

На правах рукописи

ПАСЕЧНИК НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

РАЗРАБОТКА, СОЗДАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОКАТКИ ТОН-
КИХ ПОЛОС ИЗ ТРУДОДЕФОРМИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Специальность 05.03.05 - "Процессы и машины
обработки давлением"

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1996

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском
и проектно-конструкторском институте им. академика А.И.Целикова.

Научные руководители :

К.Т.Н. КОГОС А.М.

К.Т.Н. СЕРЕБРЯНИКОВ А.М.

Официальные оппоненты :

доктор технических наук, профессор
НИКИТИН Г.С.

кандидат технических наук, профессор
ЗАРАПИН Ю.Л.

Ведущее предприятие :

металлургический завод "Серп и Молот"

Защита диссертации состоится "24" июня 1996 г. на заседании
диссертационного совета К 053.15.13 в Московском Государственном
Техническом Университете по адресу :

• 107005, Москва, 2-ая Бауманская ул., 5

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью,
просим направлять по указанному адресу.

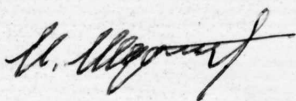
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им.
Н.Э.Баумана

Телефон для справок 267-09-63

Автореферат разослан "24" мая 1996 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

К.Т.Н., ДОЦЕНТ



Шубин И.И.

Подписано к печати 23 мая 1996 г.

Заказ №

Типография

Объем I пл

Тираж 100 экз

Актуальность. Развитие металлургии в настоящее время характеризуется ростом производства материалов и сплавов, имеющих высокие прочностные характеристики. Все эти материалы с точки зрения обработки давлением относятся к труднодеформируемым. Необходимо отметить значительную трудоемкость традиционных технологических процессов пластической обработки этих материалов, в том числе процесса холодной прокатки тонкой ленты из инструментальной стали. Для холодной прокатки этого материала требуется большое количество проходов и промежуточных отжигов. Кроме того этот процесс сопровождается образованием трещин на боковых кромках и, как следствие, значительными потерями металла на боковую обрезь.

В связи с этим возникает необходимость разработки новых технологических процессов и создания высокопроизводительного оборудования для получения инструментальной ленты.

Целью настоящего исследования является:

1. Изучение возможности применения новой технологии горячей прокатки для получения тонких полос в рулонах из инструментальных сталей.
2. Создание с учетом результатов теоретических и экспериментальных исследований оборудования для производства тонких лент из инструментальных сталей методом горячей прокатки.
3. Оценка эффективности применения вновь созданного прокатного оборудования при обработке труднодеформируемых сталей и сплавов.

Научная новизна данной работы заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель и соответствующая методика расчета температурных полей, формирующихся в полосе при прокатке на стане с электроконтактным технологическим нагревом.
2. Определены основные параметры оборудования стана с электроконтактным нагревом для горячей прокатки полос из инструментальных сталей.
3. Разработаны новые конструкции токоподводящей клетки, рабочей клетки, моталки и других узлов и агрегатов, входящих в состав оборудования стана, которые позволили реализовать технологию горячей прокатки тонких полос из труднодеформируемых сталей и сплавов.

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1551253

Пасечник Н.В. Разработка,



1551253

4. Выполнены экспериментальные исследования процесса прокатки, которые подтвердили высокую эффективность производства тонких полос из труднодеформируемых сталей и сплавов на стане с электроконтактным технологическим нагревом.

Практическая ценность.

На основании результатов исследований спроектирован, изготовлен и установлен на ПО "Ижсталь" новый прокатный стан 200 ЭКН с электродоугольным технологическим нагревом полосы. Внедрение стана 200 ЭКН позволило существенно снизить трудоемкость производства тонких лент в рулонах из труднодеформируемых марок сталей и сплавов. За время промышленной эксплуатации стана 200 ЭКН на нем было прокатано более 3000 тонн высококачественной ленты. Большой вклад в создание, исследование и освоение стана 200 ЭКН внесли сотрудники ПО "Ижсталь".

Результаты выполненных исследований, новые конструкторские разработки и опыт промышленной эксплуатации стана 200 ЭКН могут быть использованы при проектировании прокатного оборудования для производства тонких лент.

Апробация работы. Основные результаты докладывались и обсуждались на научно-технических советах ВНИИМЕТМАШ и ПО "Ижсталь" и на Всероссийском совещании прокатчиков на Магнитогорском металлургическом комбинате.

Публикации. Основные результаты работы отражены в 7 авторских свидетельствах на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, списка литературы (47 наименований) и приложения. Содержит 105 страниц машинописного текста, 44 иллюстрации, 14 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы основные цели исследования, показана научная новизна выполненной работы.

В первой главе выполнен анализ существующих технологий пластического деформирования инструментальных сталей. Полосы толщиной 0.5...2.0 мм получают методом холодной прокатки. Во многих случаях для получения необходимой толщины требуется осуществить более

10 проходов. При холодной деформации полоса получает значительный наклеп, что приводит к необходимости производить до 5 и более промежуточных термообработок. Также, в процессе холодной прокатки на кромках образуются трещины, которые являются концентраторами напряжений, увеличивают вероятность обрыва полосы и не позволяют вести прокатку с необходимыми высокими натяжениями. Для обеспечения натяжения полосы при прокатке необходимо производить обрезку растрескавшихся кромок, что приводит к значительным потерям металла. Таким образом существующая технология производства тонких полос из труднодеформируемых сталей и сплавов является малоэффективной с точки зрения выхода годной продукции и требует значительных затрат.

Предпосылки для решения задачи эффективного пластического деформирования ряда инструментальных сталей в диапазоне толщин традиционного применения холодной прокатки могут быть основаны на возможности применения теплой или горячей прокатки. Однако, при обычном процессе прокатки тонких полос из этих сталей в диапазоне повышенных температур возникают проблемы получения продукции требуемого качества, связанные с особенностями изменения структуры при нагреве, пластической деформации и охлаждении этих материалов.

Серьезной проблемой, возникающей при нагреве инструментальных сталей для пластической деформации или термообработки, является обезуглероживание. Быстрорежущие стали наиболее чувствительны к этому виду брака. Обезуглероживание полное или частичное, повышает твердость и сильно ухудшает стойкость инструмента, изготовленного из этого материала. В быстрорежущей стали значительное обезуглероживание является частой причиной образования трещин при закалке. Если не принимать специальных мер, то при нагреве тонких полос под горячую прокатку может произойти обезуглероживание металла не только в поверхностном слое, но и по всему сечению. Для предупреждения обезуглероживания инструментальных сталей при нагреве под прокатку в печах необходимо использовать защитную атмосферу. При производстве тонких лент в рулонах необходимость применения защитной атмосферы в процессе нагрева приводит к существенному усложнению технологического оборудования и удорожанию продукции. Исключить обезуглероживание без применения защитной атмосферы можно при сквозном и равномерном по сечению нагреве

подката перед пластической деформацией. Такой нагрев можно обеспечить лишь в том случае, если тепловые источники будут находиться внутри заготовки, то есть при помощи электрического тока, протекающего по сечению подката.

Еще одним видом брака быстрорежущих сталей, связанным с горячей пластической деформацией, является так называемый нафталинистый излом. В этом состоянии сталь имеет неудовлетворительные механические свойства. Наиболее сильно снижается вязкость, что усиливает выкрашивание режущей кромки и резко ухудшает стойкость инструментов. Этот вид брака возникает в том случае, если температура окончания пластической деформации превышает допустимый уровень. Для тонких полос эта температура должна быть не выше 850 °С. В процессе прокатки полосы в клети за один проход время прохождения частиц металла через очаг деформации находится, как правило, в пределах десятых долей секунды. За это время температура металла не только не успевает понизиться, но может даже возрасти за счет энергии деформации. Поэтому температура начала пластической деформации в клети должна быть также меньше 850 °С.

Известные результаты испытаний показали, что при температуре, близкой к 800 °С, быстрорежущая сталь имеет повышенные пластические свойства. Это выражается существенным увеличением угла закручивания образца до разрушения при испытаниях на кручение, а также максимальными значениями относительного удлинения и поперечного сужения образцов при испытаниях на растяжение.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что технология получения тонкой ленты в рулонах должна предусматривать скоростной нагрев до температуры порядка 800 °С и прокатку при этой температуре. При выполнении таких условий есть предпосылки для получения высококачественной ленты из инструментальных сталей.

Как показал анализ существующих процессов прокатки эти технические требования в наиболее полном объеме может обеспечить прокатный стан с электроконтактным нагревом заготовок непосредственно перед очагом деформации.

Для реализации была принята схема с нагревом полосы между токоподводящей и прокатной клетями рис.1.

В соответствии с этой схемой полоса 1 с разматывателя 2, проходя через токоподводящую клеть 3, поступает в рабочую клеть

Схема стана с электроконтактным нагревом заготовки
с одной токоподводящей клетью и токоподводом
к двум опорным валкам

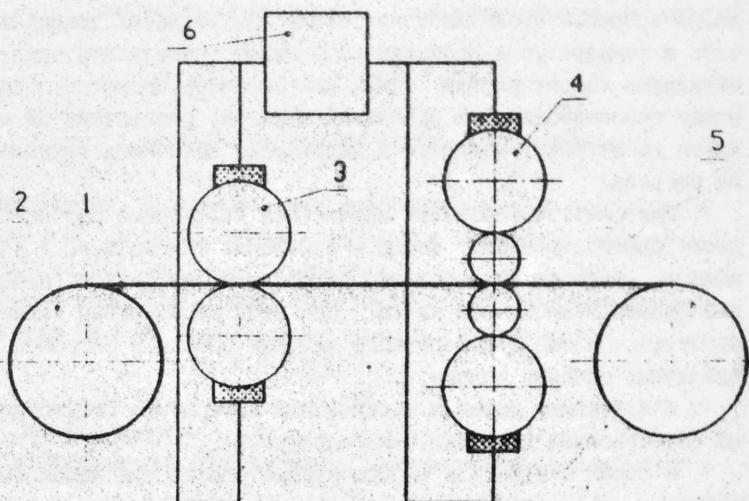


Рис 1

4, где она обжимается, и затем сматывается на барабан моталки 5.

На участке между токоподводящей и рабочей клетями полоса нагревается электрическим током методом сопротивления. Электрическая цепь нагрева включает в себя источник напряжения 6, состоящий из трансформатора и выпрямителя, а также токоподводы, детали рабочей и токоподводящей клетей, нагреваемый участок полосы.

Во второй главе рассмотрена математическая модель скоростного электроконтактного нагрева полосы в условиях прокатного стана. В процессе проектирования стана при заданных толщинах, обжатиях и температурах прокатки необходимо определить ряд взаимосвязанных характеристик таких как скорость прокатки, расстояние между токоподводящей и прокатной клетями, расстояние от прокатной клетки до моталки, мощность и напряжение источника технологического нагрева.

При расчете указанных параметров необходимо рассмотреть процесс распространения тепла и изменения температуры в движущейся полосе, которая подвергается скоростному нагреву и пластической деформации в прокатной клетке. При этом переменными являются температура, площадь поперечного сечения полосы и скорость движения различных сечений полосы.

В настоящее время в технической литературе отсутствует научно обоснованная методика такого расчета.

В связи с этим для выбора параметров оборудования была разработана математическая модель электроконтактного нагрева заготовки в условиях прокатного стана и получено дифференциальное уравнение, описывающее процесс изменения температуры в полосе.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k(T) \cdot S(x) \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \rho_m \cdot \left(\frac{\partial}{\partial x} (C(T) \cdot T \cdot S(x) \cdot v(x)) \right) + S(x) \cdot F(T, x, t) = \rho_m \cdot C(T) \cdot S(x) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

где

x , м - координата текущего сечения полосы;

t , с - время;

$S(x)$, м² - площадь сечения полосы в точке с координатой x ;

T , °C - температура металла в сечении с координатой x ;

$k(T), \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{С}}$ - теплопроводность материала полосы;

$C(T), \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$ - теплоемкость прокатываемого металла;

$\rho_m, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - плотность прокатываемого металла;

$V(x), \frac{\text{м}}{\text{с}}$ - скорость перемещения рассматриваемого сечения

полосы;

$F(T, x), \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3}$ - функция плотности тепловых источников;

Из полученного уравнения для недеформируемой и неподвижной полосы в качестве частного случая получается известное уравнение теплопроводности для однородного стержня.

В процессе прокатки площадь $S(x)$ прямоугольного сечения полосы изменяется за счет изменения толщины $h(x)$. При этом

$$S(x) = B \cdot h(x),$$

где

$B, \text{м}$ - ширина полосы.

Если рассматривать стационарное распределение температур в пространстве, занимаемом полосой, положив $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$, то получим

обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка, описывающее распределение температур в движущейся деформируемой полосе

$$B \cdot k(T) \cdot \frac{d}{dx} \left(h(x) \cdot \frac{dT}{dx} \right) = M \cdot C(T) \cdot \frac{dT}{dx} + B \cdot h(x) \cdot F(T, x). \quad (2)$$

где

$M = \rho_m \cdot S(x) \cdot V(x), \frac{\text{кг}}{\text{с}}$ - производительность стана при

установившемся процессе прокатки.

В определенных случаях, если пренебречь теплопроводностью полосы, можно упростить задачу расчета температурного поля. При этом получим обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка.

$$M \cdot C(T) \cdot \frac{dT}{dx} = B \cdot h(x) \cdot F(T, x). \quad (2)$$

Погрешность решения при таком упрощении тем меньше, чем выше скорость прокатки.

Решение уравнения (2) будет зависеть от одного граничного условия, которое определяется значением температуры полосы в точке начала контакта заготовки с валками токоподводящей клетки. Температура полосы в этой точке равна температуре окружающей среды.

В рассмотренные дифференциальные уравнения входит функция плотности тепловых источников $F(T, x)$, которая определяется нагревом полосы с помощью электрического тока и за счет деформации в клетях, а также тепловыми потерями с поверхности заготовки в окружающую среду и при контакте металла с валками прокатной и токоподводящей клеток. В соответствии с изложенным представим функцию $F(T, x)$ в виде суперпозиции четырех функций

$$F(T, x) = F_{n1} + F_{n2} - F_{o1} - F_{o2},$$

где

F_{n1} - функция, описывающая нагрев прокатываемого металла электрическим током;

F_{n2} - функция, описывающая нагрев металла от пластической деформации;

F_{o1} - функция, интегрально учитывающая потери тепла за счет теплоотдачи в окружающую среду, конвекции и излучения;

F_{o2} - функция, определяющая потери тепла прокатываемым металлом при контакте с валками.

Всю полосу вдоль линии стана можно условно разделить на следующие участки: от разматывателя до токоподводящей клетки, зона контакта с валками токоподводящей клетки, от токоподводящей до прокатной клетки, очаг деформации и от рабочей клетки до моталки.

С учетом особенностей нагрева и охлаждения полосы на каждом участке функция плотности тепловых источников содержит различные

представляющие из отмеченных выше.

В результате решения уравнения (2) или (3) получим зависимость температуры T сечений полосы от координаты x , занимаемой данным сечением в пространстве.

Как следует из математической модели, для расчета процесса электротеплового нагрева в условиях прокатного стана необходимо иметь информацию о следующих физических параметрах:

- коэффициент теплопроводности материала заготовки;
- коэффициент теплоотдачи от полосы к валкам токоподводящей и прокатной клетей;
- мощность теплоотдачи с поверхности заготовки;
- удельное электрическое сопротивление материала полосы;
- удельная теплоемкость прокатываемого металла;
- сопротивление деформации.

Данные по коэффициенту теплопроводности, коэффициенту теплоотдачи от металла к валкам, удельной теплоемкости прокатываемого металла и сопротивлению деформации были взяты из технической литературы. Данные по электрическому сопротивлению и удельной мощности теплоотдачи с поверхности подката в окружающую среду были получены экспериментально. Из этих параметров коэффициент теплопроводности и коэффициент теплоотдачи от металла к валкам можно считать постоянными. Остальные параметры существенно зависят от температуры. Была выполнена соответствующая обработка этих данных и получены аналитические зависимости, используемые в расчетной модели.

На рис. 2 приведен пример расчетного распределения температур по длине полосы при различных значениях тока и падения электрического напряжения на участке нагрева. Эти зависимости получены на основе численного решения полученных дифференциальных уравнений.

Как показывают теоретические исследования, если для заданных геометрических размеров подката и физических характеристик деформируемого материала расстояние между клетями принять равным 1100 мм, то падение напряжения на участке нагрева не превышает 36 В. То есть при таком расстоянии между клетями обеспечивается как требуемая температура и скорость нагрева заготовки, так и безопасность обслуживающего персонала. Ток технологического нагрева находится в пределах от 3 до 15 кА. Данные параметры были приняты

Распределение температуры по длине полосы из стали Р9

($h_0=2.00$ мм, $h_1=1.00$ мм, $V_{пр}=0.4$ м/с)

1) $I_0=3.7$ кА, $U_{пр}=12$ В 2) $I_0=4.2$ кА, $U_{пр}=16$ В

3) $I_0=4.7$ кА, $U_{пр}=20$ В 4) $I_0=5.2$ кА, $U_{пр}=25$ В

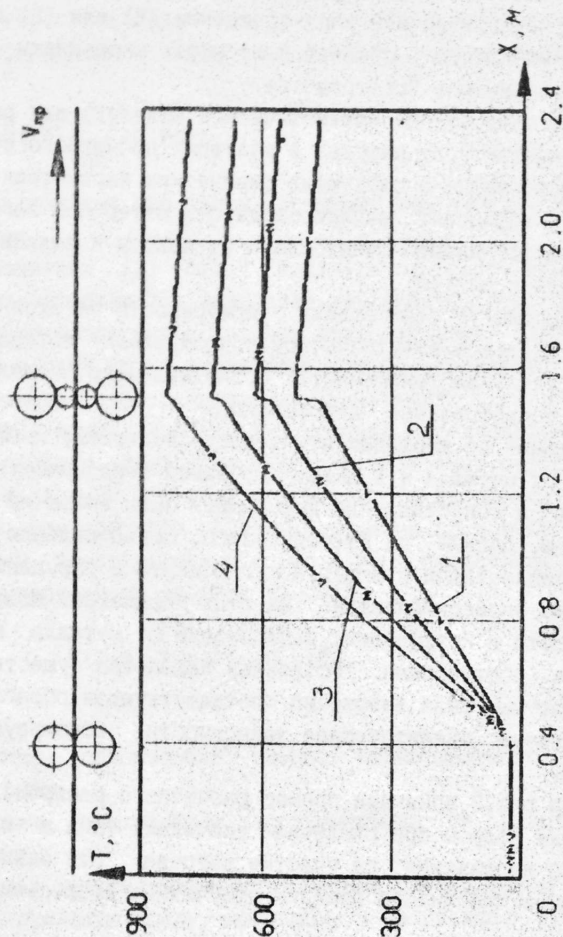


Рис 2

при проектировании стана.

Во ВНИИМЕТАШе был спроектирован стан 200 ЭКН с высокоскоростным электроконтактным нагревом заготовки. Этот стан был изготовлен на Московском опытном заводе и установлен на ПО "Ижсталь".

В третьей главе рассмотрены конструкторские решения, примененные в углах и агрегатах стана 200 ЭКН. Учитывая новизну решаемых технологических задач, применение традиционных схемных и конструктивных решений при проектировании механического оборудования стана во многих случаях оказалось неприемлемым. Это относится к разматывателю, моталке, токоподводящей и рабочей клетям. При проектировании приходилось также решать проблемы подвода больших электрических токов к полюсе, обеспечения электрической изоляции оборудования и охлаждения токоведущих элементов.

Токоподводящая клетка служит для подвода тока к ленте и создания заднего натяжения в процессе прокатки. Одной из серьезных проблем для этой клетки является обеспечение надежного электрического контакта между вальками и лентой.

Для создания надежного контакта диаметр вальков токоподводящей клетки был выбран равным 300 мм, а клетка оснащена гидравлическим нажимным устройством и регулируемой траверсой. Такая конструкция токоподводящей клетки позволяет обеспечить постоянное усилие поджатия вальков к полюсу, равномерное распределение этого усилия по ширине полосы и достаточную площадь контактирующих поверхностей. С учетом этого достигается надежный электрический контакт вальков с заготовкой.

Конструкция угла вальков прокатной клетки должна обеспечить передачу относительно высоких моментов прокатки, подвод к полюсу больших электрических токов и возможность быстрой замены рабочих вальков.

Как показал анализ в наиболее полной мере этим требованиям удовлетворяет четырехвальковая клетка, оснащенная дополнительными опорными роликами. Такая схема, ввиду отсутствия радиальных подшипников на шейках рабочих вальков, позволяет при их малом диаметре обеспечить достаточную прочность шейки, необходимую для передачи момента прокатки. При использовании четырехвальковой клетки токоподводящие устройства могут быть смонтированы на опорных вальках, что существенно упрощает и ускоряет перевалку рабочих валь-

ков.

В принятой схеме четырехвальной клетки с дополнительными опорными роликами возникает проблема обеспечения устойчивости положения рабочего вала в клетке. При определенных соотношениях усилия прокатки, свала и натяжений может возникнуть ситуация, при которой произойдет выброс вала из клетки. Был выполнен анализ соотношений при которых выполняется условие устойчивости рабочего вала в клетке и выбрана необходимая величина и направление свала рабочих валков. Эти соотношения были реализованы в клетке стана 200 ЭКН.

При проектировании моталки были разработаны новые конструкции барабана моталки и устройства для формирования рулона. Эти конструкции обеспечили устойчивость процесса смотки рулона большого диаметра из узкой ленты.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований и освоения новой технологии прокатки тонкой ленты из труднодеформируемых сталей и сплавов.

С целью оценки возможности реализации технологии горячей прокатки тонких полос в рулонах из инструментальных сталей на стане 200 ЭКН были выполнены экспериментальные исследования энергосиловых параметров процесса и структуры прокатанного материала.

В процессе выполнения экспериментальных исследований проводились измерения температуры заготовки, исходной и конечной толщины полосы, усилия прокатки, тока и напряжения двигателей рабочей, токоподводящей клетей и моталки, тока и напряжения источника технологического нагрева заготовки.

На основании этих данных были определены значения степени деформации, скорости прокатки, сопротивления деформации и скорости деформации металла в клетке. Кроме того, по известным параметрам процесса прокатки были рассчитаны значения тока и напряжения источника технологического нагрева. Сравнение показало, что расчетные значения тока и напряжения источника технологического нагрева отличаются от экспериментальных не более, чем на 10 %. Это означает что математическая модель электроконтактного нагрева полосы в условиях прокатного стана достаточно точно описывает процесс формирования температурного поля. Разработанную методику можно рекомендовать для расчета электроконтактного нагрева полосы при проектировании прокатных станов.

В процессе проведения экспериментов была показана возможность осуществления на стане обжатия до 80% за проход, что в пересчете на логарифмические деформации ($\epsilon_H = 100 \cdot \ln(h_1/h_0)$) составляет 160%. Это подтвердило предположение о хороших пластических свойствах ряда инструментальных сталей при температуре прокатки 800 °С после скоростного электроконтактного нагрева. Однако, ввиду частых обрывов ленты, при таких обжатиях не удавалось получить устойчивый процесс прокатки. Устойчивый процесс прокатки обеспечивается на стане при обжатиях до 60%.

Исследование структуры показало, что благодаря скоростному нагреву (до 400 °С/с) в материале не происходит обезуглероживания и обеспечивается хорошее качество инструментальной ленты.

С целью оценки работоспособности было выполнено исследование теплового режима работы отдельных узлов и агрегатов стана. В результате было установлено, что температура исследуемых узлов не превышает допустимый уровень.

Внедрение стана 200 ЭКН позволило существенно улучшить технологию производства тонких полос из труднодеформируемых сплавов, заменив холодную прокатку с многочисленными проходами и промежуточными термообработками на горячую прокатку в условиях скоростного электроконтактного нагрева.

За время промышленной эксплуатации стана 200 ЭКН на нем было прокатано более 3000 тонн высококачественной ленты из труднодеформируемых марок сталей и сплавов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Выполнен анализ современного состояния проблем обработки давлением труднодеформируемых марок сталей и сплавов, который показал, что традиционная технология холодной прокатки полос толщиной менее 2 мм является очень трудоемкой, сопровождается значительными энергетическими затратами, имеет низкий уровень выхода годной продукции и не обеспечивает должного качества ленты.

2. На основании обзора работ по исследованию горячего деформирования быстрорежущих сталей было выявлено, что при температуре 800 °С может проявиться эффект повышенной пластичности материала. Основными видами дефектов, появляющихся при горячей пластической обработке быстрорежущей стали, являются обезуглероживание и наф-

талинистый излом. В наибольшей степени эти дефекты могут проявиться при прокатке тонкой ленты. Одним из способов исключения обезуглероживания является скоростной нагрев заготовки до температуры деформации. Для исключения нафталинистого излома температура деформирования тонкой ленты должна быть не выше 850°C . В условиях прокатного стана этот комплекс требований может быть обеспечен при помощи высокоскоростного электроконтактного нагрева подката непосредственно перед очагом деформации. Выполнено обоснование технологической схемы и компоновки оборудования стана с электроконтактным нагревом.

3. Для определения параметров оборудования стана и электрического источника технологического нагрева полосы разработана математическая модель формирования температурного поля в движущейся деформируемой полосе, в которой учитывается поступление тепловой энергии от электрического тока и процесса деформирования и потери тепла в окружающую среду. Кроме того, модель учитывает зависимость от температуры таких физических характеристик нагреваемого материала как удельное электросопротивление, удельная теплоемкость, удельная мощность теплоотдачи в окружающую среду и т.д. Для определения этих физических характеристик и их зависимости от температуры нагрева были проведены экспериментальные исследования.

4. Для реализации процесса прокатки тонких лент из труднодеформируемых сталей с учетом разработанной математической модели нагрева заготовки был спроектирован, изготовлен и смонтирован на ПО "Ижсталь" стан 200 ЭКН с электроконтактным нагревом подката. С учетом специфики технологического процесса прокатки были предложены и реализованы новые решения по конструкции узлов и агрегатов, входящих в состав оборудования стана. Разработаны на уровне изобретения и внедрены на стане 200 ЭКН новые конструкции размазывателя, токоподводящей клетки, ножиц, барабана моталки. Предложен способ намотки и устройство, реализующее этот способ, позволяющие получать рулоны большого диаметра из узких полос, прокатываемых на стане. Предложены, испытаны и внедрены новые конструкции токоподводящих устройств, обеспечивающих подвод к нагреваемой полосе токов до 15 кА. Практика эксплуатации стана подтвердила эффективность реализованных конструкторских разработок.

5. Выполнен комплекс экспериментальных исследований процесса прокатки полос из инструментальных сталей Р9 и Х8ВФ. На основе результатов экспериментальных исследований было подтверждено, что при температуре 800°C реализуется эффект повышенной пластичности быстрорежущей стали и обжатие в клети может достигать 80%. Экспериментальные значения величин напряжения и тока электрического источника технологического нагрева не более, чем на 10% отличаются от расчетных, определенных по разработанной математической модели. Исследование структуры материала после прокатки на стане подтвердило высокое качество инструментальной ленты. Внедрение на стане 200 ЭКН новой технологии горячей прокатки тонких лент позволило также существенно снизить энергозатраты и трудоемкость производства.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. А.с. 865439 СССР, МКИ³ В21В1/26. Стан для прокатки металлов с электроконтактным нагревом / А.М. Когос, А.А.Маренников, Н.В.Пасечник и др. (СССР).-N 2861748/22-02; Заявл. 02.01.81; Оpubл. 28.09.81. Бюл. N 35.
2. А.с. 831232 СССР, МКИ³ В21В13/00. Клеть прокатного стана с электроконтактным нагревом / А.А.Маренников, Н.В.Пасечник, А.М.Сербрянников и др. (СССР).-N 2821764/22-02; Заявл. 24.09.79; Оpubл. 23.05.81. Бюл. N 19.
3. А.с. 1014606 СССР, МКИ³ В21В31/32. Прокатная клеть / А.А.Маренников, Н.В.Пасечник, А.М.Сербрянников и др. (СССР).-N 3339052/22-02; Заявл. 24.09.81; Оpubл. 30.04.83. Бюл. N 16.
4. А.с. 986539 СССР, МКИ³ В21С47/34. Устройство для задачи полосы в моталку / А.А.Маренников, Н.В.Пасечник, А.Е.Локтионов и др. (СССР).-N 33177488/25-27; Заявл. 15.07.81; Оpubл. 07.01.83. Бюл. N 1.
5. А.с. 1362528 СССР, МКИ³ В21С47/28. Барабан моталки стана для прокатки полосы / А.А.Маренников, Н.В.Пасечник, С.В.Родинков и др. (СССР).-N 4090660/25-27; Заявл. 21.05.86; Оpubл. 30.12.87. Бюл. N 48.

6. А.с. 1209331 СССР, МКИ³ В21С47/06. Способ формирования рулона из ленты и устройство для его осуществления / А.А.Маренников, Н.В.Пасечник, В.А.Виноградов и др. (СССР). - N 3782625/25-27; Заявл. 25.05.84; Оpubл. 07.02.86. Бюл. N 5.

7. А.с. 1024130 СССР, МКИ³ В21В1/26. Валок с электроконтактным нагревом / А.М.Когос, Н.В.Пасечник, В.С.Аксенов и др. (СССР). - N 3404190/22-02; Заявл. 04.03.82; Оpubл. 23.06.83г. Бюл. N 23.