

**АБСАДЫКОВ БАХЫТ НАРИКБАЕВИЧ**

**Разработка ресурсосберегающих технологических и технических  
решений для повышения эффективности процессов  
листовой прокатки**

05.03.01 – Технологии и оборудование механической  
и физико-технической обработки

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Республика Казахстан  
Алматы, 2010

Работа выполнена в Казахском национальном техническом университете имени К.И. Сатпаева

Научный консультант: доктор технических наук,  
профессор Машеков С.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор Муслимов А.П.

доктор технических наук,  
профессор Янюшкин А.С.

доктор технических наук,  
профессор Умаров Т.

Ведущая организация: Карагандинский государственный  
технический университет

Защита состоится «30» октября 2010 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 14.17.02 при Казахском национальном техническом университете имени К.И. Сатпаева по адресу: 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22<sup>а</sup>, Институт машиностроения, ИМС-304.

Тел. +7-727-257-71-83; факс +7-727-292-60-25; e-mail: aspirantura@ntu.kz

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева

Автореферат разослан «\_\_\_» сентября 2010 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета,  
доктор технических наук

Б.Т. Сазамбаева

## ВВЕДЕНИЕ

**Общая характеристика проблемы.** Сегодня, в условиях острой конкуренции, диктуемой рыночными отношениями, успешное развитие черной металлургии не представляется без производства высокорентабельных видов металлопродукции, в первую очередь, горяче- и холоднокатаных полос. При этом перспективным направлением дальнейшего развития листопрокатного производства является повсеместное внедрение процессов производства слитков способами непрерывной разливки, совмещенными с агрегатами пластического формоизменения. В сравнении с традиционной технологией объединение непрерывной разливки и прокатки способствует сокращению производственного цикла, экономии исходных материалов и электроэнергии, стимулирует развитие ресурсосберегающих технологий, снижая, при этом, нагрузку на экологию, ведет к повышению уровня автоматизации работы оборудования и увеличению производительности труда. Однако технически сложной задачей становится обеспечение необходимого уровня качества литых заготовок для дальнейшего производства листового проката.

**Актуальность.** Производство стального листового проката все еще продолжает оставаться энерго-ресурсоемким процессом, в значительной степени определяющим технико-экономическую эффективность работы металлургического предприятия. Это связано с тем, что заготовка подвергается большими единичными обжатиями многократному уменьшению поперечного сечения для устранения внутренних дефектов и окалины. К настоящему времени разработаны различные способы обработки заготовок. Однако они основаны на развитии сдвиговых деформаций в объеме деформируемого тела, в связи с чем, являются малоэффективными и трудоемкими, так как процесс сдвиговых деформаций сопровождается большими единичными обжатиями. По этой причине развитие традиционных и внедрение новых техпроцессов прокатки, направленных на повышение качества листового проката при малом изменении площади поперечного сечения заготовки, является **актуальной** задачей.

Проблема управления качеством горяче- и холоднокатаных полос общеизвестна, и решить ее, опираясь лишь на аппарат теории прокатки, как это преимущественно практикуется до сих пор, весьма сложно. Способом решения проблемы, очевидно, может стать применение теории квалиметрии, становление которой в практике стран СНГ приходится на последние десятилетия. Лишь комплексное использование аппарата теории прокатки и теории квалиметрии позволит реально решать задачи по оптимизации качества заготовок и изделий металлообработки. Однако, поскольку работы подобного плана в прокатном производстве находятся на стадии постановочного характера, развитие этого подхода следует признать **актуальным**.

Общеизвестно, что обеспечение температурных условий прокатки на непрерывных широкополосных станах (НШПС) - основной фактор получения полосовой стали, соответствующей требуемым структуре и физико-механическим свойствам. Все НШПС горячей прокатки имеют технологический разрыв между группами клетей и моталками, который должен быть заполнен агрегатами уборочной линии - промежуточными и отводящими рольгангами (ОР). Работа

линий НШПС без рольгангов значительно ограничивает их технологические возможности. Поэтому решение проблем повышения качества и точности прокатываемых полос во многом зависит от надежности работы уборочной линии НШПС, и, в первую очередь, от работы ОР. Как показывает практика, именно их работа вызывает наибольшее количество аварийных остановок стана, что значительно отражается на производительности прокатки, ухудшая при этом качественные параметры полос. В этой связи, задача совершенствования конструкции ОР и разработка новых техпроцессов прокатки, обеспечивающих повышение качества листового проката, является **актуальной**.

**Целью работы** является экспериментально-теоретическое обоснование и разработка ресурсосберегающих технологических и технических решений для повышения эффективности процессов получения полос с заданными свойствами, обеспечиваемыми режимами температурно-деформационной обработки, и на основе полученных результатов, выработка управляющих воздействий на качество получаемых изделий.

Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи:

- анализ существующих технологических и технических особенностей производства листового проката непрерывными станами горячей и холодной прокатки для выявления путей их совершенствования в целях ресурсосбережения;

- исследование закономерностей появления дефектов при прокатке, и на основе этих исследований разработка методики комплексной оценки качества;

- на основе исследования степени использования ресурса пластичности (СИРП), влияния различных видов деформаций на сбивку окалины и структуру металла полос разработка конструкции валков, позволяющих улучшить сбивку окалины и повысить качество листа;

- разработка методик статистической обработки результатов механических испытаний, контроля и управления качеством, а также прочностного расчета элементов отводящего рольганга;

- исследование и оптимизация по критерию минимума энергосиловых затрат и СИРП технологических режимов производства холоднокатаных полос;

- определение рациональных параметров предлагаемой конструкции отводящего рольганга широкополосного стана и установление на нем закономерностей влияния режимов охлаждения на изменение структуры и свойств сталей;

- разработка новых технических решений, повышающих производительность двухклетевых дрессировочных станов (ДДС) в условиях АО «Арселор-Миттал Темиртау».

**Научная новизна работы** заключается в решении проблемы по оценке качества плоского стального проката, формированию структуры при различных видах испытаний, прогнозированию коэффициента предельной вытяжки, а также совершенствованию оборудования и технологии производства тонких полос, позволяющей повысить качество продукции, при этом:

- установлены закономерности влияния температуры, напряжения, деформации при прокатке в выпукло-вогнутых и винтообразных валках на структуру материала и сбивку окалины;

- раскрыты закономерности влияния режимов охлаждения на изменение структуры и свойств сталей, и установлены рациональные температурно-

временные режимы охлаждения при транспортировке горячекатаных листов на отводящем рольганге предлагаемой конструкции;

- на основе производственных данных изучены закономерности формирования механических свойств горячекатаной листовой стали от режимов охлаждения подката;

- выявлены и представлены функциональные зависимости показателей качества горячекатаного и холоднокатаного листового проката, позволяющие объективно характеризовать качество листов;

- разработаны методики контроля и управления качеством, расчета СИРП, а также статистической обработки результатов исследования пластичности холоднокатаных полос;

- применена новая методика расчета режимов обжатия и энергосиловых параметров при холодной прокатке полос, позволяющая оптимизировать режим работы непрерывного стана по критерию минимума энергозатрат, без нарушения сплошности металла;

- определены профилировки выпуклого верхнего и вогнутого нижнего рабочих валков в первой клетке ДДС и выявлены зависимости количества дефектов типа «риска», «царапина» и «разнотонность» от усилия прокатки, шероховатости поверхности бочек неприводных роликов и опорных валков второй клетки ДДС.

**Методика исследований.** Теоретические исследования основаны на использовании методов теории прокатки, механики деформируемого твердого тела, системного анализа, математического моделирования на ЭВМ.

Экспериментальные исследования проводились на базе оборудования Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева, Казахстанско-Британского технического университета и АО «АрселорМиттал Темиртау».

Объектами исследования являлись технология горячей и холодной прокатки стали, валки с винтообразной и выпукло-вогнутой формой, образцы, охлажденные и деформированные при различных режимах.

Для определения компонентов тензора деформации использовался метод совместного решения дифференциального уравнения равновесия с условием пластичности и экспериментальный метод координатных сеток.

Металлографический анализ осуществлялся на микроскопе Carl Zeiss Axiovert-200 Mat при увеличениях x200, x500 и x1000. Обработка изображений производилась программой VideoТесТ - Metall 1.0.

**Практическая ценность** работы определена решением следующих научно-технических задач:

- выведенные эмпирические зависимости, использованная модель обобщенного критерия качества и сформулированные в работе перечни ограничений, позволяют формализовать процедуру объективной оценки качества стальных полос в виде конкретной целевой функции. Последнее означает, что задача установления наилучшего уровня качества листового проката может быть сформулирована как математическая проблема поиска экстремума, позволяющего находить оптимум как по отдельным операциям, так и технологическому процессу прокатки в целом;

- предложена методика построения диаграмм коэффициента предельной вытяжки с учетом статистических параметров пластических свойств материала;
- определены рациональные конструктивные параметры нового отводящего рольганга;
- усовершенствованы режимы охлаждения на отводящем рольганге широкополосного стана, способствующие получению изделия требуемого качества;
- предложены новые конструкции выпукло-вогнутых и винтообразных валков для прокатки толстых полос, позволяющие интенсифицировать сбивку окалины и измельчать структуру металла по сечению этих листов за счет знакопеременного деформирования.

Предлагаемый метод оценки качества листового проката с помощью квалиметрии может быть использован как производителем, так и потребителем.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

- основные закономерности влияния температуры, напряженно-деформированного состояния при прокатке в выпукло-вогнутых и винтообразных валках на структуру материала и сбивку окалины;
- закономерности влияния режимов охлаждения на изменение структуры и свойства сталей, а также рациональные температурно-временные режимы охлаждения при транспортировке горячекатаных листов на отводящем рольганге новой конструкции;
- закономерности формирования механических свойств горячекатаной листовой стали от режимов охлаждения подката;
- эмпирические зависимости для единичных свойств листового проката, полученные по результатам исследований качества полос;
- методика контроля и управления качеством, расчета СИРП и методика статистической обработки результатов исследования пластичности холоднокатаных полос;
- новая методика расчета режимов обжатия и энергосиловых параметров при холодной прокатке полос, позволяющая оптимизировать режим работы непрерывного стана по критерию минимума энергозатрат, без нарушения сплошности металла;
- профилировка выпуклого верхнего и вогнутого нижнего рабочих валков в первой клетки дрессировочного стана и зависимости количества дефектов «риска», «царапина» и «разнотонность» от усилия прокатки, шероховатости поверхности бочек неприводных роликов и опорных валков второй клетки дрессировочного стана.

**Достоверность научных результатов и выводов** обоснована теоретическими исследованиями, выполненными на базе научных представлений и аппарата теории прокатки, механики деформируемого твердого тела, математического моделирования и системного анализа.

В ходе экспериментальных исследований использованы научно обоснованная методика проведения эксперимента и обработки полученных данных, сертифицированное лабораторное оборудование и контрольно-измерительные приборы.

Достоверность результатов теоретических расчетов достигнута обоснованным использованием теоретических зависимостей, допущений и ограничений,

корректностью постановки задачи моделирования, а также применением современных математических методов и средств вычислительной техники, и подтверждена качественным и количественным их согласованием с данными эксперимента с погрешностью, не превышающей 10%.

**Апробация работы.** Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международных научно-практических конференциях: «Молодые ученые – 10-летию независимости Казахстана» (г. Алматы, 2001 г.); «Инженерная наука на рубеже XXI века» (г. Алматы, 2001 г.); «Актуальные проблемы машиностроения и металлургии» (г. Алматы, 2002 г.); «Вторая Международная научно-практическая конференция молодых ученых» (г. Алматы, 2002 г.); «Научно-технический прогресс в металлургии» (г. Темиртау, 2003 г.); «Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов» (г. Алматы, 2003 г.); International Working Conference “Actual problems and strategic solutions in higher education and training of personnel for the oil and gas sector in the Republic of Kazakhstan” (Almaty, 2004); «Актуальные проблемы механики и машиностроения» (г. Алматы, 2005 г.); «Проблемы и перспективы развития нефтяной промышленности Казахстана» (г. Алматы, 2005 г.); «Состояние и перспективы развития механики и машиностроения в Казахстане» (г. Алматы, 2007 г.); «Роль вузов в формировании инновационной экономики» (г. Усть-Каменогорск, 2008 г.); «Проблемы механики современных машин» (г. Улан-Удэ, Россия, 2009 г.); «Наука, образование, инновации: приоритетные направления развития», посвященной 55-летию Кыргызского государственного технического университета имени И. Раззакова (г. Бишкек, 2009 г.); «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии» (г. Алматы, КБТУ, 2008, 2009, 2010 гг.), Международном форуме «Наука и инженерное образование без границ», посвященном 75-летию образования КазНТУ имени К.И. Сатпаева (г. Алматы, 2009 г.); «Механика и строительство транспортных сооружений», посвященной 75-летию Заслуженного деятеля науки и техники Казахстана, академика НАН РК Ш.М. Айталиева, (г. Алматы, 2010 г.); на научных семинарах института Машиностроения (г. Алматы, 2007-2009 гг.), Казахстанско-Британского технического университета (г. Алматы, 2007-2008 гг.); на научно-технических советах АПО «Узметкомбинат» (г. Бекбад, Узбекистан, 2010 г.) и АО «АрселорМиттал Темиртау» (г. Темиртау, 2010 г.); на объединенном научном семинаре кафедр «Станкостроение, материаловедение и технология машиностроительного производства», «Стандартизация, сертификация и технология машиностроения», «Металлургические машины и оборудование» (г. Алматы, 2010 г.), на научном семинаре кафедры «Стандартизация, сертификация и технология машиностроения» (г. Алматы, 2010 г.).

**Публикации.** Основные материалы диссертации опубликованы в 49 печатных работах, в том числе 26 (5 статей в изданиях ближнего зарубежья) статей (из них 15 - единолично) в научных периодических изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК. Получено 3 патента РГКП НИИС РК, одно положительное заключение о выдаче инновационного патента на изобретение по заявке №2009/0259.1 от 27.02.09 г. Изданы одна монография «Технология прокатного производства» в соавторстве и один лабораторный практикум «Материаловедение».

**Личное участие автора** заключается в постановке задач исследований, выборе методик, создании лабораторной установки отводящего рольганга, предложении усовершенствованной конструкции отводящего рольганга ШПС горячей прокатки и определении рациональных его конструктивных параметров, предложении новой методики статистической обработки диаграмм вытяжки, усовершенствовании конструкции образца, позволяющего развивать простой сдвиг, предложении новых конструкций прокатных валков для деформирования металлов и сплавов, проведении экспериментальных исследований, обработке и обсуждении результатов, выводов по работе, а также публикации ряда материалов по теме диссертации.

**Связь темы с планом научных работ.** Работа выполнена в рамках научно-технической программы № 723 УГМ.09 «Новые технологии для углеводородного и горно-металлургического секторов и связанных с ними сервисных отраслей». Направление 3: «Разработка и освоение новых конкурентоспособных и экологически чистых обогатительных и металлургических технологий, обеспечивающих комплексную и глубокую переработку минерального и техногенного сырья цветной и черной металлургии и получение современных материалов на основе металлов Казахстана». Тема 3.3: «Новые материалы на основе металлов и технологии их производства и обработки». Раздел 3.3.2: «Разработка новых конкурентоспособных технологий обработки готовых изделий из металлов и сплавов, а также технологий нанесения покрытий», а также в рамках госбюджетной тематики в соответствии с координационным планом научно-исследовательских работ Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, шести разделов, заключения и списка использованных источников, включающего 254 наименования. Объем диссертации – 289 страниц машинописного текста, включая 161 формулу, 76 таблиц, 94 рисунка.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

**Во введении** представлены актуальность проблем и новизна темы диссертации, сформулирована цель работы, поставлены задачи исследования и изложены положения, выносимые на защиту.

**Первый раздел** посвящен анализу проблем и перспектив технологии листовой прокатки. Рассмотрены основные направления совершенствования непрерывной разливки стали, тенденции улучшения конструкции ОР ШПС, технологические способы предупреждения образования дефектов и повышения качества при горячей прокатке полос, основные направления улучшения производства холоднокатаных полос и жести.

**Во втором разделе** представлены исследования общих закономерностей формирования качества горячекатаных листов, служащих подкатом для дальнейшего получения прокаткой жести. Проводилось исследование структурных и фазовых изменений углеродистой стали, анализировалось влияние этапов техпроцесса прокатки на качество жести, для чего вырезались образцы из горячекатаных и холоднокатаных полос сталей 08кп, СтЗсп, являющихся базовыми при выпуске жести в АО «АрселорМиттал Темиртау», и проводились микро-



скопические исследования, а также определялись механические свойства.

Металлографический анализ проводился с помощью микроскопа Carl Zeiss Axiovert-200 Mat при увеличениях  $\times 200$ ,  $\times 500$  и  $\times 1000$ . Обработка изображений осуществлялась программой VideoТесТ - Metall 1.0, а также с использованием энергодисперсного спектрометра INCA Energy (Great Britain) на электронно-зондовом микроанализаторе компании JEOL (Japan).

Показатели механических свойств исследуемых после прокатки сталей определялись на установке МВ-01м; химический состав - на установке МФС-8, в основе работы которой используется метод эмиссионного спектрального анализа на основании зависимости интенсивности спектральных линий от массовых долей элементов в пробе.

Для установления комплексного влияния температурно-деформационных режимов прокатки, охлаждения и смотки на качество горячекатаных листов, служащих подкатом для получения жести, была произведена опытная прокатка в условиях АО «АрселорМиттал Темиртау» по существующим деформационным режимам прокатки (таблица 1). В качестве исходной заготовки применялся слэб из стали 08кп, а толщина горячекатаных полос составляла 6 мм.

Из обработанных полос вырезались образцы для механического испытания и микроструктурного анализа.

Исследования структуры образцов (таблица 1) показали, что наиболее равномерные зерна перлита формируются при использовании режимов обработки I и II. Это обусловлено деформацией стали в однофазной аустенитной области. При этом мелкозернистая структура формируется при прокатке, охлаждении и смотке по варианту II, так как снижение температуры смотки до 600–650 °С при прерванном режиме охлаждения полосы в температурном интервале интенсивного выделения цементита (620–650 °С) способствует образованию мелких выделений цементита (2–3 балла). Повышение температуры смотки в рулон при температуре конца прокатки  $t_{\text{кп}} = 850\text{--}900$  °С приводит к общему укрупнению зерна до 8 баллов. Так, осуществление смотки при температурах выше 650–700 °С приводит к образованию по границам зерен феррита крупных выделений цементита (3–4 балла).

Необходимо отметить, что при более высоких температурах смотки (650–700 °С) часть углерода остается в твердом растворе в виде коттреловских сегрегаций, которые приводят к повышению предела текучести (таблица 1), что существенно ухудшает выкатываемость и свойства горячекатаных полос.

Использование режима III в горячекатаном подкате приводит к образованию неравномерной структуры. Соответственно, после смотки образуются разнотернистые перлит и цементит. При низких температурах прокатки и смотки (режим IV) в горячекатаном подкате происходит образование разнотернистого перлита и цементита. Все это связано с тем, что прокатка осуществляется при температурах, когда структура состоит из нескольких фаз, которые находятся между собой в термодинамическом равновесии.

Следует отметить, что причиной образования разнотернистой структуры по сечению полосы также может явиться неравномерность деформации. Так как при низких температурах прокатки поверхностные слои полосы сильнее охлаждаются, они в меньшей степени подвергаются деформации, в то время как в

центральных слоях деформация локализуется. Поэтому, при смотке рулона первичная рекристаллизация проходит в центральных слоях и зерна измельчаются (9–10 баллов), а в поверхностных слоях, где величины степени деформации соответствуют критическим значениям, формируются крупные зерна (5–6 баллов).

Результаты исследований показали, что роль избыточных фаз в формировании рекристаллизованной структуры сильно зависит от размеров частиц и расстояний между ними. Дисперсные частицы могут, как ускорять, так и замедлять рекристаллизацию по сравнению с матрицей, свободной от таких частиц. Следовательно, кроме размеров зерна феррита, существенное влияние на формирование твердости оказывают закономерности формирования дисперсных частиц в горячекатаном подкате.

Таблица 1 – Микроструктура и механические свойства подката

Режим	Температурные интервалы горячей прокатки	Микроструктура		Твердость подката, НВ, <u>мин.-макс.</u> средн.	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа
		Балл зерна феррита подкат	Балл ССЦ подкат			
<b>Поздний режим охлаждения</b>						
I	t <sub>кп.</sub> = 850 – 900 °С t <sub>см.</sub> = 700 – 750 °С	8 – 9	3 – 4	$\frac{54-56}{55}$	337,3	498,2
II	t <sub>кп.</sub> = 850 – 900 °С t <sub>см.</sub> = 650 – 700 °С	9 – 10	2 – 3	$\frac{46-48}{47}$	210,2	366,2
III	t <sub>кп.</sub> = 800 – 850 °С t <sub>см.</sub> = 700 – 750 °С	5 – 9	1 – 4	$\frac{50-52}{51}$	324,7	436,3
IV	t <sub>кп.</sub> = 800 – 850 °С t <sub>см.</sub> = 650 – 700 °С	6 – 10	1 – 2	$\frac{52-56}{54}$	256,9	485,4
<b>Прерванный режим охлаждения</b>						
I	t <sub>кп.</sub> = 850 – 900 °С t <sub>см.</sub> = 700 – 750 °С	8 – 9	3 – 4	$\frac{56-58}{57}$	331,8	526,4
II	t <sub>кп.</sub> = 850 – 900 °С t <sub>см.</sub> = 650 – 700 °С	9 – 10	2 – 3	$\frac{44-48}{46}$	211,6	369,8
III	t <sub>кп.</sub> = 800 – 850 °С t <sub>см.</sub> = 700 – 750 °С	5 – 8	1 – 3	$\frac{50-54}{52}$	328,3	440,7
IV	t <sub>кп.</sub> = 800 – 850 °С t <sub>см.</sub> = 650 – 700 °С	6 – 9	1 – 2	$\frac{50-56}{53}$	269,2	492,3

Так, в горячекатаном подкате, обработанном по режиму IV, образуется мелкий цементит с большей, чем при использовании режима III, плотностью распределения ( $7,43 \times 10^{13}$  против  $4,63 \times 10^{13}$ ). При этом происходит насыщение ферритной матрицы мелкодисперсным цементитом, что приводит к значительному искажению кристаллической решетки и, соответственно, к увеличению твердости готового проката по сравнению с режимом IV.

По результатам исследования структуры и механических свойств установлено, что:

- наименьший предел текучести имеет полоса, прокатанная по второму ре-

жиму;

- при позднем или прерванном режимах охлаждения внутренняя структура стали 08кп формируется по одинаковым закономерностям, однако они по разному влияют на твердость поверхности прокатываемой полосы;

- на полосах толщиной 6,0 мм равноосное по толщине полос зерно 9–10 балла с малой толщиной слоя видманштетта возможно получить при использовании режима II с поздним охлаждением;

- при использовании позднего режима охлаждения на полосах толщиной 6,0 мм с уменьшением расхода воды уменьшается толщина слоя видманштетта;

- при использовании позднего режима охлаждения твердость подката (толщина 6,0 мм) для производства жести снижается в среднем на 3 единицы, а доля подката с твердостью до 58HV – увеличивается с 42 до 76% по сравнению с прерванным режимом охлаждения;

- на полосах толщиной 6,0 мм наиболее равномерное зерно по толщине полос получается при использовании режима II с прерванным охлаждением. При этом толщина слоя видманштетта при прерванном режиме в 2,1–2,4 раза меньше, чем при позднем режиме.

По полученным данным установлено, что для обеспечения механических свойств подката из стали 08кп необходимо производить прокатку полос с температурой конца прокатки 850–900°C, температурой смотки 600–650°C и охлаждением горячекатаных полос на ОР по прерванному режиму.

Таким образом, существующая на НШПС 1700 АО «АрселорМиттал Темиртау» СЛОП удовлетворительно обеспечивает требуемые механические свойства при позднем и прерванном режимах охлаждения в зависимости от толщины прокатываемой полосы. Требуемые механические свойства обеспечиваются за счет получения микроструктуры с минимальной разнородностью по толщине проката.

Однако существующий ОР ШПС 1700 обладает рядом недостатков, основными из которых являются: высокий осевой момент инерции роликов, склонность их к дисбалансу в результате температурных деформаций, неравномерный износ поверхности бочек.

Из-за отмеченных причин усложняется процесс транспортировки и охлаждения горячекатаной полосы, а эксплуатация рольганга и его обслуживание требуют больших материально-энергетических затрат.

Как показывает практика, одной из основных причин образования дефектов поверхности при холодной прокатке полосы являются дефекты подката. Причем, разрушение металла по месту дефекта может наступать либо не наступать в зависимости от вида, размеров и глубины дефекта, а также суммарного обжата и технологического режима холодной прокатки. Данные дефекты могут привести к порывам полос в межклетевых промежутках стана.

Порывы связаны с исчерпанием ресурса пластичности прокатываемого металла. Проектируя режимы холодной прокатки так, чтобы повысить ресурс пластичности металла, можно полностью исключить порывы полос в межклетевых промежутках стана или, хотя бы, уменьшить их количество.

В этом же разделе для оценивания возможности холодной прокатки полос из горячекатаных листов с поверхностными дефектами предложена методика

определения СИРП листовых материалов с поверхностными дефектами.

Далее в работе ставилась задача оптимизации режимов обжатий при холодной прокатке на НШПС 1700 по критерию минимума накопленной СИРП.

Оптимальный режим должен существовать при следующих условиях и ограничениях:

$$\left. \begin{aligned} \Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_n &= \Delta h_{\Sigma} = h_0 - h_n; \\ P_i &\leq P_{\max}; N_i \leq N_{\max}; \sigma_i \leq \sigma_{i \max}, \end{aligned} \right\}$$

где  $\Delta h_i$  – обжатия в отдельных клетях;  $\Delta h_{\Sigma} = h_0 - h_n$  – суммарные обжатия;  $P_i$  – усилие прокатки;  $N_i$  – межклетьевые натяжения полосы;  $P_{\max}$ ,  $N_{\max}$ ,  $\sigma_{i \max}$  – соответственно, предельные допустимые усилия прокатки, мощности на валах двигателей главного привода, межклетьевые натяжения;  $i = 1, 2 \dots n$  – номер клетки.

Программа для оптимизации режимов обжатий на непрерывном стане по критерию  $\Psi = \sum_{i=1}^n \psi_i = \sum_{i=1}^n \frac{\Lambda_i}{\Lambda_p} \rightarrow \min$ , реализующая метод случайного поиска и включающая подпрограмму расчета параметров холодной прокатки, составлена на языке VBA Excel.

С использованием указанной программы были выполнены расчеты по оптимизации режимов обжатий стального профиля 08кп (0,48 мм×1253 мм) на стане 1700 АО «АрселорМиттал Темиртау».

Увеличивая шероховатость рабочих валков от минимального значения с шагом 0,5 мкм для всех клеток одновременно (для первой и пятой клеток в диапазоне  $R_a = 1,0$ –6,0 мкм, для клеток со второй по четвертую – в диапазоне  $R_a = 0,5$ –2,5 мкм), рассчитали  $\Psi$  и энергосиловые параметры прокатки. Благодаря закруглению поверхности валков, удалось обеспечить условие  $N_i \leq N_{\max}$ . Для пятиклетьевого стана получен окончательный оптимальный режим обжатия по клетям и соответствующий ему ряд шероховатостей валков по клетям:  $R_{a1} = 3,5$ ;  $R_{a2} = 2,5$ ;  $R_{a3} = 2,5$ ;  $R_{a4} = 2,5$ ;  $R_{a5} = 5,7$  мкм.

Оптимальный режим обжатия по клетям при холодной прокатке профиля 0,48 мм×1253 мм, полученный расчетным путем, опробован на НШПС 1700. В качестве исходной заготовки использовался горячекатаный подкат из стали 08кп размером 2,3 мм×1253 мм, прокатанный по рациональным режимам II и IV.

Исследования структуры образцов показали, что использование температурных режимов:  $t_{\text{кп.}} = 850$ –900 °С;  $t_{\text{см.}} = 650$ –700 °С при горячей прокатке листов, а при холодной прокатке полос – оптимального режима, приводит к образованию глобулярного тонкодисперсного перлита и мелкого цементита с плотностью распределения  $3,53 \times 10^{13}$ . Использование же режимов:  $t_{\text{кп.}} = 800$ –850 °С;  $t_{\text{см.}} = 650$ –700 °С при горячей прокатке листов, и при холодной прокатке полос – оптимального режима, приводит к образованию строчечного тонкодисперсного перлита и мелкого цементита с плотностью распределения  $4,92 \times 10^{13}$ .

Нужно отметить, что при холодной прокатке по оптимальному режиму горячекатаных подкатов, деформированных по режиму IV, количество углерода, оставшееся в твердом растворе, сравнительно велико, что приводит к повышению предела текучести. Это определенно ухудшает выкатываемость и свойства холоднокатаных полос. Также следует сказать, что расчет СИРП и апробация его результатов в цеховых условиях показали, что при прокатке по оптималь-

ному режиму нарушения сплошности металла полосы не наблюдается.

**В третьем разделе** квалитетическим методом произведена оценка качества листового проката.

Авторами известной методики было предложено для объединения и сравнения разнородных аргументов нормировать оценки единичных свойств, используя при этом меру Харрингтона в следующей трактовке:

$$d_i = \exp[-\exp(-y^*(r_i))], \quad (1)$$

т.е. для перевода натурального значения  $r_i$  в размерность  $d_i$  предложено использовать уравнение (1).

На основе использования стандартов и обработки большого массива данных по качеству поверхности и по профилю поперечного сечения листового проката получены уравнения нормировки балльных оценок дефектности листового проката. Для изучения качества продукции цеха горячей прокатки с НШПС 1700 АО «АрселорМиттал Темиртау» была проанализирована информация о распределении дефектов горячекатаных листов за 2006 г. Оценка качества выпускаемой продукции производилась на трех группах горячекатаных листов, прокатанных из различных плавок, по 120-125 рулонов в каждой группе.

Среднее значение обобщенного показателя качества для горячекатаных листов составляет 0,5791, 0,6287, 0,7212. При этом для стандартной технологии величина исправимого брака (по шкале Харрингтона от 0,2 до 0,37) составляет 7,02%, 5,98%, 4,73% от всего объема массива. Процент выполнения требований стандарта для листового проката за 2006 г. соответственно составил 65,91%; 65,68%; 72,43%. Перевод в повышенный класс точности наблюдается на 24,83%, 26,63%, 21,72% стандартных листов. Достижение гипотетически желательных свойств при серийной технологии составляет 2,24%, 1,71%, 1,12% (гипотетический уровень свойств – от 0,8 до 1,0 по Харрингтону - рассчитан для существующей технологии). Дисперсия обобщенного коэффициента качества для стандартной группы составляет 0,051893, 0,048438, 0,493418.

В этом же разделе также произведена оценка качества холоднокатаных полос, служащих подкатом для получения конечного продукта – жести.

На основе стандартов и большого массива данных по качеству поверхности и по профилю поперечного сечения тонколистового проката были получены уравнения нормировки балльных оценок дефектности холоднокатаных полос.

Оценка качества выпускаемой продукции производилась на трех группах тонколистовой стали, прокатанной из различных плавок, по 180–210 рулонов в каждой группе.

Среднее значение обобщенного показателя качества для тонколистовой стали составило: 0,583481, 0,5927453, 0,628732. При этом для стандартной технологии величина исправимого брака (от 0,2 до 0,37 по шкале Харрингтона): 3,29%, 4,02% и 3,82% от всего объема массива. Процент выполнения требований стандарта для тонколистовой стали за 2006 г. соответственно составил: 69,5%, 65,4%, 66,8%. Перевод в повышенный класс точности стандартных рулонов наблюдался следующий: на 25,1%, 26,3%, 28,8%. Достижение гипотетически желательных свойств при серийной технологии: 2,11%, 4,28% и 0,58%

(гипотетический уровень свойств от 0,8 до 1,0 по шкале Харрингтона). Дисперсия обобщенного показателя качества для стандартной группы составляет: 0,043386, 0,067189 и 0,065921.

Статистическим анализом качества тонколистового проката и по данным квалитетической оценки установлено, что:

- улучшения качественных показателей тонколистового проката можно достичь путем совершенствования технологического процесса и конструкций различных узлов НШПС-1700, НСХП-1400, АЭО, ДДС-1400 и ПДС-1400;

- дефекты типа «отпечатки», «порез», «складка», «потертость», «волнистость», «риски», «полосы линий скольжения», «разнотолщинность», «смятый рулон» и т.д. являются следствием отклонений в технологическом процессе НСХП-1400-АЭО, изнашивания оборудования валковых систем и приводов дрессировочных станов;

- дефекты типа «рваная кромка», «вкатанные металлические частицы», «разрывы от окалина», «вкатанная окалина», «рябизна», «расслоение», «прокатная плена», «раскатанный пузырь», «сквозные разрывы» и т. д. являются следствием неудовлетворительной работы окалиноломателей, нарушения режимов работы системы гидросбива стана горячей прокатки, наличия дефектов кромок на подкате, неплотной смотки рулонов, выработки рабочих валков чистовых клетей горячей и холодной прокатки, грубой зачистки дефектов поверхности на слябах и горячекатаных листах, травмирования поверхности подката при прокатке и транспортировке, пересиживания и оплавления слитков при нагреве и т. д., так как рассчитанные единичные показатели имели наименьшие по величине значения (0,28 – 0,52).

Для контроля и управления качеством горячекатаных листов в третьем разделе предложено использовать причинно-следственную диаграмму, позволяющую выявить наиболее существенные факторы (причины), влияющие на конечный результат (следствие). Для анализа дефектов и построения диаграммы необходимо определить максимальное число причин, которые могут иметь отношение к допущенным дефектам.

Для комплексной оценки контролируемого качества выпускаемой продукции, на основе вышеприведенных единичных показателей и данных о причинах возникновения того или иного дефекта, оценивалось рабочее состояние различных узлов листопрокатных станов. Для этого необходимо было измерить размеры соответствующих дефектов, определить химический состав и механические свойства горячекатаных полос, и ввести полученные данные в формулы, позволяющие определить соответствующие единичные показатели, и по величине единичных показателей, оценить состояние различных узлов прокатного стана. Однако при использовании вышеописанной методики, для определения единичных показателей, размеры дефектов усредняют, т.е., используя средние по величине дефекты получаемых горячекатаных полос, определяют средние по величине единичные показатели. При этом основной проблемой при определении единичных показателей является наличие случайных величин, корректное определение доверительного интервала, влияющее на точность результатов расчета. Таким образом, определение величин единичных показателей во времени цикла технологического процесса осуществляется по средним величинам

единичного показателя, а точки на кривой  $r_i - t$  (где  $t$  – время технологического цикла прокатки) соответствуют вероятности бездефектной работы соответствующих узлов прокатного стана  $\rho = 50\%$ .

Единичные показатели, соответствующие вероятности бездефектной работы узлов прокатного стана  $\rho > 50\%$ , могут быть определены по формуле

$$r_{i\rho} = r_i - \Delta r_i = \bar{r}_i \pm t_2(\rho, k) \left( S/n^{0.5} \right) - t_1(\rho, k) S \quad (2)$$

где  $r_i$  – истинное значение единичного показателя;  $\Delta r_i$  – доверительный интервал для вероятности бездефектной работы узлов прокатного стана  $(1 - \rho)/2$  при числе измерений  $n$  и  $k = n - 1$  степеней свободы, проведенных для расчета соответствующего единичного показателя;  $t_1(\rho, k)$  – коэффициент Стьюдента;

$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (r_{ii} - \bar{r}_i)^2 / (n - 1)}$  – среднеквадратичная ошибка.

Итак, после определения величин различных дефектов, по выражению (2) рассчитывают единичные показатели, и по величинам последних оценивают состояние различных узлов используемого оборудования. При этом если рассчитанная величина единичного показателя окажется  $< 0,37$ , дается рекомендация о необходимости устранения неполадок соответствующих узлов прокатных станов или иного оборудования.

Далее, в этом же разделе, используя полученные расчетным путем значения единичных показателей, построили диаграммы по первичным и вторичным причинам возникновения брака горячекатаных полос. Из графика, построенного по первопричинам возникновения брака, определено, что наибольшее влияние на качество горячекатаных полос оказывают геометрические размеры и поверхностные дефекты. На основе построенного графика исследовались вторичные причины возникновения поверхностных дефектов и отклонения геометрических размеров, оказывающие наибольшее влияние на качество готовой продукции.

Построение диаграммы по вторичным причинам показало, что увеличение брака горячекатаных полос чаще всего происходит из-за отклонения геометрических размеров, а также из-за часто возникающих на поверхностях полос дефектов в виде раковин вдавливания, вкатанной или валковой окалины, расслоения, плена, раскатанного пузыря, царапин, опечатков, рисок и т.д.

Следует полагать, что основной причиной возникновения данных дефектов являются недостатки промышленных способов сбивки окалины, износ поверхности прокатных валков, а также наличие неметаллических включений в исходной заготовке.

Также в третьем разделе предложено управление качеством прокатки холоднокатаных полос на шестиклетьевом стане 1400 с периодическим контролем состояния отдельных элементов оборудования и смазки. На основе результатов и исследований, проведенных в условиях АО «АрселорМиттал Темиртау», произведен анализ причин обрыва полос на указанном стане 1400.

Установлено, что к дефектам, приводящим к порывам полос в линии стана холодной прокатки, относятся: «вкатанная окалина», «раковины», «отпечатки», а также различного рода повреждения при транспортировке и намоточных опе-

рациях (риски, царапины, забоины, продиры).

Для управления качеством прокатки холоднокатаных полос произведена оценка качества, как холоднокатаных полос, так и состояния отдельных узлов стана холодной прокатки 1400.

С использованием соотношения (1), техусловий ТУ 650 РК-01440-017-96 ОАО «Арселор Миттал Стил» и каталога дефектов холоднокатаных полос, была оформлена шкала оценок. При этом дефекты, в зависимости от требований стандарта и технических условий, были разделены на отдельные категории.

На основе обработки большого массива данных по качеству поверхности и профилю поперечного сечения тонколистового проката было получено следующее уравнение нормировки балльных оценок дефектности жести:

$$r_i = \exp\left[-\exp\left(-\left(a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4\right)\right)\right], \quad (3)$$

где  $x = h, K_d, l, \Delta h_i/h_{ст}$  – нормируемые свойства, представленные в соответствующем масштабе;  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  – эмпирические константы для тонколистового проката (ввиду большого объема в автореферате не приводится).

Оценка качества выпускаемой продукции производилась для одной группы тонколистовой стали, прокатанной из различных плавок в 2005 г. В группе 156 рулонов. Полученные поверхностные дефекты, а также разнотолщинность тонких листов образовали статистический массив, который был подвергнут статистической и квалиметрической оценке для выявления качества рулонов цеха жести.

Принято, что в рассматриваемом случае ненормируемые весомости единичных свойств равны между собой, т. е. свойства по своему влиянию на оценку качества равнозначны. Среднее значение обобщенного показателя качества для холоднокатаного листового проката составило 0,583714. При этом для стандартной технологии величина исправимого брака (от 0,2 до 0,37 по шкале Харрингтона) составила 5,77% от всего объема массива, а процент выполнения требований стандарта – 57,05%. Перевод в повышенный класс точности наблюдается на 33,98% стандартных листах. Достижение гипотетически желательных свойств при серийной технологии составило 3,21% (гипотетический уровень свойств – от 0,8 до 1,0 по Харрингтону). Дисперсия обобщенного коэффициента качества для стандартной группы составила 0,05217.

С использованием соотношения (1) и экспериментальных данных, полученных ЦЗЛ ОАО «Арселор Миттал Стил», была оформлена шкала оценок технологических параметров.

На основе большого массива экспериментальных данных по составу и температуре охлаждающей жидкости, качеству поверхности валка и межклетьево-му растяжению, получено уравнение (3) нормировки балльных оценок вышеперечисленных показателей (где  $x = n, t, H, m, h_6, k, \sigma_B$  – нормируемые свойства, представленные в соответствующем масштабе;  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  – эмпирические константы для тонколистового проката).

Используя вышеприведенные единичные показатели и имея данные о причине возникновения того или иного дефекта, можно оценить рабочее состояние различных узлов стана, применяемого для прокатки холоднокатаных полос.



Для этого необходимо измерить размеры соответствующих дефектов, определить основные технологические параметры охлаждающей жидкости, соотношение усилий пятой и шестой клетей, межклетьевые натяжения, и ввести полученные данные в формулы, позволяющие определить соответствующие единичные показатели, а затем, по величине единичных показателей, оценить состояние различных узлов шестиклетьевого стана 1700.

**В четвертом разделе** предложена новая конструкция ОР ШПС и определены температурные режимы охлаждения горячекатаного металла при его перемещении по рольгангу.

Предлагаемый рольганг содержит соединенные между собой секции с полыми роликами на индивидуальных приводах, а также ролики, снабженные радиальными соплами круглого (прямоугольного) сечения и Г-образными соплами. Рольганг имеет тарельчатые водоотражающие экраны, в которых расположены части ролика с Г-образными соплами. Таким образом, каждый ролик имеет в центральной части цилиндрической бочки радиальные сопла круглого (прямоугольного) сечения, а на перифериях – Г-образные сопла, направленные против хода перемещаемой горячекатаной полосы.

Для транспортирования и охлаждения горячекатаных полос из насосной установки в рольганг под большим давлением подается вода, которая, проходя через радиальные и Г-образные сопла, создает усилие и крутящий момент на поверхности ролика, что приводит к вращению последнего в направлении перемещения полосы. Кроме того, вода, подаваемая под давлением из сопла, попадает в отражающий экран, и брызгами струй охлаждает горячекатаную полосу. Определенная часть воды под давлением проходит через радиальные сопла, что приводит к подъему листа в вертикальном направлении и снижению трения между полосой и роликами. Данный принцип позволяет получить вращательные движения роликов, и, тем самым, транспортировать горячекатаные листы без использования индивидуальных приводов с электродвигателем. Отражение воды от экрана и попадание на поверхность горячего металла позволяет охладить полосу. При этом нет необходимости в использовании специальной установки для принудительного охлаждения. Охлаждению также способствует подача воды через радиальные сопла. Подъем листа в вертикальном направлении и снижение трения между полосой и роликом позволяют повысить качество поверхности изделия и снизить износ роликов и, соответственно, выход их из строя.

Кроме того, в **данном разделе** определены основные параметры существующего ОР НШПС. Далее, на основе этого, определены мощности привода роликов ОР НШПС предложенной конструкции.

Исходя из общей длины рольганга, было предложено разбить его конструктивно на шесть групп, в каждой из которых расположено до 40 роликов, разделенных на нечетную и четную подгруппы. В двух рядом располагающихся группах предложено установкой чередованием один существующий, один быстросъемный и один предлагаемый ролики, а остальные четыре группы будут собраны из существующих роликов. С учетом этого произведен расчет расхода рабочей жидкости, приходящегося на предлагаемый рольганг.

Расчетные данные привода роликов предлагаемого рольганга приведены в

диссертации. По этим данным рассчитана мощность насоса.

В настоящее время тенденция новых конструктивных решений направлена на разработку и создание унифицированных блочно-модульных конструкций рольгангов с индивидуальным приводом, что обеспечит рациональную систему обслуживания и ремонта, повысит ресурс не только ролика, но и всех элементов рольганга, в связи с чем, предложен ролик, конструктивно имеющий постоянную цилиндрическую часть на всей длине бочки. Роль внутренних присоединительных элементов выполняют конические отверстия, выполненные в ступичных втулках. Втулки устанавливаются с обоих концов бочки ролика с минимальным натягом. В целях унификации устанавливаемые втулки для обоих концов вала делаются одинаковыми. Каждая втулка с одного конца имеет дисковую часть, превышающую внешний диаметр бочки на величину до половины ее значения. Такое исполнение позволит оперативно производить сборно-разборные работы, а также ограничивать перемещение транспортируемой полосы в поперечных направлениях.

Несомненным достоинством конического соединения является обеспечение центрирования ролика без применения специальных крепежных элементов и возможность использования для значительных нагрузок. В процессе работы рольганга крутящий момент передается от вала электродвигателя через понижающий редуктор к валу и конической втулке приводного подшипникового блока, и, далее, через коническое соединение, к ролику за счет сил трения. Такой принцип используется на металлорежущих станках, где осуществляется передача крутящего момента коническим хвостовикам осевых инструментов (сверл, разверток, зенкеров).

Известно, что при посадке ступиц с натягом в бочке ролика могут появляться значительные напряжения, приводящие к возникновению трещин, опасных для эксплуатации. Поэтому применительно к конструктивным особенностям предлагаемого ролика произведен расчет величин давления на посадочной поверхности, максимальный крутящий момент, который может передать соединение, а также максимальные напряжения на валу и в ступице.

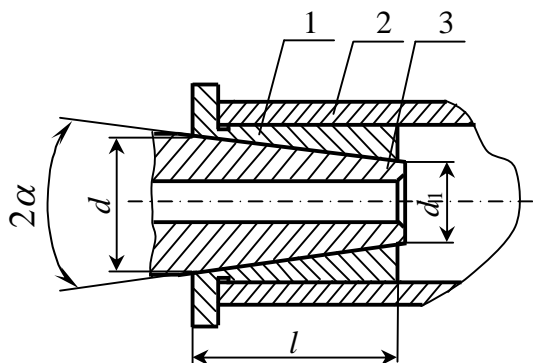
Для определения влияния геометрических параметров и жесткости элементов соединения на несущую способность и прочность предлагаемой конструкции ролика ОР произведен точностной расчет необходимых параметров ролика. Причем, рассмотрены различные варианты соединений бочки ролика со втулкой.

Данный ролик, являясь модульным элементом, исключает применение подшипников и приводных зубчатых колес, что позволит осуществлять быструю его замену, снизив среднюю продолжительность сборно-разборных работ и трудоемкость восстановления.

Далее в работе выполнено исследование фрикционных характеристик быстрого ролика предлагаемой конструкции ОР.

В предлагаемой конструкции рольганга передача крутящего момента от втулки подшипникового блока ролику происходит за счет проявления сил трения-сцепления. Следует иметь в виду, что с точки зрения механики, выходной вал подшипникового блока и ролик представляют собой фрикционную пару, в которой вал блока является ведущим звеном, а ролик – ведомым. Во фрикцион-

ной паре вращение передается силами трения, что, соответственно, вызывает износ контактирующих поверхностей. Как правило, во фрикционной паре сочетается несколько видов износа с преобладанием одного лимитирующего. На рисунке 1 представлена схема фрикционного соединения, где  $d$  и  $d_1$  – наибольший и наименьший диаметры конуса соответственно;  $l$  – длина конуса втулки;  $2\alpha$  – угол конуса.



1 – втулка; 2 – бочка ролика; 3 – выходной вал подшипникового блока  
Рисунок 1 – Схема фрикционного узла быстросъемного ролика

Поскольку интенсивности протекания данных процессов способствует проскальзывание, принято решение увеличить коэффициент трения в данных фрикционных парах. Это возможно обеспечить силами упругих деформаций амортизирующих элементов, например, пружин, встроенных в подшипниковые модули.

Для обеспечения быстрого разъема соединения «ролик – втулка» возникает необходимость в определении главного параметра конического соединения – значения угла конуса  $2\alpha$ , исключающего самозаклинивание соединения. Угол конуса  $2\alpha$  зависит от трения между сопрягаемыми поверхностями, которое характеризуется коэффициентом сцепления  $f_c$  или углом сцепления  $\Delta = \arctg(f_c) = \arctg(\alpha)$ .

Поэтому в работе, с целью получения более точных зависимостей трения сцепления при определении угла самоторможения  $\alpha_c$  конуса для конкретно применяемого конструкционного материала, с учетом вида механической обработки, были проведены экспериментальные исследования по плану эксперимента. В соответствии с поставленной целью, в качестве параметра оптимизации выступают соответствующие величины коэффициента сцепления  $f_c$ . В качестве независимых переменных были выбраны: шероховатость поверхности ( $X_1$ ), температура поверхности ( $X_2$ ), твердость материала ( $X_3$ ). В рассматриваемой фрикционной паре наличие смазки между контактирующими поверхностями не предусматривается.

Для получения возможно более полной информации об изучаемых зависимостях был реализован полнофакторный эксперимент  $2^3$ . В соответствии с выбранным планом выполнено 8 опытов. Каждый опыт повторялся 3 раза. С целью уменьшения систематически действующих во время эксперимента неконтролируемых факторов, опыты проводились рандомизированно в лабораторных условиях на экспериментальной наклонной установке. Исходя из имеющихся материалов, в качестве рабочих образцов использованы заготовки из стали 20 и серого чугуна СЧ 18 с учетом выбранного масштаба по отношению к ролику ОР АО «АрселорМиттал Темиртау» массой 0,48 кг. Требуемый параметр шеро-

ховатости обеспечивался продольным фрезерованием и шлифованием на универсальном металлорежущем оборудовании.

После проведения необходимых расчетов, проверки уравнения по критерию Стьюдента на адекватность, проверки значимости коэффициентов по критерию Фишера, получены уравнения в кодированных значениях. Согласно  $t$ -критерию данные уравнения являются адекватными на 5%-ом уровне.

При переходе от кодированных значений факторов к натуральным уравнения приняли следующий вид:

- для стали 20:

$$y_{Ст\ 20} = 0,4328 - 0,0078Ra + 0,0015\theta - 0,0007HB - 0,00005Ra \cdot \theta + 0,000005\theta \cdot HB;$$

- для чугуна СЧ 18:

$$y_{СЧ\ 18} = 0,4497 - 0,0065Ra + 0,0007\theta - 0,0004HB - 0,00005Ra \cdot \theta + 0,000003\theta \cdot HB.$$

Необходимо отметить, что в полученных зависимостях величины коэффициента сцепления от рассматриваемых факторов при использовании конкретных материалов в исследуемых режимах, наиболее сильное влияние имеет температура нагрева образцов: с повышением температуры увеличивается коэффициент сцепления. Увеличение шероховатости поверхности, наоборот, ведет к понижению коэффициента трения. Также с увеличением твердости материала наблюдается незначительное понижение коэффициента сцепления. Значение фактора твердости в уравнениях регрессии на порядок ниже значения фактора шероховатости. Наблюдаемый в этих же уравнениях эффект от парного взаимодействия шероховатости поверхности и температуры нагрева ведет к понижению коэффициента трения, а появление значимого коэффициента от твердости материала и температуры ведет к его увеличению. Однако влияние парных эффектов не столь велико по сравнению с влиянием температуры и качества поверхности.

В связи с отмеченным, для количественного выражения фрикционных характеристик контактирующих пар «сталь–сталь» (Ст 20 – Ст 20) и «сталь–чугун» (Ст 20 – СЧ 18) от качества поверхности и температуры нагрева, были проведены эксперименты по определению значения угла клина  $\Delta$ , равного углу трения при сухом трении для всех пар заготовок с вышеуказанными параметрами шероховатости, обеспеченными обработкой фрезерованием и шлифованием. Причем, экспериментальные данные фрикционных характеристик сравнивались с расчетными показателями. Расхождение экспериментальных результатов и расчетных показателей составило 2–7%, что вполне приемлемо для исследований в лабораторных условиях.

Количественные выражения фрикционных характеристик пар «Ст 20 – Ст 20» и «Ст 20 – СЧ 18» в зависимости от конкретных значений параметра шероховатости  $R_a$  для различных температурных режимов, а также зависимости коэффициента трения  $f$  от качества обработки поверхностей и от нагрева контактных поверхностей фрикционной пары «сталь–сталь» и «сталь–чугун» представлены в диссертации.

**В четвертом разделе** также выбраны тип сопел и рациональные параметры системы вращения роликов нового ОР. Исходя из анализа литературных данных, выбраны следующие проекты сопел: Standart Scalemaster® HP; Mini Scalemaster® HP; Dove-Tail компании Lechler GmbH (Germany).

Для корректного подбора параметров системы гидровращения из множества возможных сочетаний была использована программа расчета Impact. Технические параметры сопел были внесены в базу данных программы, при этом сопла 682: 682.537, 682.767, 682.887 имели диаметр эквивалентного по площади отверстия соответственно 1,75 мм; 3,5 мм; 4,7 мм. Результаты расчета с использованием программы Impact для ряда типов сопел приведены в диссертации.

На основании расчетов установлено, что:

- на расстоянии 150 мм сопло типа 682.887 с углом распыления  $30^\circ$  при давлении воды в коллекторе 30 МПа развивает силу удара примерно  $1,71 \text{ Н/мм}^2$ , а сопло 682.537 - только  $1,17 \text{ Н/мм}^2$ , т. е. в 1,5 раза меньше. Для развития аналогичной удельной силы удара сопло 682.537 должно находиться в 2 раза ближе, т. е. на удалении около 75 мм от поверхности водоотражающего экрана;

- увеличение рабочего давления пропорционально увеличивает расход воды через данное сопло.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что с помощью матаппарата может быть осуществлен подбор рациональных параметров систем гидровращения роликов для качественного решения различных технологических задач проектирования нового ОР.

На основе рассчитанных значений полной потери напора ( $H = 48,45 \text{ м}$ ) и объема подачи ( $Q = 604,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), выбраны две стандартные насосные станции со следующими техническими характеристиками: максимальная подача с учетом 10% запаса воды –  $330 \text{ м}^3/\text{час}$ ; рабочее давление насоса станции для гидровращения ролика – 25–30 МПа; мощность электродвигателей рабочих насосов станции –  $2,5 \cdot 10^6 \text{ Вт}$ ; напряжение – 6 кВ; скорость вращения –  $3000 \text{ мин}^{-1}$ .

**В четвертом разделе** для управления существующими роликами нового ОР предложено использовать автоматизированную систему управления транспортировкой полос, а для управления предлагаемыми роликами – насосную станцию с частотным регулированием. Методика приведена в диссертации.

**В данном разделе** с помощью известной методики и соответствующих поправок, рассчитаны на прочность ролики нового ОР при напряжениях, циклически изменяющихся во времени.

Результаты расчета позволили установить, что при конструктивно определяемых внутренних и наружных диаметрах роликов и предела текучести материала, рассчитанный коэффициент запаса прочности не превышает требуемого коэффициента запаса прочности. Поэтому при эксплуатации предлагаемого ОР не ожидается разрушения его роликов.

В лабораторных условиях путем моделирования изготовлена конструкция предлагаемого ОР и доказана возможность использования данного рольганга ШПС в производственных условиях.

В целях дальнейшего совершенствования ресурсосберегающих технических решений транспортировки горячекатаной полосы дополнительно предложена **конструкция пустотелого ролика с индивидуальным приводом**. Из данных роликов составляются непрерывные ряды секций ОР. Причем, каждый ролик снабжен водой под высоким давлением и последовательно соединенными инжектором, завихрителем, вихревой трубой, диффузором, турбиной, подшипниковой опорой и соплом охлаждения. При этом турбина выполнена в виде Т–

образного конуса с винтовыми канавками по всей поверхности и закреплена с помощью подшипниковой опоры к роликам, а сопло охлаждения направлено под углом 40 – 45° к охлаждаемой горячекатаной полосе.

Как было отмечено, самый массовый элемент ОР – ролик – в результате интенсивного износа и частых поломок, приводит к значительным отказам рольганга. В этой связи в настоящей работе выполнялась задача продления срока службы путем восстановления поверхностей роликов наплавкой, так как это представляется экономически целесообразным.

Для выполнения работ по наплавке изношенных бочек роликов в условиях АО «АрселорМиттал Темиртау» использован наплавочный автомат Weldclad 2000 (рисунок 2). Наплавочный материал и режимы наплавки выбирались исходя из рекомендаций различных работ. Технологические режимы наплавки представлены в диссертации.

При выборе состава наплавленного металла учитывались условия работы ролика ОР. Дело в том, что при каждом соприкосновении с раскаленным металлом поверхность ролика нагревается до 350-500°С и затем быстро охлаждается. Толщина слоя, испытывающего резкие колебания температуры, составляет 5-10 мм. Этот слой должен состоять из наплавленного металла.

Внедрение электродуговой наплавки в производство как способа восстановления изношенных поверхностей роликов ОР позволит получить значительную экономию средств, так как, благодаря многократному повторному восстановлению изношенных деталей автоматической наплавкой, расход роликов на тонну проката уменьшается в пять и более раз.



Рисунок 2 – Восстановление поверхности ролика на наплавочном станке Weldclad 2000

Известно, что технология производства листовой стали на ШПС горячей прокатки предусматривает охлаждение полос на ОР и смотку полос в рулоны, после чего рулоны поступают на склад, где остывают до 20÷80 °С в течение 2÷3 суток (в зависимости от массы рулона). Структура и свойства горячекатаного металла в значительной мере определяются режимами охлаждения полос на ОР и после смотки их в рулон. Поэтому, в четвертом разделе диссертации для определения рациональных температурно-временных режимов охлаждения металла при транспортировке на новом ОР также исследовалось влияние условий охлаждения горячекатаной полосы и рулонов на структуру и механические свойства.

Для проведения исследования использовалась сталь СтЗсп, выплавленная кислородно-конвертерным способом, разлитая на машине непрерывного литья заготовок и прокатанная на НШПС 1700. Вырезанные из полосы образцы нагревались в печи со скоростью 20 °С/мин и выдерживались при этой температуре 30 мин. Общее время аустенизации (ок. 40 мин) обеспечивало полную гомогенизацию аустенита. При проведении эксперимента варьировались температура, время охлаждения на воздухе и время принудительного водяного охлаждения (таблица 2). Металлографический анализ проводился по вышеописанной методике.

Таблица 2 – План эксперимента

	Варианты			
	I	II	III	IV
Температура печи (°С) №1	1) 840 2) 920 3) 1000 4) 1080	1) 840 2) 920 3) 1000 4) 1080	1) 840 2) 920 3) 1000 4) 1080	1) 840 2) 920 3) 1000 4) 1080
Охлаждение на воздухе (с)	4	6	8	10
Охлаждение водой (с)	14	10	6	2
Охлаждение на воздухе (с)	4	6	8	10

Исследование структуры металла опытных образцов, охлажденных при различных режимах, показало, что величина зерна феррита изменялась в пределах от 16 до 22 мкм (№ 8–9). Для всех вариантов охлаждения образцов разнотернистость не обнаружена.

В равновесной структуре объемная доля пластинчатого перлита определялась по известной методике по содержанию углерода в стали, а также смещением эвтектоидной точки на диаграмме состояния  $Fe - Fe_3C$  под действием легирующих элементов и примесей (для стали СтЗсп главным образом марганца и кремния). Смещение эвтектоидной точки на 1%  $Mn$  составляет 0,07%  $C$ , а на 1%  $Si - 0,1\% C$ , тогда по правилу отрезков следует принять  $P_0 = (C - 0,02)/(0,78 - 0,07 Mn - 0,1 Si)$ , где  $C, Mn, Si$  – массовые доли элементов, %. Равновесное количество перлита в стали СтЗсп исследуемого химического состава составляло  $P_0 = 16,91\%$ . Измеренные значения объемной доли перлита  $P$  могут быть больше равновесного из-за низкой температуры перлитного превращения или меньше его, если в процессе охлаждения образца из перлита образуется структурно свободный цементит.

В результате исследований структуры образцов, охлажденных различными режимами охлаждения в температурном интервале эвтектоидного распада аустенита, установлено, что при охлаждении по вариантам I – IV независимо от температуры нагрева реализуется нормальный механизм превращения – отношение  $P/P_0$  значимо (с доверительной вероятностью 98% по критерию Стьюдента) больше единицы.

Охлаждение образцов по варианту I ведет сравнительно к небольшим образованиям перлита по границам зерен феррита. Однако скорость диффузии углерода в феррите еще невелика и разложение перлита на крупный цементит ограничено. При охлаждении образцов по вариантам II, III и IV величина участков

перлита растет.

Высокая температура начала душирования и связанная с этим большая скорость охлаждения способствуют образованию на поверхности образца видманштеттной структуры с игольчатым ферритом и прослойками перлита.

При нагреве некоторых образцов до температуры 1000 и 1080 °С образовался крупнозернистый аустенит. Он более устойчив и поэтому при охлаждении превращается в феррит уже не по диффузионному механизму с образованием равноосных зерен феррита, а по сдвиговому, с образованием более-менее выраженной видманштеттной структуры.

В ходе исследований установлено, что для обеспечения мелкозернистой структуры и малой толщины видманштеттной структуры в деформируемом листе, необходимо производить прокатку полос с температурой конца прокатки 840–920 °С.

С целью оценки влияния условий охлаждения рулона исследована кинетика структурных превращений горячекатаной стали СтЗсп в температурном интервале смотки полос в рулоны. Для этого образцы, охлажденные по режимам II – IV (температура нагрева образцов 920 °С), отжигались при температуре 600 °С в течение 1, 3, 5, 10 ч.

В течение 1÷10 ч отжига зерна феррита выросли менее чем на 1 балл, причем происходило это равномерно.

В процессе отжига металла при высокой температуре 600 °С за 10 ч в результате деления цементитных пластин перлита на части с последующей их коагуляцией и коалесценцией образуется структурно свободный цементит балла 0-1. Глобулы цементита размером до 1÷2 мкм располагаются преимущественно по границам ферритных зерен. Цементитной сетки по границам не обнаружено.

Степень полноты превращения  $e$  пластинчатого цементита в глобулярный определялась по количеству  $P$  пластинчатого перлита в структуре отожженного образца по сравнению с исходной (до отжига) долей перлита, тогда  $e = 1 - (P/P_{исх})$ .

По измеренным экспериментальным данным следует, что зерно с исходным размером  $\bar{d}_o = 16 \div 22$  мкм при охлаждении рулона от 600 °С вырастает не более чем на  $\Delta d = d - d_o = 0,1 \div 0,6$  мкм. При таких же условиях охлаждения рулона превращение пластинчатого цементита в глобулярный не завершилось ( $e = 30 \div 50\%$ ). Отсюда следует ожидать, что изменение механических свойств горячекатаного металла в рулоне в основном связано со сфероидацией цементита.

Определение механических свойств стали после охлаждения образца и отжига осуществлялось на автоматизированной установке МВ-01м.

Структурные особенности образцов, охлажденных при различных режимах, находят свое отображение в механических свойствах. Снижение температуры начала душирования (варианты III, IV) ведет к уменьшению предела текучести, временного сопротивления и твердости. При повышении температуры нагрева и температуры начала душирования (варианты I, II), наблюдается повышение предела текучести, временного сопротивления, твердости на соответствующем уровне.



Установлено, что изменение прочностных характеристик металла ( $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0,2}$ ) находится в тесной линейной связи со степенью превращения  $e$  пластинчатого цементита в глобулярный; коэффициент линейной корреляции  $r$  достигает 0,86 – 0,89 при значимой доверительной вероятности 99%. Зависимость изменения временного сопротивления, предела текучести и твердости  $\Delta\sigma_B = \sigma_B - \sigma_{Bи}$ ,  $\Delta\sigma_{0,2} = \sigma_{0,2} - \sigma_{0,2и}$  и  $\Delta HB = HB - HBи$  (где  $\sigma_{Bи}$ ,  $\sigma_{0,2и}$ ,  $HBи$ ,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $HB$  – исходные и текущие значения) от степени превращения  $e$  пластинчатого цементита в глобулярный описывается соответственно следующими уравнениями регрессии:

$$\Delta\sigma_B = - (56,4 \pm 3,1)e; \Delta\sigma_{0,2} = - (18,6 \pm 2,3)e; \Delta HB = - (13,2 \pm 1,6)e,$$

согласованность которых с экспериментом составляет не ниже 95% (по критерию Фишера).

Согласно данным, полученным в результате отжига, наблюдается понижение предела текучести, временного сопротивления и твердости. Понижение перечисленных механических характеристик приводит к наилучшим вытяжным свойствам листового проката (варианты III и IV).

Необходимо отметить, что при использовании для полос толщиной 4,0 мм режимов охлаждения, приведенных в таблице 2, с уменьшением температуры и времени ускоренного охлаждения толщина слоя видманштетта уменьшается. Однако слой видманштетта при исследованных режимах охлаждения сохраняется.

Во избежание видманштеттной структуры, проведены дополнительные эксперименты с применением позднего режима охлаждения. При проведении экспериментов полосы толщиной 4 мм нагревались до температуры 920 °С и охлаждались по следующим режимам:

- охлаждение на воздухе 12 с, в воде - 6 с и на воздухе - 4 с;
- охлаждение на воздухе 14 с, в воде - 4 с и на воздухе - 4 с.

Проведенные исследования показали, что на полосах толщиной 4,0 мм равноосное по толщине полос зерно 10–11 балла без признаков видманштетта возможно получить при использовании позднего режима охлаждения. В результате произведенного позднего режима охлаждения наблюдается понижение предела текучести, временного сопротивления и твердости. Понижение перечисленных механических характеристик приводит к наилучшим вытяжным свойствам листового проката.

Таким образом, проведенными исследованиями установлено, что на ШПС, для получения горячекатаной низкоуглеродистой листовой стали высокого качества с использованием предлагаемой конструкции ОР, оптимальными являются температуры: конца прокатки 920 °С, смотки 600 °С. При этом необходимо использовать поздний режим охлаждения для полос с толщиной до 4 мм, а время охлаждения на воздухе и водой должно равняться соответственно 12 – 14 и 4 – 6 с. Учитывая известную среднестатистическую величину прироста твердости после холодной прокатки, дрессировки и лужения, при данных температурных режимах прокатки и охлаждения будет достигнута твердость холоднокатаной жести, соответствующая стандарту.

Вышеприведенные исследования позволили сделать вывод, что в начале транспортировки необходимо сохранить ОР существующей конструкции на длину 120 м, а к концу перемещения полосы – на длину 40 м. Это необходимо

для создания условий охлаждения горячекатаной полосы на воздухе. При этом в середине рольганга необходимо установить предлагаемую конструкцию на длину 40–60 м для совмещения транспортировки с интенсивным охлаждением горячекатаной полосы водой.

**В пятом разделе** представлены исследования закономерностей изменения структуры при различных видах нагружения. Для исследования влияния линейного растяжения и простого сдвига на структуру стали СтЗсп использовались стандартные и специальные образцы. В результате определения оптимальных размеров конструкция специальных образцов была усовершенствована. Растяжение исследуемого образца приводит к развитию в приповерхностных слоях металла крутящего момента, способствующего появлению сдвигающих деформаций. При этом схема напряженного состояния соответствует кручению, т. е. показатель напряженного состояния за весь период испытания остается постоянным и равным нулю.

В целях проведения экспериментов изготовлено пять образцов для растяжения и пять специальных образцов с оптимальными размерами из стали СтЗсп (0,14C; 0,62% Mn; 0,25% Si; 0,038% P; 0,011% S; 0,06% Cr; 0,04% Ni; 0,08% Cu; 0,018% Al). Данная сталь выплавлена кислородно-конвертерным способом, разлита на машине непрерывного литья заготовок и прокатана на станах горячей и холодной прокатки.

Изготовленные образцы для снятия механических напряжений, вызванных механической обработкой, подверглись полному отжигу в электропечи СНОЛ 12/12-В при 900 °С с выдержкой 30 мин.

Образцы испытывались при комнатной температуре с различными степенями деформации сдвига. После испытания на растяжение и простой сдвиг проводился отжиг при температуре 680 °С в течение 30 мин.

Металлографический анализ исходных и деформированных образцов был проведен на микроскопе Carl Zeiss Axiovert-200 Mat при увеличениях x200. Обработка изображений производилась по программе VideoTecT - Metall 1.0.

Перед испытанием на простой сдвиг и после него микрометром измерялась толщина основного и ослабленного сечений, а на инструментальном микроскопе БМИ-1 замерялись ширина, длина основного и ослабленного участков образца с точностью  $\pm 0,005$  мм. Эксперименты показали, что в процессе испытания происходит только поворот ослабленного участка, при этом не изменяются такие параметры как толщина, ширина и длина основного и ослабленного участков. Поэтому для определения степени деформации сдвига на БМИ-1 измерялся угол поворота ослабленного участка и полученные данные подставлялись в формулу:  $\Lambda = \text{tg}\varphi_1 - \text{tg}\varphi_0$ , где  $\varphi_0$  и  $\varphi_1$  – углы наклона ослабленного участка до и после испытания.

Степень деформации сдвига при растяжении стандартных образцов подсчитывалась по формуле:  $\Lambda = 2\sqrt{\varepsilon_{22}^2 + \varepsilon_{22}\varepsilon_{33} + \varepsilon_{33}^2}$ , где  $\varepsilon_{22} = \ln(b_1/b_0)$  и  $\varepsilon_{33} = \ln(h_1/h_0)$  – компоненты тензора конечной деформации;  $b_0, h_0$  и  $b_1, h_1$  – размеры поперечного сечения плоского образца до и после деформации.

Проведенные исследования показали, что структура металла образцов из стали СтЗсп, деформированных растяжением, вытянута в направлении течения

металла. При этом величина средних размеров зерен образцов равняется 47,3 мкм, 43,6 мкм и 39,8 мкм при степенях деформации сдвига 0,05; 0,08 и 0,11 соответственно. В исходном состоянии структура образцов на растяжение имела величину зерна феррита в пределах от 43 до 71 мкм.

Изучение микроструктуры стали СтЗсп показало, что деформация специальных образцов в условиях простого сдвига приводит к существенному измельчению исходной грубозернистой структуры. Если в исходном состоянии структура образцов на простой сдвиг имела величину зерна феррита в пределах 45 - 63 мкм (балл зерна 5–6), то после деформации со степенью деформации сдвига 0,05, 0,08, и 0,14 величина зерна феррита равнялась 28,3 мкм, 22 мкм и 16 мкм (балл зерна 8–9).

Из обобщения полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что уменьшению величины зерна способствует деформация простого сдвига. А так как мелкозернистая структура металла влияет на повышение прочности и пластичности, целесообразно и выгодно использовать именно эту деформацию при прокатке сталей и сплавов.

Для исследования влияния нагрева на образование окалины изготовлены прямоугольные образцы из СтЗсп размером 150×80×4 мм.

Эксперименты проводились следующим образом. Образцы (12 единиц) нагревались в камерной лабораторной электропечи СНОЛ 12/12-В до температур 900, 1000, 1100 °С и выдерживались при данных температурных значениях в течение 3 ч. Часть образцов охлаждалась на воздухе, а часть – в воде.

После нагрева производилось взвешивание образцов на аналитических весах с точностью измерения  $\pm 0,001$  г.

Анализ качества поверхности нагретых образцов проводился на компьютерном анализаторе изображения микроструктуры МЕТАМ ЛВ-31 и на растровом электронном микроскопе JSM – 6490 LA компании JEOL (Japan).

Фазовый анализ состава окалины определялся на рентгеновском дифрактометре ДРОН-4 в спектре  $\text{Co-K}\alpha$  излучений с применением  $K\beta$ -фильтра в диапазоне углов счетчика 30 – 55°.

Для количественного анализа использовались интегральные интенсивности дифракционных линий без наложений: (200) для FeO, (311) для Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, (112) для Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Удаление окалины осуществлялось путем растворения ее в травильном растворе с защитой основного металла ингибиторами. Для взвешивания образцов после травления использовались аналитические весы, а для травления применялся раствор соляной кислоты по ГОСТ 3118-77 с массовой концентрацией 0,15 г/см<sup>3</sup>. В качестве ингибитора применялся ТДА (толуилендиамин).

В процессе удаления окалины велось наблюдение за травлением каждого образца, качество поверхности образца после снятия окалины определялось оптическим микроскопом. Протравленный образец извлекался из раствора, промывался, фильтровальной бумагой удалялись излишки влаги, высушивался в потоке теплого воздуха, охлаждался и взвешивался. Результаты взвешивания образцов (в граммах) записывались с точностью до третьего десятичного знака.

Результатами исследования установлено, что чем выше температура нагрева и больше его длительность, тем толще слой образующейся окалины. При

равновесном состоянии в интервале температур нагрева 880–900°C образуется окалина, состоящая из 90–95% FeO и 10–5% Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> и небольшого количества гематита. При этом образуется сравнительно небольшое количество окалины.

Наиболее тонкий слой окалины, состоящий преимущественно из вюстита и небольшой доли магнетита, образуется при температуре нагрева 900°C и быстром охлаждении в воде.

При температуре выше 1000°C и замедленном охлаждении образцов количество окалины возрастает, при этом она почти целиком состоит из магнетита и гематита. Необходимо отметить, что при данном температурном режиме быстрое охлаждение способствует сохранению в окалине, кроме магнетита, гематита и вюстита. Сохранение наиболее мягкой и рыхлой составной части окалины на поверхности металла способствует легкому удалению ее механическим путем.

Таким образом, процесс подготовки поверхности тонкого сляба к горячей прокатке и качество полученной из него горячекатаной полосы находятся в прямой зависимости от качества окалины: массы и фазового состава, определяемых условиями нагрева и последующего охлаждения. При этом эффективно удалять печную окалину с поверхности заготовки возможно одновременно путем интенсивного охлаждения нагретой заготовки и ее прокатки в предлагаемых валках.

Для исследования влияния знакопеременной деформации изгибом на сбивку окалины разработана конструкция специального устройства и изготовлены прямоугольные образцы из СтЗсп размером 150×80×4 мм в количестве 12 единиц. Специальное устройство позволяет производить изгиб нагретой при высоких температурах заготовки.

Эксперименты проводились следующим образом. Образцы нагревались в камерной лабораторной электропечи СНОЛ 12/12-В до температуры 900, 1000, 1100 °С и выдерживались при этих температурах в течение 3 ч и испытывались в специальном устройстве изгибом (9 образцов) и простой осадкой (3 образца). Деформирование образцов в специальном устройстве производилось на прессе ПСУ-50 при скорости деформирования 10 мм/мин. Осадка образцов производилась с единичным обжатием 60%.

Взвешивание образцов производилось аналитическими весами до и после деформации их в специальном устройстве.

Для определения остатков окалины на образцах, деформированных изгибом и простой осадкой, производилось травление образцов и их обработка по технологии, указанной выше.

Результаты взвешивания образцов после нагрева, испытания и травления представлены в диссертации.

Эксперимент показал, что по сравнению с простой осадкой, изгиб заготовки приводит к интенсивной сбивке окалины. При этом увеличение количества знакопеременных изгибов еще больше увеличивает интенсивность сбивки.

Поэтому в **данном разделе** для измельчения структуры и эффективного удаления окалины путем развития сдвиговой деформации в поперечном сечении прокатываемого листа предложены два валька новой конструкции.

Исследование НДС при прокатке в данных инструментах показало, что:

- при прокатке в выпукло-вогнутых валках, тангенциальное и осевое напряжения в зоне растяжения имеют положительный знак, а в зоне сжатия - отрицательный. При этом радиальные напряжения на поверхности полосы равняются нулю, в то время как по толщине имеют отрицательную величину;

- знакопеременное деформирование изгибом приводит к существенному накоплению степени деформации сдвига  $\Lambda$  ( $\Lambda = \sum_{i=1}^n \bar{A}_i$ ,  $n$  - количество изгибов) даже при сравнительно небольших значениях интенсивности логарифмической деформации  $\bar{\Gamma}$ ;

- коэффициент жесткости схемы напряженного состояния на поверхности полосы в начальный момент является растягивающим, при этом с увеличением изгибающей деформации величина его увеличивается незначительно;

- СИРП при прокатке в выпукло-вогнутых валках не превышает единицы, т.е. не ожидается нарушения сплошности металла прокатываемого листа.

**В шестом разделе,** на основе компьютерного моделирования MSC.visualNastran 4D, исследованы энергосиловые параметры, возникающие в дрессировочном стане. При этом сборочная трехмерная геометрическая модель стана была построена в САD-программе Inventor, и посредством встроенного транслятора импортирована в среду MSC.visualNastran 4D с принятыми кинематическими связями.

Кинематические связи между элементами моделировались кинематическими парами вращения и скольжения для общих поверхностей сопряжения. При этом учитывались соударения и трение в валках, клетях и т. д.

В качестве материала валков из базы данных MSC.visualNastran 4D был выбран материал У7 со следующими механическими свойствами: модуль упругости  $1.020e+11$  Па, предел прочности  $1.380e+9$  Па, коэффициент Пуассона 0,3 и плотность  $7850$  кг/м<sup>3</sup>.

Проведенные расчеты показали, что:

- максимальные усилия, возникающие в направлении оси  $y$ , т.е. вертикальном направлении, приводят к возникновению максимальных упругих перемещений (изгибу) в этом же направлении дрессировки;

- наибольшие усилия, возникающие в направлении оси прокатки, т.е. оси  $x$ , приводят к появлению симметричных наибольших упругих перемещений материала валков по краям данного инструмента;

- сосредоточение максимальных усилий, возникающих в направлении оси валка (т.е. оси  $z$ ) по краям валков в шахматном порядке, приводит к появлению максимальных упругих перемещений материала валков в этих же местах инструмента;

- вышеописанное распределение усилия прокатки и упругих перемещений материала валков приводит к быстрому износу участков, где сосредоточивается максимальное усилие и упругое перемещение материала валков;

- быстрый износ участков валков, где сосредоточивается максимальное усилие прокатки и, тем самым, упругое перемещение материала валков, может привести к появлению соответствующих дефектов на поверхности дрессируемой полосы.

**В данном разделе** для дальнейшего улучшения достижения более равно-

мерного износа опорных валков в клети дрессировочного стана и стабилизации условий деформации, и, исходя из результатов конечно-элементного модельного расчета, принимая во внимание, что в верхнем рабочем валке дрессировочного стана максимальные усилия в основном сосредоточиваются в его центре, а в нижнем – на периферийных участках, было предложено компенсацию износа опорных валков первой клети осуществлять профилировкой как верхнего валка, так и нижнего, т.е. поддерживать постоянным значение зазора между валками. Для этого был проведен планируемый эксперимент типа  $2^{4-1}$ .

В качестве факторов варьирования были приняты те же параметры, что и ранее:  $x_1$  – выпуклость рабочего валка, мм;  $x_2$  – количество металла, прокатанного при профилированных валках, т;  $x_3$  – шероховатость рабочих валков, мкм;  $x_4$  – количество металла, подвергнутого прокатке согласно плану эксперимента, после которого производилась перевалка валков, т.

После перевода кодированных коэффициентов в натуральные, уравнение приняло вид:

$$y = -0,811 - 5,63x_1 - 0,002x_2 + 0,297x_3 + 0,431x_4.$$

После реализации крутого восхождения для варьируемых факторов выявлены следующие значения, доставляющие оптимум (мин.) по параметрам оптимизации:

- вогнутость профилированного валка – 0,10 мм;
- шероховатость рабочих валков составляет 2,0 мкм;
- кампания работы опорных валков составит не менее 17,1 тыс. т.

Промышленная апробация технологии, рассчитанной аналитическим путем, реализовывалась следующим образом. После перевалки опорных валков в первой клети, рабочие валки заваливались в нее по схеме: верхний валок выпуклый, нижний – вогнутый. В результате промышленной апробации предложенной компоновки валкового узла первой клети ДДС количество продрессированного металла на одном комплекте опорных валков удалось поднять до 17–19 тыс. т, с одновременным снижением отсортировки металла по вышеназванным дефектам формы полосы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Экспериментально-теоретические исследования, представленные в диссертации, позволили получить новые научно-обоснованные результаты, использование которых позволит решить крупную прикладную проблему повышения эффективности процессов получения стальных полос с заданными свойствами, обеспечиваемыми режимами температурно-деформационной обработки. При этом:

1. При исследовании существующего технологического процесса в условиях интенсивного обжата, охлаждения, окалинообразования и силовых нагрузок были выявлены основные недостатки, такие как сложность конструкции рольгангов, неравномерность протекания основных процессов при охлаждении, нарушение стационарности дрессировки и отклонения химического состава, нелинейность большинства термомеханических параметров прокатки.

2. Предложена усовершенствованная конструкция отводящего рольганга

широкополосных станов горячей прокатки и рассчитаны его конструктивные, динамические и прочностные характеристики.

3. Определены рациональные режимы охлаждения полос при транспортировке их на предлагаемом отводящем рольганге и раскрыты закономерности влияния их на изменение структуры и свойства горячекатаных полос.

4. Выбраны типы сопел и рациональные параметры системы гидровращения для предлагаемого отводящего рольганга.

5. Предложена модернизация системы управления электроприводом насосной станции предлагаемого отводящего рольганга на основе насосного агрегата с частотным управлением, позволяющего организовать работу его привода таким образом, что при изменении параметров технологического процесса (расхода в сети и давления на входе агрегата) изменялась бы частота вращения, в результате чего, без существенных потерь энергии стабилизировалось бы давление в сети отводящего рольганга.

6. Установлено, что на широкополосных станах, для получения горячекатаной низкоуглеродистой листовой стали высокого качества с использованием предлагаемого отводящего рольганга, оптимальными являются температуры: конца прокатки 920 °С, а смотки - 600 °С. При этом необходимо использовать поздний режим охлаждения для полос толщиной до 4 мм, а время охлаждения на воздухе и водой должно равняться соответственно 12 – 14 и 4 – 6 с.

7. Выявлено, что для создания условия охлаждения горячекатаной полосы на воздухе в начале отводящего рольганга необходимо сохранить секции с существующими роликами на длину 120 м и в конце – на длину 40 м, при этом в середине рольганга необходимо установить секции предлагаемого отводящего рольганга на длину 40 – 60 м для совмещения транспортировки и интенсивного охлаждения горячекатаной полосы водой.

8. Исходя из анализа условий работы отводящего рольганга АО «Арселор-Миттал Темиртау», обоснована технология восстановления изношенных бочек роликов рольганга, повышающая их долговечность в условиях эксплуатации.

9. Предложена усовершенствованная конструкция образца, позволяющего развивать простой сдвиг, и обоснованы оптимальные его размеры.

10. Выявлены особенности процессов сбивки окалины, измельчения и роста зерен металлов при деформации изгибом, простым сдвигом и линейным растяжением.

11. Предложены новые конструкции прокатных валков для деформирования металлов и сплавов и установлено, что при прокатке в выпукло-вогнутых валках тангенциальное и осевое напряжения в зоне растяжения имеют положительный знак, а в зоне сжатия - отрицательный знак. При этом радиальные напряжения на поверхности полосы равны нулю, в то время как по толщине - отрицательны.

12. Расчет степени использования ресурса пластичности показал, что при прокатке в валках выпукло-вогнутой конфигурации не ожидается нарушения сплошности металла при относительном смещении радиуса наружной поверхности полосы 0,3 и более.

13. Определены профилировка выпуклого верхнего и вогнутого нижнего рабочих валков в первой клетки дрессировочного стана и установлены зависи-

мости появления дефектов типа «риска», «царапина» и «разнотонность» от усилия прокатки, шероховатости поверхности бочек неприводных роликов и опорных валков второй клетки дрессировочного стана.

14. С использованием метода планируемого эксперимента получены уравнения, позволяющие определять продолжительность работы профилированного рабочего валка в определенном положении в первой клетки дрессировочного стана с целью повышения срока эксплуатации опорных валков без образования дефектов формы полосы.

15. Выявлены и представлены функциональные зависимости показателей качества горячекатаного и холоднокатаного листового проката, позволяющие объективно характеризовать качество листов.

16. На основе системного подхода разработана математическая модель квалитетической оценки качества горячекатаных и холоднокатаных полос, учитывающая технологию прокатки и техническое состояние непрерывных станов.

### СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. **Абсадыков Б.Н.**, Секербек А.М., Удербаета А.Е. Валок изогнутой формы для прокатки непрерывнолитых слитков // Труды 2-й Международной научно-практической конференции молодых ученых. Ч. 2. Алматы, 2002. С. 208-212.

2. **Абсадыков Б.Н.**, Секербек А.М., Удербаета А.Е. Напряженно-деформированное состояние металла непрерывнолитых слитков при изгибе в валках изогнутой формы // Труды 2-й Международной научно-практической конференции молодых ученых. Ч. 2. Алматы, 2002. С. 213-217.

3. Машеков С.А., Секербек А.М., **Абсадыков Б.Н.** Исследование напряженно-деформированного состояния на поверхности изгибаемой заготовки при прокатке в валках изогнутой формы // Труды 2-й Международной научно-практической конференции молодых ученых. Ч. 2. Алматы, 2002. С. 297-301.

4. Машеков С.А., Секербек А.М., **Абсадыков Б.Н.** Оценка качества горячекатаных полос // Труды 2-й Международной научно-практической конференции молодых ученых. Ч. 2. Алматы, 2002. С. 301-306.

5. Машеков С.А., **Абсадыков Б.Н.**, Секербек А.М., Нуртазаев А.Е. Оценка качества тонколистовой стали // Вестник КазНТУ имени К.И. Сатпаева. 2004. №3. С. 53-66.

6. Машеков С.А., **Абсадыков Б.Н.**, Курмангалиева Л.А., Секербек А.М. Возможности квалитетрии при контроле качества горячекатаных труб // Материалы международной научной конференции «Актуальные проблемы механики и машиностроения». Т. 3. Алматы, 2005. С. 130-136.

7. Машеков С.А., Курмангалиева Л.А., **Абсадыков Б.Н.**, Биякаева Н.Т. Исследование качества горячекатаных полос, полученных системой ламинарного охлаждения // Материалы международной научной конференции «Актуальные проблемы механики и машиностроения». Т. 3. Алматы, 2005. С. 136-141.

8. Машеков С.А., **Абсадыков Б.Н.**, Курмангалиева Л.А. и др. Цилиндрический образец для испытания на сжатие // Патент РК №16865 от 06.04.2004 по заявке 2004/0479.1.

9. Машеков С.А., **Абсадыков Б.Н.**, Курмангалиева Л.А. и др. Инструмент



для горячей прокатки металлов и сплавов // Патент РК №16804. Оpubл. 16.01.2006, бюл. №1. 2 с.: ил.

10. Машеков С.А., Кузьминов И.И., **Абсадыков Б.Н.**, Курмангалиева Л.А., Смаилова Г.А. Технология прокатного производства. Монография. Алматы: Tetaprint. 2007. 334 с.

11. Машеков С.А., Кузьминов И.И., Смаилова Г.А., **Абсадыков Б.Н.** Оптимизация режимов непрерывной холодной прокатки с целью предупреждения обрывности полос (Сообщение 1) // Материалы международной научной конференции «Состояние и перспективы развития механики и машиностроения в Казахстане». Т.2. Алматы, 2007. С. 44-48.

12. Машеков С.А., Кузьминов И.И., Смаилова Г.А., **Абсадыков Б.Н.** Оптимизация режимов непрерывной холодной прокатки с целью предупреждения обрывности полос (Сообщение 2) // Материалы международной научной конференции «Состояние и перспективы развития механики и машиностроения в Казахстане». Т.2. Алматы, 2007. С. 48-51.

13. Машеков С.А., **Абсадыков Б.Н.**, Сембаев Н.С., Машекова А.С. О возможности квалиметрии при контроле качества стальных труб // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». Т. 1. Алматы, 2008. С. 232-238.

14. Машеков С.А., Курмангалиева Л.А., **Абсадыков Б.Н.** Влияние условия охлаждения рулонов на структуру и свойства горячекатаной полосовой стали (Сообщение 1) // Вестник КазНТУ имени К.И. Сатпаева. 2008. №2. С. 45-53.

15. Машеков С.А., Курмангалиева Л.А., **Абсадыков Б.Н.** Влияние условия охлаждения рулонов на структуру и свойства горячекатаной полосовой стали (Сообщение 2) // Вестник КазНТУ имени К.И. Сатпаева. 2008. №3. С. 52-55.

16. Машеков С.А., Курмангалиева Л.А., **Абсадыков Б.Н.** Влияние условия охлаждения рулонов на структуру и свойства горячекатаной полосовой стали (Сообщение 3) // Вестник КазНТУ имени К.И. Сатпаева. 2008. №4. С. 55-63.

17. Машеков С.А., Смаилова Г.А., **Абсадыков Б.Н.**, Машекова А.С., Сембаев Н.С. Методика статистической обработки данных квалиметрической оценки качества // Вестник КазНТУ имени К.И. Сатпаева. 2008. №3. С. 59-61.

18. Машеков С.А., **Абсадыков Б.Н.** Материаловедение. Лабораторный практикум. Алматы: КБТУ. 2008. 188 с.

19. **Абсадыков Б.Н.** Расчет мощности привода роликов нового отводящего рольганга // Вестник КазНТУ имени К.И. Сатпаева. 2008. №5. С. 64-71.

20. **Абсадыков Б.Н.** Расчет на прочность роликов нового отводящего рольганга // Вестник КазАТК имени М. Тынышпаева. 2008. №5. С. 63-69.

21. Машеков С.А., Кузьминов И.И., Смаилова Г.А., **Абсадыков Б.Н.** Расчет степени использования ресурса пластичности при холодной прокатке // Вестник КазНТУ имени К.И. Сатпаева. 2008. №5. С. 75-80.

22. Байгунчекоев Ж.Ж., Машеков С.А., Биякаева Н.Т., Машеков К.Б., **Абсадыков Б.Н.**, Курмангалиева Л.А., Асанов Э.Б., Зимакова М.А. Отводящий рольганг широкополосного прокатного стана // Предварительный патент РК №20723. Оpubл. 16.02.2009, бюл. №2. 3 с.: ил.

23. **Абсадыков Б.Н.**, Сембаев Н.С., Машекова А.С. Новые разработки в области производства горячекатаных труб для нефтегазовой отрасли (Сообщение

1) // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». Т.1. Алматы, 2009. С. 54-60.

24. **Абсадыков Б.Н.**, Сембаев Н.С., Машекова А.С. Новые разработки в области производства горячекатаных труб для нефтегазовой отрасли (Сообщение 2) // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». Т.1. Алматы, 2009. С. 60-65.

25. **Абсадыков Б.Н.** Расчет роликов нового отводящего рольганга на прочность при напряжениях, циклически изменяющихся во времени // Вестник Национальной инженерной академии РК. 2009. №1. С. 43-48.

26. **Абсадыков Б.Н.** Причины образования и способы снижения отсортировки жести по дефектам формы на двухклетьевом дрессировочном стане // Материалы IV международной конференции «Проблемы механики современных машин». Т.1. Улан-Удэ, 2009. С. 14-21.

27. **Абсадыков Б.Н.** Исследование влияния температурных режимов прокатки на качество жести // Вестник Ташкентского ГТУ имени Р. Бегматова. Ташкент, 2009. №1-2. С. 127-132.

28. **Абсадыков Б.Н.** Восстановление поверхностей роликов отводящего рольганга широкополосного стана наплавкой под слоем флюса // Вестник Национальной инженерной академии РК. 2009. №3. С. 62-66.

29. **Абсадыков Б.Н.** Определение температурных режимов охлаждения горячекатаных полос на отводящем рольганге широкополосных прокатных станов // Известия Кыргызского ГТУ им. И. Раззакова. Бишкек, 2009. №16. С. 154-157.

30. **Абсадыков Б.Н.** Некоторые вопросы практики гидросбива окалины при прокатке // Вестник КБТУ. 2009. №3. С. 54-59.

31. **Абсадыков Б.Н.**, Кузьминов И.И., Кузьминова Н.Ю. Снижение отбраковки жести по дефектам «риска» и «царапина» при дрессировке // Новости науки Казахстана. 2009. №3. С. 65-69.

32. **Абсадыков Б.Н.**, Кузьминов И.И., Кузьминова Н.Ю. Исследование причин образования дефекта «разнотонность» на поверхности жести при дрессировке // Вестник ЕНУ имени Л. Гумилева. Астана. 2009. №4. С. 195-203.

33. Байгунчечков Ж.Ж., **Абсадыков Б.Н.**, Смаилова Г.А., Нугман Е.З. Прогресс в производстве тонких стальных полос // Труды международного форума «Наука и инженерное образование без границ». Т. 2. Алматы, 2009. С. 159-162.

34. **Абсадыков Б.Н.** Влияние температуры отжига на загрязненность поверхности жести // Вестник Ташкентского ГТУ имени Р. Бегматова. Ташкент, 2009. №3-4. С. 127-132.

35. **Абсадыков Б.Н.** Методика расчета напряженно-деформированного состояния при прокатке в валках изогнутой формы // Вестник Национальной инженерной академии РК. 2009. №4. С. 53-60.

36. **Абсадыков Б.Н.** Исследование напряженно-деформированного состояния при прокатке в валках изогнутой формы // Поиск. 2009. №4/1. С. 317-322.

37. **Абсадыков Б.Н.** Разработка новой конструкции ролика рольганга и определение влияния жесткости элементов соединения на его несущую способ-

ность // Известия Кыргызского ГТУ имени И. Раззакова. Бишкек, 2009. №19. С. 86-89.

38. **Абсадыков Б.Н.** Исследование фрикционных характеристик новой конструкции ролика рольганга // Известия Кыргызского ГТУ имени И. Раззакова. Бишкек, 2009. №19. С. 90-95.

39. Машеков С.А., **Абсадыков Б.Н.**, Смаилова Г.А., Машекова А.С. Методика контроля качества при производстве холоднокатаного проката // Вестник КазАТК имени М. Тынышпаева. 2009. №6. С. 99-104.

40. Машеков С.А., **Абсадыков Б.Н.**, Смаилова Г.А., Машекова А.С. Методика контроля состояния оборудования при производстве холоднокатаного проката // Вестник КазАТК имени М. Тынышпаева. 2009. №6. С. 104-109.

41. Машеков С.А., **Абсадыков Б.Н.**, Сембаев Н.С. Оценка качества бесшовных труб для роликов рольганга // Вестник КБТУ. 2009. №4. С. 72-76.

42. Машеков С.А., **Абсадыков Б.Н.**, Машекова А.С. и др. Отводящий рольганг широкополосных прокатных станков // Заключение о выдаче инновационного патента на изобретение по заявке № 2009/0259.1 от 27.02.2009 г.

43. **Абсадыков Б.Н.** Расчет основных конструктивных параметров роликового узла рольганга // Труды международной научно-практической конференции «Механика и строительство транспортных сооружений», посвященной 75-летию Заслуженного деятеля науки и техники Казахстана, академика НАН РК, д.т.н., профессора Ш.М. Айталиева. Алматы, 2010 г. С. 325-328.

44. Машеков С.А., Секербек А.М., **Абсадыков Б.Н.** Подготовка конструкции и определение геометрических размеров специального образца для исследований на сдвиг // Вестник КазАТК имени М. Тынышпаева. Алматы, 2010. №1. С. 56-60.

45. Машеков С.А., Кузьминов И.И., **Абсадыков Б.Н.**, Сембаев Н.С. Квалиметрический метод оценки качества исходной ленты и сварных труб (Часть 1) // Сборник трудов международной научно-практ. конференции «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». Т.2. Алматы, 2010 г. С. 77-81.

46. Машеков С.А., Кузьминов И.И., **Абсадыков Б.Н.**, Сембаев Н.С. Квалиметрический метод оценки качества исходной ленты и сварных труб (Часть 2) // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». Т.2. Алматы, 2010 г. С. 82-85.

47. Машеков С.А., Кузьминов И.И., **Абсадыков Б.Н.**, Сембаев Н.С. Квалиметрический метод оценки качества исходной ленты и сварных труб (Часть 3) // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». Т.2. Алматы, 2010 г. С. 85-91.

48. **Абсадыков Б.Н.**, Сембаев Н.С. Исследование качества непрерывнолитых заготовок // Вестник КазГАСА. Алматы, 2010. №2. С. 69-74.

49. **Абсадыков Б.Н.** Исследование и моделирование сбивки окалины на винтообразных валках и в валках с изогнутой формой // Современный научный вестник. Белгород, 2010. №6. С. 33-45.

## **Абсадықов Бақыт Нәрікбайұлы**

### **Қаңылтыр илемдеу процесінің тиімділігін жоғарлату үшін қор сақтайтын технологиялық және техникалық шешімдерді жобалау**

05.03.01 – «Механикалық және физика-техникалық өңдеу технологиялары мен жабдықтары» мамандығы бойынша техника ғылымдары докторы ғылыми дәрежесін ізденуге

#### **ТҮЙІН**

**Жұмыстың мақсаты** болып температуралық-деформациялық өңдеу режимімен қамтамасыз етілетін берілген қасиеті бар жолақты жасаудың тиімділігін арттыру үшін қор үнемдейтін технологиялық және техникалық шешімдерді жасау және осы шешімдерді тәжірибелік-теориялық жолмен негіздеу, ал тағы да алынған нәтижелер негізінде өнімнің сапасын басқаратын әрекеттерді істеп шығару саналады.

#### **Негізгі міндеттері:**

- қор үнемдеу мақсатымен қаңылтыр илемдеу өндірісінің техникалық және технологиялық ерекшеліктерін жақсарту жолын табу үшін осы қаңылтыр илемдеу өндірісінің қазіргі кезде қолданылып жатқан технологиялық және техникалық процестерін талдау;

- илемдеген кезде пайда болатын ақаулардың пайда болу заңдылықтарын зерттеу және осы зерттеулер негізінде сапаны бағалаудың кешенді әдістемесін жасау;

- илемділік қорын қолдану дәрежесін (ИҚҚД), деформацияның әртүрлі түрлерінің отқабыршықты қағуға және металдың құрылымына әсерін зерттеу негізінде отқабыршақты қағуды жақсартуға және қаңылтыр сапасын жоғарлатуға мүмкіндік беретін жаңа пішінбіліктер құрылымын құрылымдау;

- механикалық сынау нәтижелерін, сапаны бақылаудың, ал тағы да тасымалдаушы рольгангтың элементтерін беріктікке есептеудің әдістемесін жасау;

- энергия-күштік шығынның және ИҚҚД-нің ең кішкентай белгісі бойынша жолақты суықтай илемдеп өндірудің технологиялық режимін зерттеу және жақсарту;

- кең жолақты орнақта қолданылатын ұсынылып отырған тасымалдаушы рольгангісінің ұтымды параметрін аңқтау және осы рольгангте тасымалданатын болаттың құрылымы мен қасиетіне салқындату режимінің әсер ету заңдылықтарын орнату;

- «АрселорМиттал Теміртау» АҚ жағдайында екі қапасты шырықтыру орнағының өнімділігін жоғарылататын жаңа техникалық шешімдерді жасау.

**Жұмыстың ғылыми жаңалығы** болып жазық болаттан жасалған илемнің сапасын бағалау, әртүрлі сынаулармен металды сынағанда құрылымның қалыптасуы, шекті кермелеу коэффициентін болжау, сонымен қатар өнімнің сапасын арттыруға мүмкіндік беретін жұқа жолақ өндірісінің жабдығы мен технологиясын жетілдіру бойынша мәселелерді шешу есептеледі. Осындайда:

- дөңес-ойық және бұрандалы пішінбілікті қолданып илемдеген кезде температураның, кернеудің, деформацияның материалдың құрылымына және отқабыршықты қағуға әсер ету заңдылықтары анықталды;

- ыстықтай илемделген қаңылтырды ұсынылып отырған құрылымы бар

тасымалдаушы рольгангте тасымалдаған кезде салқындатудың ұтымды температура-уақыттық режимдері анықталды және салқындату режимдерінің болаттың құрылымы мен қасиетіне әсер ету заңдылықтары ашылды;

- өндірістік мәліметтер негізінде илемді салқындату режимдеріне байланысты ыстықтай илемделген болаттан жасалған қаңылтырдың механикалық қасиетінің қалыптасу заңдылықтары зерттелді;

- қаңылтырдың сапасын әділ сипаттауға мүмкіндік беретін ыстықтай және суықтай илемделген қаңылтырдың сапалық көрсеткішінің функциялық байланыстары айқындалды;

- сапаны бақылаудың және басқарудың ИҚҚД-сын есептеудің, ал тағы да суықтай илемделген жолақтың илемділігін зерттеу мәліметін статикалық өңдеудің әдістемелері жасалды;

- жолақты суықтай илемдеген кезде үздіксіз орнақтың жұмыс істеу режимін, металдың тұтастығын бұзбай, энергия шығынын ең кішкентай ету белгісі бойынша ең жақсы жасауға мүмкіндік беретін жаншу режимін және энергиякүштік параметрін есептеудің жаңа әдістемесі қолданылды;

- шырықтыру орнағының бірінші қапасының дөңес жоғарғы және ойық төменгі жұмысшы пішінбіліктерінің пішінінің өлшемдері анықталды және шырықтыру орнағының екінші қапасындағы тіреу пішінбіліктері мен одан кейін орналасқан жетексіз аунақшалардың жұмыс бетіндегі кедір-бұдырлығына және илемдеу күшіне байланысты «сызық», «тырнау» және «алатүстілік» сияқты ақаулардың санымен байланысты болатын теңдеулер шығарылды.

**Жұмыстың практикалық құндылығы** келесі ғылыми-техникалық міндеттерді шешумен анықталды:

- шығарылған эмпирикалық тәуелділіктер, жинақтап, қорытылып жасалып қолданылған сапаның моделі және жұмыста бейнеленген шектелу тізімі нақты функция түрінде болаттан жасалған жолақтың сапасын әділетті бағалауға мүмкіндік береді. Осы айтылғандар, илемделген қаңылтыр сапасының ең жақсы деңгейін илемдеудің жеке операциялары мен тұтас технологиялық үрдіс бойынша ең жақсы жағдайды табу, экстремум табудың математикалық мәселесі екендігін білдіреді.

- материалдың илемділік қасиетінің статистикалық көрсеткіштерін ескеріп шекті кермелеу коэффициентінің диаграммасын салудың әдістемесі ұсынылды;

- жаңа тасымалдаушы рольгангтың ұтымды құрылымдық көрсеткіштері анықталды;

- керекті сапасы бар бұйымды алуға мүмкіндік беретін кең жолақты орнықтың тасымалдаушы рольгангте қолданылатын салқындату режимі жетілдірілді;

- белгісі өзгермелі деформация есебінен қалың қаңылтырдың қимасы бойынша металл құрылымын ұсақтауға және от қабыршықты қағуды қарқындалуға мүмкіндік беретін дөңес-ойық және бұрандалы пішінбіліктердің жаңа құрылымы ұсынылды.

Ұсынылып отырған қаңылтырлы илемнің сапасын анықтауға мүмкіндік беретін квалиметрия әдістемесін өнімді шығарушылар және тұтынушылар қолдана алады.

Жоғарыда жазылған ғылымдық жаңалықтар және практикалық құндылықтар қорғауға ұсынылды.

## **Absadykov Bakhyt Narikbayevich**

### **Development of resource-saving technological and technical solutions for improving the efficiency of sheet rolling processes**

Thesis on the competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences  
05.03.01 – Technologies and equipment for mechanical  
and physical-technical treatment

#### **SUMMARY**

**The work purpose** is the experimentally-theoretical substantiation and development of resource-saving technological and technical decisions for increase of efficiency of processes of reception of strips with the set properties provided with modes of thermo-deformation processing, and on the basis of the received results, development of operating influences on quality of received products.

**The primary goals:**

- The analysis of existing technological and technical features of sheet manufacturing by continuous rolling mill of hot and cold rolling for revealing of ways of their perfection with a view of resource-saving;
- Research regularities of occurrence defects on rolling, and on the basis of these researches development of a technique of a complex estimation of quality;
- Design of rolls, allowing to improve descaling and to raise quality of sheet on the basis of research index of use a resource of plasticity (IURP), influences of various kinds of deformations on descaling and structure of metal of strips;
- Development techniques of statistical processing of mechanical tests results, control and quality management, and also durability calculation of outgoing roller table elements;
- Research and optimization technical regimes of manufacturing cold rolled strips by criterion of a minimum of power expenses and IURP;
- Definition of rational parameters of an offered design of a broadband mill's and an establishment on it of laws of influence of modes of cooling on change of structure and properties of steels;
- Generation of the new technical decisions raising productivity of double-stand tempering mills in the conditions of JSC ArcelorMittal Temirtau.

**Scientific novelty of the work** consists in a solution of a problem according to quality of flat steel, to structure formation at various kinds of tests, to forecasting of factor of a limiting extract, and also perfection of the equipment and the production technology of the thin strips, allowing to raise quality of production, thus:

- regularities of influence of temperature, pressure, deformation on structure of a material and descaling when its a rolling in convexo-concave and spiral rollers are fixed;
- regularities of influence modes of cooling on change of structure and properties of steels are revealed, and rational temperature and time modes of cooling when transportation of hot-rolled sheets on outgoing roller table of offered design are fixed;

- on the basis of the industrial data regularities of formation of mechanical properties of a hot-rolled sheet steel depending on cooling modes of rolled metal are studied;

- functional dependences of indicators of quality hot-rolled and cold-rolled sheet allowing objectively to characterize quality of sheets are revealed and presented;

- techniques of control and quality management, calculation of extent of use a resource of plasticity, and also statistical processing results of research plasticity cold-rolled strips are developed;

- the new procedure of calculation cobbling and power parameters at cold rolling of the strips, allowing to optimize an operating mode of a continuous mill by criterion of a minimum of power expenses, without infringement of metal wholeness is applied;

- contouring convex top and concave bottom of rollers in the first stand of tempering mill are defined and dependences of quantity of defects of type "risk", "scratch" and "two-tones" from effort of rolling, roughness's of a surface of idling rollers butts and basic rollers in the second stand of tempering mill are revealed.

**Practical value of the work** is defined by the decision of following scientific and technical problems:

- The deduced empirical dependences, the used model of the generalized criterion of quality and the lists of restrictions formulated in work, allow to formalize procedure of an objective estimation of quality of steel strips in the form of concrete criterion function. The last means that the problem of an establishment of the best degree of quality of sheet can be formulated as a mathematical problem of search of the extremum, allowing to find an optimum as on separate operations, and technological process of rolling as a whole;

- The technique of construction of diagrams of factor of a limiting extract taking into account statistical parameters of plastic properties of a material is offered;

- Rational design parameters of the new outgoing roller table are defined;

- Cooling modes on outgoing roller table of the broadband mill, products of demanded quality promoting reception are improved;

- New designs of convexo-concave and spiral rolls for rolling of the thick strips are offered, allowing to intensify descales and to crush metal structure on section of these sheets at the expense of sign-variable deformation.

The offered method of an estimation of quality of sheet hire with the help of qualitymetry can be used both the manufacturer, and the consumer.

Scientific novelty and practical value of the work presented above are taken out on protection.