywords.

Intorduction

Since the middle of the XIX century the railway transport has become one of the main methods of delivery of goods and people. One of the main reasons for the popularity of rail transport is its reliability and safety. Road safety depends on all elements of the system, one of which is the upper structure of railway track.

Upper way serves to guide the rolling movement, the perception of force effects from the wheels and transfer them to the bottom structure. Upper way is a complex structure, including a ballast bed, sleepers, rails, rail fasteners, turnouts, blind intersection, bridge and switch ties. The connection of rails and sleepers called rail grid. When laying the rails and sleepers on the ballast, sleepers deepened in the ballast layer, which is placed on the main floor subgrade. The thickness of the ballast and the distance between the sleepers should be such that the pressure on the roadbed does not exceed the value of providing its elastic precipitate disappears after removal of the load.

Operating requirements

The intermediate rail fasteners are designed for reliable connection rails with rail base (sleepers, beams, monolithic base and so on.) And provide electrical insulation of rails in areas with self-locking and electric traction. Such bonds shall meet the following requirements [1, 8-11].

- Stability gauge. The requirement to ensure the stability of the track width is important and obviously it is directly related to traffic safety provision of conditions to prevent wheel failure.

- Press rails to the ground, excluding separation and theft of rails. Violation of requirements for ensuring the adequacy of the pressing rails to the base leads to isolation from the rail sleepers when installing or disassembling the way, and when, lifting of during straightening work. This is due to rotting wooden sleepers, the destruction of plugs, insufficient strength and corrosion of the binding on concrete foundations.

Rail movement causes a change in their stress-strain state, which may cause the emission path when the temperature rises and the gap junctions when it is lowered. Rail movement the path leads to a shift and skew sleepers, rail pads loss. Dealing with the consequences of Rail movement is associated with the implementation of complex and time-consuming adjustment work on gaps and discharge of thermal stresses in the rail lashes. Therefore, to ensure the quality of construction of railway track is necessary to satisfy the following conditions.

- Optimum conditions for operation temperature of the rails. The requirement for optimization of temperature operation rails also related to the size of the pressing forces to the base. Delete the temperature de-formation of the rails is very difficult, because it causes complication of construction way more expensive rail fasteners.

- Carrying out the adjustment of the height of the rails and the track gauge, replacement parts fasteners without interruptions in the movement of trains. Carrying position adjustment rails adjustment is particularly important in the concrete rail base and in the wintertime. In conditions of high congestion in the train path residual deformations accumulate quickly, it is a violation of the provisions of the rail project. Bearing path with tamping techniques in complex organizations re-

quire interruptions in the movement of trains, so the use of shims for the carriage way is very appropriate. In the winter in areas swelling use of shims is the only way to fix the way the level and profile. Bonds concrete sleepers must be capable of adjusting the position of the rails at a height of 10-20 mm.

- Mechanized cleaning and maintenance bonds nodes. Under current conditions, the assembly and disassembly of rail grid is conducted on the bases with production lines. Therefore, there was the requirement that the mechanization of work on the assembly and disassembly of bonds nodes. Mechanization of work on changing the rails, the replacement of worn-out elements fasteners, adjusting the tension binding with the current content path will significantly improve the quality of the railway track.

- Rational spatial elasticity and vibration fasteners nodes.

Ensuring rational spatial elastic rail fastening is extremely necessary in order to process the elastic dynamic effects of the wheels rolling on the rails, put out high-frequency vibration, frustrating the way and especially its bolting, as well as to create equal firmness rail base.

For use in continuous welded rail fastening assembly should create tension binding providing resistance per unit length longitudinal movement of the rail is not less than 25 kN/m. On the path of the link in order to prevent theft of the rails is necessary that the longitudinal displacement resistance per unit length is not less than 15 kN/m.

- Electrical isolation from the rail base. In areas with a self-locking fastening for concrete sleepers must ensure electrical isolation of the rails from the sleepers with a resistance of not less than 1 ohm per kilometer.

- Economic efficiency of the top structure of the design path. Bonding should contribute to the high service life of the path elements (in particular, they greatly affect the service life of the sleepers), and optimal conditions of operation.

Classification

In this regard, special attention should be paid to the quality of rail fastenings quality of performance, which largely determines the safety of the railway track. There are a number of structures intermediate rail fasteners, which can be classified on the following grounds [11-24].

- By appointment fixtures:

- a) separate when lining to the sleepers and rails attached to the lining of various fastening;
- b) inseparable when the liner and the tie and the rail attached to the lining of the same fastening;

- c) mixed when attached to the rail with the sleeper as in undivided lining bond and furthermore, a lining secured to a sleeper further separate fastening.

- In the presence of the lining:

- a) lining (KB, BP);
- b) without lining (ZhB, ZhBR-65, ARS, Pandrol-350).

- The characteristics of the pressing member (terminals):

- a) hard (KB, K2);
- b) the resilient plate (ZhB, ZhBR);
- c) elastic semi finished (ZhBR-65, ARS, Pandrol-350).

- By type of binding to the tie:

- a) bolt (KB, BP, ZhB);
- b) anchor (Pandrol-350, ARS);
- c) screw-dowel (K2, ZhBR-65Sh).

Discussion

One of the most popular on Russian railways is bound bolt (KB-65, Figure 1), in which the lining is pressed against the rail to the rigid terminal worn on the terminal screws, curly head which infest the grooves flanges linings. Under the terminal bolts nuts put spring washers. Lining is fastened to the tie bolts mortgages. In this case the bolt heads rest on the concrete rendered monolithic

metal washer which mounting nuts when tightened evenly distributes the load on the concrete. Electrical pads made from railway sleepers and sleeper padding lining sleeve of the PCB, is put on the rod bolts laying and bury in a hole of the metal lining [2].

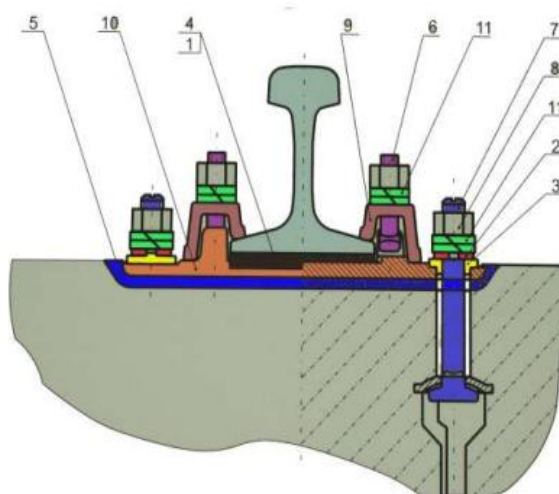


Fig. 1. Cleat-bolt fastening KB:

- 1 – gasket PR-65; 2 - bracket grommet KB; 3 – bushing KB; 4 - gasket PBR-65x7;
5 – gasket KB-10; 6 – cleat bolt M-22-8G-75.48; 7 – embedded bolts M-22-8G-175.36;
8 – female screw M-22-7H5; 9 – cleat PK; 10 – lining; 11 - double-turn washer 25

Bond KB-65 bond has a number of disadvantages, namely.

- A lot of detail (detail 21 in each node).
- Consumption of materials (the total mass of metal and plastic parts for 1 km path is respectively 41.6 tons and 2.1 tons).
- Presence of about 16 thousand. Bolts to 1 km of track, the contents of which (removal of dirt, grease, tightening nuts) is costly.

The main bottleneck binding KB-65 is a threaded connection.

In modern conditions increase the requirements for reliability, maintainability and safety of rail fasteners, so developers and vendors offer new solutions and designs. Among them are such as ARS-4 (Figure 2) and ZhBR-65RSh.

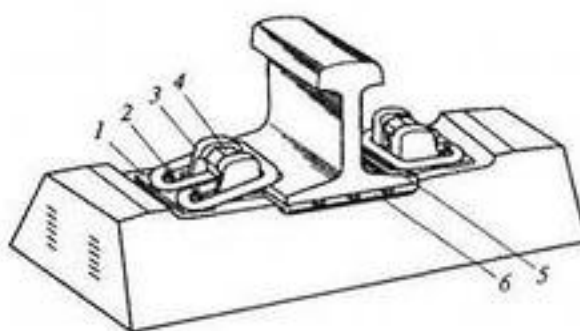


Fig. 2. Anchoring rail-bound ARS-4:

- 1 – cleat; 2 – regulator; 3 – anker; 4 – knob with lock; 5 – insulating block; 6 – rubber gasket

The main feature of the construction site ARS-4 bonds are rendered monolithic under-rail in the area of reinforced concrete sleepers removable anchor frame-arch type, covering the rail foot and bringing together the work of two clamp nodes, consisting of two B-shaped bar-shaped spring clamp what allows for this bond on the straight sections of the railway line and curves with a radius of 350 m or more, with a width of 1520 mm track gauge and without limit congestion [3, 4].

In the design ZhBR-65RSh weight and number of parts are reduced by more than 1.5 times compared with separate bonding KB-65. Besides rail fasteners of this type allows to: remain unchanged track width; counteracts the "rail movement" of the rails; it provides a spatial elasticity way that affects the level of deterioration of the rail and wheel sets; wood core ensures that affect the intensity of differential settlement of sleepers; it provides the ability to adjust the height of rails in the plane [5].

One of the leading companies engaged in production of rail fastenings is JSC "MMK-METIZ". Company has many years of experience in the production of rail fasteners for the railways and roads of Russia in the former Soviet Union, allowing it to produce more than a dozen different elements of the rail fastenings. Recently, the company has mastered the production technology of screw travel elongated hexagon head (CP-54). These screws are used in bond ZhBR-65 PSh and is widely used in the construction of railways in Russia [6, 7].

Also, it should be noted the existing enterprise development experience bar-shaped terminal. Among the assortment of a large proportion of the discharged enterprise engaged in the production of spring terminals hot bar OP-105 (Figure 3). The disadvantage represented by the terminals is not it high performance, which significantly reduces its competitiveness on the world market of manufacturers of rail fasteners.



Fig. 3. Spring terminals hot bar OP-105

Available modes of technology and equipment used for clamp OP-105 does not allow to produce such clamps ARS and ZhBR. But in view of the similarity of shape of the terminals and ARS, ZhBR, rod diameters and steel grades, these terminals can be manufactured on the same equipment, with the appropriate settings.

Conclusion

Therefore, to maintain their position on the rail fasteners market enterprise mastered production of bar-shaped terminal ZhBR and ARS. This task is only possible in solving a whole range of tasks aimed the possibility of the production, the following can be distinguished among them: the modernization of technological equipment; development of technological modes of production of spring terminals, as well as the provision of appropriate blanks, allowing to fulfill customer requirements for performance.

References

1. Yakovleva T.G., Karpuschenko N.I., Wedges S.I., Putra N.N., Smirnov M.P. Track. Moscow: Transport 2001.
2. Improving the quality and operational stability of rails and rail fasteners (based on the 2006 Commission of the rail.): The collection of reports. Novosibirsk, 2007.
3. Anchor bespodkladochnoe intermediate rail fastenings ARS. M: MIIT, 2008. 34s.
4. TU 3185-001-01115863-2004 Spring terminals Semifinished anchor rail fastening ARS 4.

5. The CPU 369 TU TU-1 Spring terminals Semifinished ZHBR 65.
6. Kolmogorov G.L., Chernova T.V., Burdina Y.A. Efficiency of optimization of a drawing tool geometry. Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. G.I.Nosova. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015. №3, pp. 55-58.
7. Konstantinov D.V., Korchunov A.G. Multi-scale computer simulation of metal forming processes. Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. G.I.Nosova. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015. №1, pp. 36-43.
8. Shahunyants G.M. Railway track. Moscow: Transport, 1987. 479p.
9. Frishman M.A., Ponomarenko N.A., Sawicki S. The construction of the railway track and its contents Moscow: Transport, 1987. 351p.
10. Krivoschapov V.V., Zhelezkov O.S., Levchenko P.E., Krivoschapov M.V. Gun I.G. Hot stamping fasteners / Magnitogorsk. 1997.
11. The modern design of the upper structure of railway track / Ed. VG Albrecht. Moscow: Transport, 1975. 279 p.
12. Norsk Patent №97650, Int. Kl.: Feste for jernbaneskiner til sviller / sivilingenior Th. Jespersen (№2). Offentliggjort ov STYRET for Det Industrielle Rettsvern: 13.03.61.
13. Schweizerische Patentschrift CH № 534254, Int. Kl.: E01B 9/48. / Vorrichtung zur Schienenbefestigung / Helmut Scherbaum (cn). Anmel-dungsdatum: 14.07.72.
14. Deutsches Patentamt № 1061810, Int.Kl.: E01B.Befestigungsvorrich-tung / Yohan Freeric Deenik, Bilhoven, und Yacob Albertus Eisses, Utrecht (№L). Ausgabe der Patentschrift: 31.12.1959.
15. Europaisches Patentamt, №512758 A1, Int. Kl5.: E01B9/30, E01B9/34, E01B9/48. Railway rail-fastening clip / Marshall, Barry (GB), Trevor Paul (GB). Date of filing: 30.04.92.
16. Schweizerisehe Patentschrift CH № 577072, Int.Kl2: E01B9/48. Haltevorrichtung an einer Betonunterlage / J.Albertus Eisses (№1). Prioritat: 10.07.73, Patent-schrift veroffentlicht: 30.06.76.
17. Europaisches Patentamt, №024774A1, Int. Cl3.: E01B9/30. Rail clamp / Lubbers M.Hendric (NL). Date of publication of application: 11.03.81.
18. Norsk Patent 92197, Int. Kl.: E01B / Skinnefeste / Baneingenior Carsten D. Stang (NR). Offentliggjort Av Styret for Det Industriell Rettsvern: 4.08.58.
19. Patent Republique Francaise №2115578, Int. Cl.: / E01B9/00. Dispositif de fixation dun rail sur une traverse / Etat Indien, Represente par le Directeur General de Research Designs. Publication de la delivrance 7.07.72.
20. Deutsches Patentamt №2921826, Int. Cl.: E01B9/48. Befestigungsvorrichtung fur Schienen / Langmann, William Faulkner, Dunn, George Patrick usw (AU). Offenlegungstag: 6.12.79.
21. Europaisches Patentamt, №363591B1, Int. Cl.: E01B/34. Federnde Schienenbefestigung fur Y-formige Stahlschwellen / Steinfeld, Horst E. (DE), Feldhaus, Karl-Heinz (DE) usw. Veroffentlichungstag der Anmeldung: 18.04.90.
22. Deutsches Patentamt №1954008, Int. Cl.: E01B, 9/48. Schienenbe-festigung / W.Munch (D). Ausgabetag 20.01.72.
23. Deutsches Patentamt №3526653A1, Int. Cl.: E01B9/48. Schienenbe-festigung / W.Eitle, K.Hoffmann, W.Lehn usw., Anmelder: Vosclor-Werke (D). Offenlegungstag: 5.02.87.
24. Patenwesens (PCT), Internationale Veroffentlichungsnummer: WO 87/00566, Int. Cl.: E01B9/48. Schienenbefestigung / W.Lehn, Werner usw., Anmelder: Vossloh-Werke (D). Veroffentlichungs-datum: 29.01.87.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Белан Анатолий Кириллович – канд. техн. наук, профессор кафедры механики ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Область исследований: металлургическое и метизное производство. Тел.: +73519305872.

Белан Ольга Анатольевна – канд. техн. наук, ведущий инженер лаборатории крепежных изделий ЦЗЛ ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ». Область исследований: метизное производство. Тел.: +79068518431; +73519258106. E-mail: oabelan@mmk-metiz.ru.

Зелинов Иван Дмитриевич – студент кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». E-mail: 60w51a02g50@mail.ru.

Зелинова Юлия Александровна – студент кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова».

Калугина Ольга Борисовна – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры информатики и информационной безопасности ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». E-mail: kalugina.olga@bk.ru.

Картунов Андрей Дмитриевич – главный инженер ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ». Область исследований: метизное производство. Тел.: +73519247897. E-mail: kartunov.ad@mmk-metiz.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Belan Anatoly Kirillovich – Candidate of Technical Sciences, Professor of «Mechanics» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov». Research themes: metal manufacturing. Phone: +73519305872.

Belan Olga Anatolievna – Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer of Laboratory of Fasteners CFL of JSC «ММК-МЕТИЗ». Research themes: metal manufacturing. Phone: +79068518431; +73519258106. E-mail: oabelan@mmk-metiz.ru.

Zelinov Ivan Dmitryevich – a student of «Technologies of Material Processing» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov». E-mail: 60w51a02g50@mail.ru.

Zelinova Julia Alexandrovich – a student of «Technologies of Material Processing» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov».

Kalugina Olga Borisovna – Candidate of Technical Sciences, a Synior Lecturer Department of Information Security at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov». E-mail: kalugina.olga@bk.ru.

Kartunov Andrey Dmitrievich – Chief Engineer JSC «ММК-МЕТИЗ». Research themes: metal manufacturing. Phone: +73519247897. E-mail: kartunov.ad@mmk-metiz.ru.

Кинзин Дмитрий Иванович – канд. техн. наук, доцент кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Область исследований: теория и технология сортопрокатного производства.

Тел.: +79068722849.

E-mail: kinzin@mail.ru.

Левандовский Сергей Анатольевич – канд. техн. наук, доцент кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Область исследований: управление качеством сортопрокатных технологических систем.

E-mail: levandovskiy@mail.ru.

Лимарев Александр Сергеевич – канд. техн. наук, доцент кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова».

E-mail: aslimarev@mail.ru.

Мезин Игорь Юрьевич – д-р. техн. наук, профессор кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова».

E-mail: mezin1@mail.ru.

Моллер Александр Борисович – д-р. техн. наук, профессор кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Область исследований: теория и технология сортопрокатного производства, управление качеством сортопрокатных технологических систем.

E-mail: amoller@mail.ru.

Новицкий Игорь Олегович – студент кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова».

E-mail: igor_novitskii@mail.ru.

Kinzin Dmitry Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of «Technologies of Material Processing» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov». Research themes: theory and technology of section rolling production.

Phone: +79068722849.

E-mail: kinzin@mail.ru.

Levandovsky Sergey Anatol'evich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of «Technologies of Material Processing» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov». Research themes: quality control of section rolling technological systems.

E-mail: levandovskiy@mail.ru.

Limarev Aleksandr Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of «Automobile Technology, Certification and Service» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov».

E-mail: aslimarev@mail.ru.

Mezin Igor Yurevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of «Automobile Technology, Certification and Service» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov».

E-mail: mezin1@mail.ru.

Moller Alexander Borisovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of «Technologies of Material Processing» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov». Research themes: theory and technology of section rolling production, quality control of section rolling technological systems.

E-mail: amoller@mail.ru.

Novitsky Igor Olegovich – a student of «Technologies of Material Processing» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov».

E-mail: igor_novitskii@mail.ru.

Румянцев Михаил Игоревич – канд. техн. наук, профессор кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Область исследований: совершенствование технологии производства листового проката на основе развития методологии анализа листопрокатных технологических систем.
Тел.: +79320139323.
E-mail: mikhail.rumyantsev54@bk.ru.

Саранча Сергей Юрьевич – аспирант кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». E-mail: elf-jedd@yandex.ru.

Спузик Сид – PhD, старший научный сотрудник отделения информационных технологий, инжиниринга и окружающей среды университета Южной Австралии. Область исследований: горячая прокатка, калибровка прокатных валков, управление качеством, управление знаниями.
Тел.: +61883650767; +61883023329.
E-mail: Sead.Spuzic@unisa.edu.au.

Тулупов Олег Николаевич – д-р. техн. наук, профессор кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Область исследований: теория и технология сортопрокатного производства, управление качеством сортопрокатных технологических систем.
E-mail: o.tulupov@mail.ru.

Ушаков Михаил Юрьевич – студент кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова».
E-mail: Ushakov.MY@mmk-metiz.ru.

Rumyantsev Mikhail Igorevich – Candidate of Technical Sciences, Professor of «Technologies of Material Processing» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov».
Research themes: sheet and plate production.
Phone: +79320139323.
E-mail: mikhail.rumyantsev54@bk.ru.

Sarancha Sergey Yur'evich – a post graduate student of «Technologies of Material Processing» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov».
E-mail: levandovskiy@mail.ru.

Spuzic Sead – PhD, MSc, BEng (Hons), Adjunct Senior Research Fellow Division of Information Technology, Engineering and the Environment University of South Australia. Research themes: hot steel rolling, roll pass design, total quality control, knowledge management. Phone: +61883650767; +61883023329.
E-mail: Sead.Spuzic@unisa.edu.au.

Tulupov Oleg Nikolayevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of «Technologies of Material Processing» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov». Research themes: theory and technology of section rolling production, quality control of section rolling technological systems.
E-mail: o.tulupov@mail.ru.

Ushakov Mihail Yurevich – a student of «Automobile Technology, Certification and Service» Department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov».
E-mail: Ushakov.MY@mmk-metiz.ru.