

На правах рукописи

ФАРТУШНЫЙ РОСТИСЛАВ НИКОЛАЕВИЧ

**Исследование и совершенствование процессов
производства нефтяных труб диаметром 73-219 мм
на трубопрокатных агрегатах с пилигримовым станом
с целью улучшения их качества**

Специальность 05.16.05 – «Обработка металлов давлением»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 2008

Работа выполнена на кафедре технологии и оборудования трубного производства Государственного технологического университета «Московский институт стали и сплавов» и на ОАО «ТАГМЕТ»

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор Гончарук Александр Васильевич

Официальные оппоненты
доктор технических наук, профессор Сейдалиев Фикрат Сейдалиевич
кандидат технических наук Фролов Андрей Николаевич

Ведущая организация ФГУП «ЦНИИЧермет»

Защита состоится 9 октября 2008 года в 15.00 часов на заседании диссертационного совета Д217.038.01 при ОАО «Научно-исследовательский, проектный и конструкторский институт сплавов и обработки цветных металлов» по адресу: 119017, Москва, Пыжевский пер., дом 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОАО «Научно-исследовательский, проектный и конструкторский институт сплавов и обработки цветных металлов».

Автореферат разослан 4 сентября 2008 года

Ученый секретарь
диссертационного совета Ревина Н.И.

Справки по телефону (495)-951-50-55; www.cmet.ru
E-mail: post@cmet.ru

Общая характеристика работы

В настоящее время большое значение для развития отечественной экономики приобретает расширение выпуска труб нефтяного сортамента (буровых, обсадных, насосно-компрессорных), труб из коррозионностойких сталей и сталей с повышенной хладостойкостью. Таганрогский металлургический завод обладает всеми необходимыми предпосылками для решения этой задачи: наличием собственного сталеплавильного производства, обеспечивающего изготовление бесшовных труб широкого сортамента по стандартам API, оборудованием для выпуска обсадных труб с эксклюзивными видами резьбовых соединений, наличием значительных мощностей по горячему цинкованию труб. В настоящее время бесшовные трубы на ОАО «ТАГМЕТ» получают прокаткой гильз, прошитых из слитков мартеновской стали, на пилигримовых станах. Рост требований к качеству труб делает необходимым переход на более совершенные методы производства стали и обработки металла давлением, что возможно только при глубокой реконструкции сталеплавильного и прокатного производства. Научной базой для ряда технических решений в ходе реконструкции послужили результаты проведенных нами исследований в области совершенствования процессов прошивки заготовок и прокатки труб.

Актуальность работы вытекает из необходимости совершенствования современных технологий производства важнейшего вида металлопродукции – бесшовных труб, повышения их качества. Крупную (по значению и объему производства) группу труб представляют трубы нефтяного сортамента, производство которых на отечественных предприятиях решает важные технические и экономические задачи.

Наиболее эффективные способы их производства основываются на прошивке непрерывнолитой заготовки на станах винтовой прокатки. Процесс прошивки обладает высокой производительностью, хорошо поддается механизации и автоматизации, обеспечивают высокое качество продукции.

Цель и задачи работы. Разработка и освоение промышленных технологий производства бесшовных труб нефтяного сортамента на трубопрокатных агрегатах с пилигримовым станом. Указанная цель достигается решением следующих задач:

- разработка математической модели процесса зацентровки и калибровки заготовки, позволяющей анализировать характер течения металла в очаге деформации, прогнозировать размеры и форму торцевой части заготовки и на основании полученных результатов предлагать технологические режимы, обеспечивающие минимальную разностенность передних концов гильз;
- совершенствование технологии прошивки заготовки большого диаметра на основе исследования закономерностей износа инструмента прошивного стана и

анализа деформационно-скоростных параметров; разработка новой калибровки инструмента прошивного стана (валков и оправок);

– исследование влияния технологической смазки на износостойкость дорнов и качество внутренней поверхности труб, а также исследование тепловых условий при пилигримовой прокатке;

– разработка и освоение промышленных технологий производства труб нефтяного сортамента из сталей марок 32Г2, 32Г2М, 15ХФА, 25ХГМА и др.

Научная новизна. С использованием вариационного метода на основе принципа минимума мощности пластической деформации и кинематически возможного поля скоростей разработана модель процесса зацентровки, создана программа для расчета параметров процесса зацентровки.

Экспериментально установлены закономерности износа инструмента прошивного стана винтовой прокатки (валков и оправок). Показано, что высокая износостойкость оправки может быть достигнута с помощью рационального выбора материала и наплавки рабочей поверхности инструмента жаропрочным сплавом, выбора режимов, обеспечивающих минимальное время прошивки, конструкцией и калибровкой инструмента, обеспечивающих интенсивный отвод тепла от оправки. Определено влияние технологической смазки на износостойкость дорнов и качество внутренней поверхности труб при пилигримовой прокатке; разработан смазочный состав, применение которого позволило повысить качество внутренней поверхности труб и снизить токовые нагрузки на двигатель пилигримового стана.

Установлен характер изменения температуры заготовки на всех этапах технологии: в печи слиток нагревается равномерно, существенной разницы в качестве нагрева в методической и кольцевой печах не обнаружено; снижение температуры на участке от печи до прошивного стана незначительно; длительная транспортировка гильзы от прошивного стана до пилигримового стана и процесс пылгерования вызывают большие теплотери (снижение температуры металла достигает 150⁰С), особенно на наружной поверхности гильз, что может вызвать перегрузку станом и ухудшение качества продукции.

Практическая значимость. Разработано устройство для калибровки и зацентровки заготовки в виде трехвалковой рабочей клетки. Устройство позволит обжимать непрерывнолитую заготовку диаметром 400 мм до диаметра 360 и 340 мм с одновременным нанесением зацентровочного отверстия диаметром 60-80 мм на глубину до 100 мм. Таким образом достигается уменьшение числа типоразмеров отливаемых заготовок и повышается эффективность работы МНЛЗ (уменьшается число кристаллизаторов, сокращаются потери времени на переналадку машины при переходе на отливку заготовки другого диаметра). Внедрен метод точной по-

резки заготовки на пилах, позволивший значительно снизить неперпендикулярность торца заготовки и эксцентриситет центрирующего отверстия.

Разработана новая калибровка валков и оправок, позволившая уменьшить время прошивки на 12,5% (с 40 до 35 с) по сравнению с прошивкой на инструменте с существующей калибровкой.

Разработано и внедрено устройство для подачи смазочного состава на внутреннюю поверхность гильзы перед пилигримовым станом.

Усовершенствованы и освоены в промышленном производстве ресурсосберегающие технологии производства нефтяных труб (обсадных и магистральных) диаметром 73-219 мм из сталей марок 32Г2, 32Г2М, 15ХФА, 25ХГМА и др. для ведущих отраслей промышленности (нефтедобычи и нефтепереработки), позволившие решить актуальные технические, технологические и экологические проблемы как производителей, так и потребителей. Внедрение разработанных технологий и получаемой в соответствии с ними продукции в промышленное производство позволило получить существенный технический и экономический эффект.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций базируется на: использовании математических методов моделирования, планирования и анализа результатов проведенных исследований; применении современных приборов и методик, их метрологического обеспечения; выпуске опытных и промышленных партий труб по разработанным технологиям и анализе их свойств.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы доложены на: семинарах и совещаниях, проводившихся на ОАО «ТАГМЕТ», конгрессе прокатчиков, международных конференциях в г. Краматорске, г. Челябинске, г. Никополе, в институтах: МИСиС, ФГУП «ЦНИИЧермет», ОАО «Институт цветметобработка», на ведущих трубных предприятиях.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 8 статьях.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, библиографического списка из 83 наименований, выводов и приложений; содержит 130 страниц машинописного текста, 39 иллюстраций, 5 таблиц и 2 приложения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цели и направления исследований и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведены результаты исследований в области совершенствования процессов производства трубных сталей. Показано, что повышение качества труб – задача комплексная, ее успешное решение зависит от уровня работы всех звеньев технологического процесса, начиная с выплавки трубной стали и заканчивая операциями отделки и контроля качества готовой продукции. Выявлены основные направления совершенствования технологии производства бурильных и обсад-

ных труб в условиях ОАО «ТАГМЕТ». К этим направлениям относятся: улучшение качества трубных сталей (снижение содержания серы, фосфора, газов) в ходе выплавки и внепечной обработки, совершенствование процесса разлики сифонным способом, переход на непрерывнолитую заготовку, замена мартеновского способа производства стали на электродуговой, обработка металла в установке печь-ковш. Пуск установки печь-ковш создал предпосылки для дальнейшего развития производства – строительства пятиручьевого машины непрерывного литья заготовки. В ходе освоения МНЛЗ был проведен анализ качества непрерывнолитых заготовок. В частности, исследовано влияние скорости разлики, температуры перегрева, содержания углерода, марганца, а также цветных металлов (меди и олова) в стали на количество брака по трещине на заготовках диаметром 340 мм из стали марки 32Г2. Кроме того, было исследовано влияние электромагнитного перемешивания на макроструктуру заготовок. Комплекс мероприятий по совершенствованию процессов производства трубных сталей позволил освоить выплавку новых для ОАО «ТАГМЕТ» марок стали: 15ХФА, 15ХМФА, 09ГСФА, 13ГФА, 20ФА, предназначенных для производства коррозионностойких и хладостойких труб.

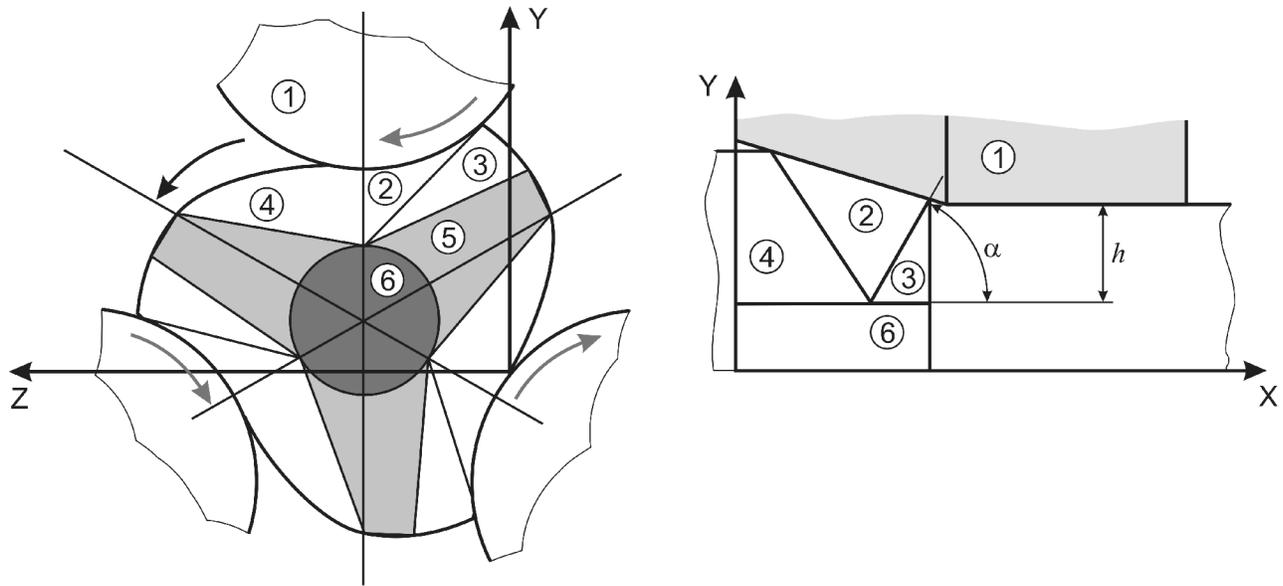
Во второй главе представлены результаты моделирования и экспериментального исследования процесса зацентровки и калибровки заготовок в трехвалковом стане винтовой прокатки. Основная причина разностенности передних концов гильз и труб - несовпадение оси оправки с осью заготовки в момент внедрения оправки в торец заготовки. Качественная зацентровка существенно снижает уровень поперечной разностенности передних концов гильз и труб, однако не устраняет полностью концевую разностенность, возникающую вследствие неперпендикулярности торца заготовки. Это вызвано неравенством объемов металла, поступающего в калибр между валками и оправкой, из-за неперпендикулярности торца, особенно на первых полушагах подачи после внедрения носка оправки в заготовку.

Наибольшими преимуществами обладает метод зацентровки заготовки в горячем состоянии, осуществляемый в технологическом потоке непосредственно перед прошивным станом. В Московском институте стали и сплавов с участием автора разработан и исследован процесс калибровки и глубокой зацентровки заготовок перед прошивкой. Данная операция осуществляется в устройстве на базе трехвалкового стана винтовой прокатки, обеспечивая точную зацентровку заготовки с одновременным устранением продольной кривизны и овальности; при этом сбивается печная окалина. Кроме того, устройство позволяет обжимать непрерывнолитую заготовку, т.е. уменьшать ее диаметр на 10 – 15%. Таким образом достигается уменьшение числа типоразмеров отливаемых заготовок и повышается эффективность работы МНЛЗ.

Представляет практический интерес инженерный метод расчета параметров разработанного процесса (энергосиловых, деформационных, в частности формообразования торцевой поверхности заготовки в процессе зацентровки и калибровки). Как показал проведенный анализ существующих методов моделирования процессов обработки давлением, наиболее приемлемым с инженерной точки зрения методом моделирования течения металла при радиальном обжатии является вариационный метод, основанный на кинематически возможных полях скоростей с использованием принципа минимума мощности пластической деформации, известный как «метод верхней оценки». С помощью разбиения очага деформации на жесткие блоки можно моделировать различные типы макротечений в соответствии с экспериментально наблюдаемыми картинами течения, определять соотношение потоков пластического течения в зависимости от режимов деформации и геометрических параметров инструмента и заготовки. Учет полученных соотношений позволяет оптимизировать форму инструмента и режимы прокатки.

Применение данного метода требует выполнения операции дискретизации среды и разработки структурной схемы очага деформации для нестационарной стадии винтовой прокатки при калибровке и зацентровке заготовки. Переход от сплошной среды к дискретной позволяет заменить сложные системы дифференциальных уравнений алгебраическими системами, которые в большинстве случаев могут быть решены точно или приближённо стандартными методами.

Очаг деформации (рисунок 1) представлен следующими структурными элементами. Под валком формируется макрозона затрудненной деформации, боковые поверхности которой являются поверхностями макросдвигов, а их ориентация и размеры определяются непосредственно из решения. При воздействии вала на заготовку макрозона, примыкающая к поверхности вала, создаёт потоки вытеснения и формирует зоны, перемещающиеся в продольном направлении и в межвалковые пространства. Структурные элементы очага деформации с целью выполнения условия несжимаемости находятся в постоянном контакте. Результаты расчета, выполненные на основе полученных полей скоростей, имеющих разрывы на поверхностях макросдвигов, могут быть использованы для решения практических задач, а также в качестве начальных скоростей в решениях методом конечных элементов.



1 – валок; 2 – зона контакта металла с валком; 3 и 4 – зоны внеконтактной деформации; 5 – недеформируемая зона; 6 – зона непроработанного металла

Рисунок 1 – Структура очага деформации в поперечной и продольной плоскостях при прокатке на трехвалковом зацентровщике

Известно, что при винтовой прокатке материальные точки заготовки в очаге деформации совершают сложные перемещения по винтовой линии. Поэтому при создании трехмерной модели макротечения на начальном этапе сложное движение на основе принципа суперпозиции можно рассматривать как одновременное наложение двух простых движений: вращательного в плоскости перпендикулярной оси прокатки и поступательного в направлении оси прокатки. В качестве кинематических условий на контактной поверхности приняты зависимости для скоростей, определяемые по известным формулам для поступательной и тангенциальной составляющих скорости точек на поверхности заготовки с учетом скольжения в любом сечении очага деформации.

При зацентровке и калибровке заготовок боек зацентровщика может находиться перед пережимом валков или за ним. Проанализируем случай, когда боек и торцевая часть находятся перед пережимом.

Разобьем очаг деформации на участки длиной, равной шагу подачи заготовки L_x

:

$$L_x = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot d_x \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \frac{F_1}{F_x} \cdot \frac{D_1}{D_x} \cdot \frac{\eta_{0x}}{\eta_{1x}} \cdot \xi_x,$$

где d_x – диаметр заготовки в сечении x ;

F_1 – площадь поперечного сечения заготовки в пережиме;

F_x – то же в сечении x ;
 D_1 – диаметр валка в пережиге;
 D_2 – диаметр валка в сечении x ;
 η_{0x} – коэффициент осевой скорости ($\eta_{0x} = 0,8$);
 η_{tx} – коэффициент тангенциальной скорости ($\eta_{tx} = 0,9$);
 ξ_x – коэффициент оваллизации заготовки ($\xi_x = 1,14$) .

Выделим в очаге деформации четыре блока, таким образом, что под валком формируется зона, размеры которой определяются известной длиной $l_{1,5}$ – равной длине втянутой в зону первичного захвата части заготовки, неизвестные параметры h_i и α_i являются варьируемыми параметрами. Размер h_i определяет глубину проникновения деформаций сдвига (глубину деформационной проработки литой структуры исходной заготовки). Угол α_i определяет положение границы между зонами 2 и 3 очага деформации.

Значения h_i и α_i могут быть определены при минимизации мощности пластической деформации в очаге деформации:

$$W = \sum 0,5 \cdot \sigma_s \cdot f_{ij} \cdot v_{ij} + \sum \mu \cdot \sigma_s \cdot f_{ik} \cdot v_{ik} ,$$

где f_{ij}, v_{ij} – соответственно площади поверхностей сдвига и скорости относительного перемещения смежных блоков;

f_{ij}, v_{ij} – площади поверхностей контакта заготовки с инструментом и скорости относительного перемещения блоков на поверхностях инструмента;

μ – коэффициент трения ($0 \leq \mu \leq 0,5$).

Суммирование производится по всем контактными поверхностями перемещения блоков. Для идеального жесткопластического материала $\sigma_s = const$ и определяется с учетом температуры заготовки и степени деформации для каждого участка.

Для определения значений скоростей блоков строят годограф скоростей, а в случае большого количества блоков, скорости блоков определяются через координаты узлов элементов и равенство нормальных составляющих скоростей блоков на поверхностях f_{ij} .

Площади поверхностей смежных блоков определим как

$$f_{ij} = b \cdot l_{ij} ,$$

где b - ширина контактной поверхности, мм;

l_{ij} - длина соответствующих отрезков, мм.

Длину соответствующих отрезков рассчитаем по формуле

$$l_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2},$$

где x_i, x_j, y_i, y_j - координаты вершины блоков.

Уравнение мощности пластической деформации в очаге деформации для данной схемы очага деформации имеет вид:

$$W_i = 0,5 \cdot \sigma_s \cdot b \cdot (l_{1-4} \cdot V_{2-3} + l_{2-4} \cdot V_{3-4} + l_{4-5} \cdot V_{2-4}).$$

Варьируемые параметры определим в результате минимизации $W_{i_{\min}}$

$$\frac{\partial W_i}{\partial h_i} = 0; \quad \frac{\partial W_i}{\partial \alpha_i} = 0.$$

Процесс изменения формы торцевой поверхности показан на рисунке 2.

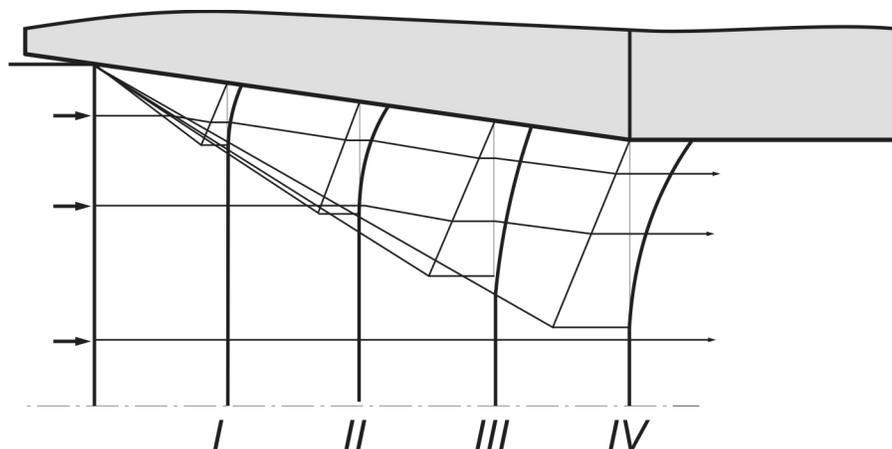


Рисунок 2 – Изменение контура торцевой поверхности при движении заготовки в зоне первичного захвата

Моделирование процесса зацентровки и калибровки реализовано в интегрированной среде Borland Delphi 7 с использованием методов объектно-ориентированного программирования.

В зависимости от положения бойка, начальных и граничных условий выполняется расчет варьируемых параметров, а также зависимости угла α_i и глубины деформации от минимума мощности на различных участках.

Результаты расчета сопоставляли с экспериментальными данными. В ходе эксперимента зацентровке подвергали заготовку с начальным радиусом $R_n = 32,5$ мм,

конечный радиус заготовки $R_e = 30$ мм. Эксперимент проводили на зацентровщике со следующей характеристикой: длина бочки валка $L_n = 230$ мм; максимальный диаметр валка $D_e = 250$ мм; длина заходного участка $L_{\text{зх}} = 120$ мм; угол заходного конуса $\varphi = 10^\circ$; частота вращения валка $n = 56 \text{ мин}^{-1}$.

Анализ сходимости расчетных и экспериментальных результатов подтвердил достоверность результатов расчета.

В третьей главе изложены результаты экспериментального исследования процесса зацентровки заготовки и разработки конструкции зацентровщика применительно к условиям ОАО «ТАГМЕТ».

Эксперимент выполняли на опытно-промышленном стане винтовой прокатки МИСиС-100Т. Заготовки из сталей марок 40Х, 60, 50, 45ХН2МФА, 45Х1, 30ХГС-НА диаметрами 80, 85, 90 и 110 мм, длиной до 300 мм после нагрева в печи до температуры прокатки 1150-1200°C калибровали и зацентровывали на глубину до 200 мм на валках и бойках различной калибровки. Материал бойка – сталь 30ХН2МФА, термообработка по режиму: нагрев до 950-1000 °С и выдержка в течение 30-35 мин с последующим охлаждением на воздухе. Рабочие валки были изготовлены из стали 45, твердость рабочей поверхности НВ 190-195, диаметр валков в пережиме 282 мм, длина бочки валка 280 мм.

В процессе исследований фиксировали шаги винтовой линии на наружной поверхности гильз L , машинное время прошивки τ_m , время первичного захвата $\tau_{п.з}$, время контакта бойка с металлом τ_b , усилие металла на валки P и осевое усилие на боек Q . Полное усилие металла на валки измеряли кольцевыми месдозами, осевое усилие определяли с помощью месдозы, установленной в упорно-регулируемом механизме.

После прокатки заготовки охлаждали на воздухе, осматривали, затем измеряли их размеры с точностью 0,1 мм. Разностенность рассчитывали как разность между максимальной и минимальной толщинами стенки, измеренными в шести точках у переднего торца заготовки и на расстоянии 40 мм от дна.

На эксцентриситет центрирующего углубления большое влияние оказывает перпендикулярность торца заготовки K , которая образуется при разрезке прутков. Исследования проводили при угле подачи 8° и обжатии по диаметру 8 %. При изменении K от 0 до 3° эксцентриситет при глубине зацентровки 50 мм сохраняется на уровне 0,1-0,2 мм и возрастает до 0,3-0,5 мм при увеличении K от 3° до 7° . Такой характер зависимости эксцентриситета от исходной перпендикулярности торца заготовки обусловлен недостаточной жесткостью конструкции центрирующего устройства.

Неперпендикулярность торца заготовки изменяется при калибровке и зацентровке в зависимости от угла подачи и обжатия $U_{п.}$. Так, изменение β от 8° до 17°

при калибровке заготовок с обжатием 5 % сопровождается ростом K относительно исходной 8° на 30 %, а изменение $U_{\text{п}}$ от 2 до 22 % при $\beta = 8^\circ$ – на 50 %. Причем наиболее интенсивное изменение формы торцов заготовок наблюдается при обжатии свыше 5 % и угле подачи валков более 12° (диаметр заготовки 80 мм).

Таким образом, обжатие необходимое для калибровки и зацентровки заготовок, имеющих неперпендикулярные торцы должно составлять 4-5 %, угол подачи 12° .

Проведенные исследования позволили определить рациональную калибровку валков, которая состоит из двух участков: входного конического l_1 и калибрующего l_2 , выполненного в виде цилиндра.

Протяженность и угол наклона образующей входного участка определяют исходя из допускаемых обжатий заготовок, а протяженность калибрующего участка – из условий формирования торца заготовки в круг до встречи с бойком и центрирующего углубления:

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= \frac{\Delta d}{2 \operatorname{tg} \varphi}; \\ l_2 &= 2L_{\text{ср1об}} + nL_{\text{ср1об}}. \end{aligned} \right\}$$

где Δd – абсолютное обжатие; φ – угол наклона образующей валка.

На основании выполненных исследований применительно к условиям ОАО «ТАГМЕТ» разработан технический проект устройства для калибровки и зацентровки слитков.

Устройство представляет собой трехвалковую клеть винтовой прокатки со станиной закрытого типа малой металлоемкости и позволяет осуществлять зацентровку бойком диаметром 60-100 мм на глубину до 100 мм (рисунок 3). Кроме того, на зацентровщике можно существенно уменьшить диаметр заготовки (с 400 до 360 и 340 мм) и тем самым сократить число типоразмеров непрерывнолитых заготовок.

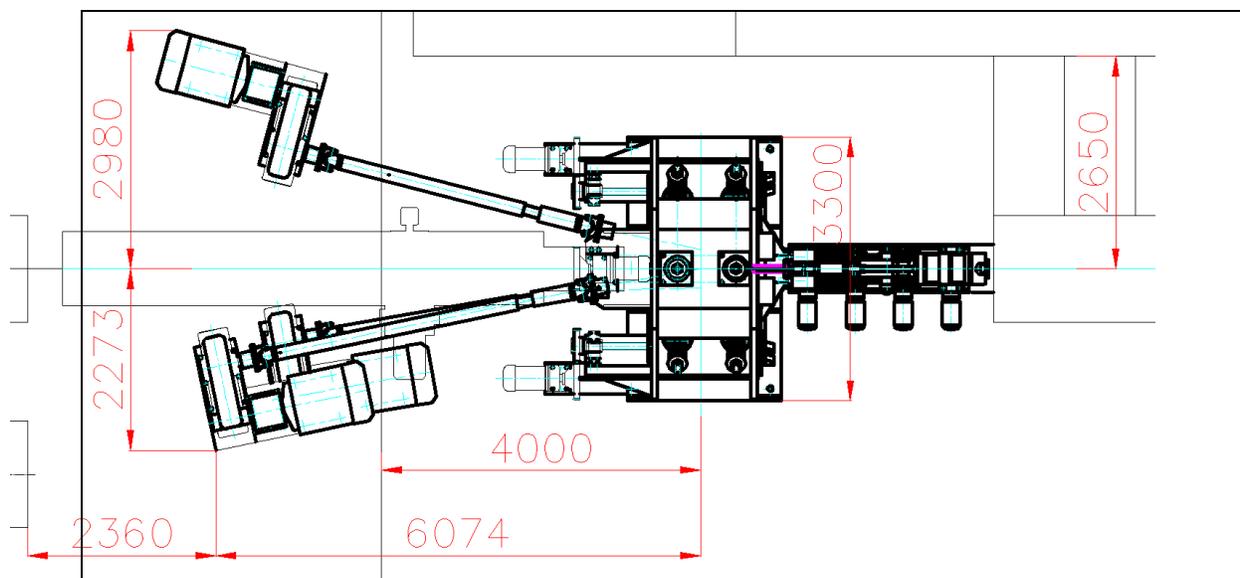


Рисунок 3 – Схема расположения зацентровщика

Четвертая глава посвящена исследованию и совершенствованию процесса прошивки заготовок большого диаметра и их дальнейшей прокатки на пилигримовом стане. При получении горячекатаных труб на ТПА с пилигримовым станом для операции прошивки используют стан винтовой прокатки. Из-за значительного уровня усилий при прошивке слитков большого диаметра процесс осуществляется при углах подачи до 6 градусов с большим коэффициентом овализации. Такие режимы нередко приводят к образованию внутренних плен и интенсивному износу технологического инструмента. В свою очередь, износ технологического инструмента существенно влияет на качество и себестоимость продукции трубопрокатных агрегатов, а также на их производительность.

Особенно большое значение имеет износостойкость инструмента (валков и оправки) на прошивных станах, где процесс идет при давлении на контакте 80-170 МПа и температуре до 1200°C, при этом рабочая поверхность валков обильно охлаждается водой. На основе результатов исследования предложены и опробованы новые режимы деформирования и калибровки технологического инструмента, позволившие повысить качество прокатываемых труб.

Износостойкость валков зависит от многих факторов: химического состава и качества нагрева прокатываемого металла, диаметра и длины заготовок, настройки калибра, предварительного раскручивания заготовок, химического состава и структуры материала валков, калибровки инструмента, условий охлаждения и т.д. В процессе исследований изучали износ рабочих валков диаметром 750-850 мм при углах подачи $\beta = 4-15^\circ$.

В производственных условиях была испытана партия наплавленных валков, имевших на рабочей поверхности перлитную структуру с твердостью HB 220-240. Установлено, что более твердые валки обладают повышенной материалостойкостью, однако склонны к заполировке и имеют меньшую тянущую способность, чем валки, изготовленные из стали 45. Процесс прошивки на этих валках протекает при повышенном скольжении металла в очаге деформации. Эти исследования еще раз подтвердили, что процесс прошивки в станах винтовой прокатки протекает удовлетворительно, если поверхность валков подвергается непрерывному обновлению, для чего она должна иметь в своей структуре мягкую составляющую (в нормализованной стали 45 этой составляющей является феррит).

То обстоятельство, что материалостойкость валков почти не зависит от их калибровки и настройки прошивного стана, было успешно использовано для анализа закономерностей износа валков и для повышения их износостойкости.

Анализ полученных данных показал следующее:

- максимальный износ валков происходит не в месте вторичного захвата, а в месте встречи заготовки с валками;
- износ происходит в результате "высверливания" валка острыми кромками торца невращающейся в момент подачи в стан заготовки; это усугубляется также наличием окалины, действующей в качестве абразивного материала;
- особенно интенсивно валки изнашиваются в начальный период работы, затем интенсивность роста глубины максимального износа уменьшается.

В процессе работы валков сечение максимального износа перемещается в направлении движения заготовки. Однако скорость этого перемещения непрерывно уменьшается. По мере выработки валков место встречи заготовок с валками перемещается в направлении к пережиму. Вследствие этого сокращается расстояние от места встречи заготовки с валками до носка оправки и ухудшаются условия первичного и особенно вторичного захвата. Для нормального протекания процесса прошивки уменьшают расстояние между валками, а для сохранения размеров гильз оправку отодвигают по ходу прошивки (уменьшают выдвигание за пережим).

После такой перенастройки стана сечение валков имеет сложную форму, ограниченную линией прежней выработки валков и почти параллельной ей линией большего износа. Следовательно, выработка валков происходит до определенного контура, зависящего от новой установки валков и оправки.

Таким образом, изучение закономерностей износа и профиля рабочих валков, образующегося в процессе износа, позволяет сделать следующие практические выводы. Фактическое суммарное обжатие заготовки перед носком оправки значительно больше расчетного. Обжатие заготовки перед носком оправки на изношенных валках происходит в основном на втором участке - гребне износа, имеющем угол

наклона образующей 11-17°. Это уменьшает склонность металла к центральному разрушению. Эти исследования позволили создать ряд рациональных калибровок, повысивших стойкость рабочих валков, и обосновано рекомендовать увеличение их диаметра. Рабочие валки целесообразно калибровать с уменьшенными углами конусности. В этом случае получается более равномерное распределение износа по длине бочки валка. Выработка валка на глубину h происходит при большем объеме изношенной части.

Повышению износостойкости валков способствует уменьшение углов конусности не только на участке прошивки, но и на участке раскатки. В этом случае по мере выработки следует в меньшей степени изменять расстояние между валками, а интенсивнее отодвигать по ходу прокатки оправку. Такой режим прокатки способствует распределению износа валков на большей длине входного конуса.

В ходе совершенствования технологии прошивки заготовок был освоен метод электроискрового легирования (ЭИЛ) рабочей поверхности валков, которое обеспечивает заданную шероховатость валков и их высокую тянущую способность на протяжении всей кампании.

Наряду с валками, длительному циклическому воздействию высоких температур (до 1200 °С) и больших давлений (до 170 МПа) подвергается и оправка, поэтому материал оправок должен обладать высокой прочностью, термостойкостью и повышенной теплопроводностью. Даже при высокой прочности материала, но при недостаточной его термостойкости и теплопроводности носок оправки разогревается, теряет первоначальную форму и оправка выходит из строя. Кроме того, поверхность оправки не должна свариваться с прокатываемым металлом. Это достигается созданием окисной пленки на поверхности оправки при термообработке и при контакте ее во время работы с прокатываемым металлом. На стойкость оправок существенно влияет большое количество факторов: химический состав материала и режим термообработки оправок, их калибровка, марка прокатываемой стали, качество нагрева заготовок, режим прокатки, условия охлаждения оправок. В настоящее время в трубном производстве в качестве материала оправок широко применяются стали марок 20ХН4ФА, 40Г2Ф.

В результате проведенных исследований был предложен эффективный способ повышения износостойкости оправок путем наплавки на рабочую поверхность жаропрочных сплавов на никелевой основе: ЭП-567, нимоник, нихром, а также сормайт. Наилучшие результаты достигнуты при использовании сплава ЭП-567. Следует отметить, что высокая износостойкость оправок способствует снижению разностенности благодаря более осесимметричному распределению нагрузки на инструмент в процессе деформации.

При исследовании процесса прошивки заготовок диаметром 65 мм из стали 12Х18Н10Т на опытно - промышленном стане МИСиС-130 установлено, что при угле подачи 8° неохлаждаемые оправки диаметром 38 мм выходили из строя после одной прокатки - осаживался, а иногда полностью истирался носик оправки, на ее рабочей части имелись вырывы и задиры. При прокатке на углах подачи $18-24^\circ$ стойкость этих оправок повысилась до 2-3 проходов. Оправки диаметром 46 и 50 мм при прокатке на больших углах подачи имели незначительный износ и использовались многократно (до 20-30 раз).

Таким образом, высокая износостойкость оправок достигается путем рационального выбора материала и наплавки рабочей поверхности жаропрочным сплавом, выбором режимов, обеспечивающих минимальное время прошивки, конструкцией и калибровкой, обеспечивающими интенсивный отвод тепла от оправки.

На основании проведенного исследования разработаны рекомендации по калибровке рабочих валков и оправок прошивного стана. Для облегчения условий захвата, повышения стабильности процесса прошивки и облегчения выхода гильзы значения углов конусности входного и выходного конусов валков приняты минимальными. Оправка имеет обтекаемую форму с углом наклона образующей 5° , выдвижение оправки за пережим - 100 мм. Такая калибровка инструмента позволяет вести процесс прошивки без образования центрального разрушения металла перед носком оправки.

С целью проверки эффективности разработанной калибровки инструмента был проведен эксперимент в условиях ОАО «ТАГМЕТ». Испытаниям подвергли комплект валков и оправок диаметром 160 мм. В ходе исследований фиксировали следующие параметры: положение оправки в очаге деформации; качество бесшовных труб; стойкость оправок и валков.

В результате эксперимента было установлено, что время прошивки с использованием валков новой калибровки уменьшилось на 12,5% (с 40 до 35 с) по сравнению с прошивкой на валках с существующей калибровкой. Это положительно влияет на износ самих валков и оправок, так как они меньше времени находятся в контакте с горячим металлом. Кроме того, сокращение времени прошивки приводит к увеличению производительности стана.

Решающее влияние на качество внутренней поверхности труб при пилигримовой прокатке оказывают условия трения на поверхности контакта «дорн – металл». От стойкости дорнов зависят не только качество и себестоимость продукции, но и производительность стана - преждевременный износ дорнов может привести к снижению производительности в 1,5-2 раза. В основе всех видов износа дорна лежит отсутствие разделительной смазочной пленки на контакте «дорн - деформируемый металл». Из-за тяжелых температурно-деформационных условий

раскатки на рабочей поверхности дорнов (температура поверхности дорна достигает 750-850⁰С) уже после прокатки нескольких гильз образуется сетка неравномерно распределенных разгарных трещин.

Анализ эксплуатации дорнов пилигримовых станов ТПА 6-10" показал, что дорны, изготовленные из стали 40ХГ2Ф, выводятся из эксплуатации по причине износа, а дорны из стали 40ХГСА - по причине образования разгарных трещин. Качество внутренней поверхности труб непосредственно зависит от состояния и степени износа дорнов. Износ дорнов по наружному диаметру на величину более 1,0-1,5 мм ведет к снижению точности геометрических размеров и выходу внутреннего диаметра труб за пределы поля допуска. Необходимо отметить, что окалина, образующаяся на поверхности горячего металла, налипая на дорны, также является причиной снижения качества труб по состоянию внутренней поверхности.

Экспериментально исследовано влияние технологических смазок на стойкость дорнов пилигримовых станов и состояние внутренней поверхности трубы. Главной функцией технологической смазки в этих условиях является надежное разделение контактных поверхностей в паре «инструмент - деформируемый металл» в течение всего времени протекания процесса деформирования, которое составляет 150-240 с. Поэтому большое значение приобретает термостойкость смазки, а также ее способность преобразовывать (растворять) окалину за счет химических реакций с образованием антикоррозионного слоя. Это возможно при использовании смазочных составов с дезоксидантами, которые вводят в гильзу после прошивки заготовки с целью преобразования окалины и создания смазочного слоя.

На ОАО «ТАГМЕТ» при участии ОАО «РосНИТИ» был разработан смазочно-дезоксирующий состав представляющий собой высокотемпературную эвтектическую смесь на основе фосфатов и неорганических смазывающих добавок. Фосфатная часть в продукте плавится при температуре свыше 600⁰С, она же дезоксирует внутреннюю поверхность гильзы. Смазывающая составляющая плавится при температуре около 800⁰С. В процессе плавления состава одновременно происходит преобразование окалины в жидкую фазу, которая хорошо разделяет контактные поверхности пары «инструмент - деформируемый металл», препятствуя образованию вторичной окалины, а также образование вязкой и термостойкой смазочной фазы. Смазку используют в виде порошка с хорошими сыпучими свойствами, что позволяет вдвигать ее внутрь гильзы сжатым воздухом. Для полного устранения окалины и равномерного распределения смазки по внутренней поверхности время вдвигания должно составлять 3-5 с.

Внутренняя поверхность гильзы покрывается пленкой фосфида железа толщиной до 20 мкм, которая не только препятствует образованию вторичной окалины, но и действует как дополнительное смазочное покрытие. Позитивным фактором яв-

ляется также то, что при взаимодействии смазки с окалиной выделяется большое количество тепла, повышающего температуру гильзы.

Оценку эффективности смазочного состава проводили по энергосиловым параметрам раскатки гильзы и состоянию внутренней поверхности труб. Для этого, в соответствии с цеховой технологической инструкцией, на пилигримовом стане ТПА 6-10" проводили сравнительную прокатку гильз: базовую - без смазки и опытную - с использованием смазки. Перед раскаткой гильз оценивали состояние рабочей поверхности дорнов. После проведения сравнительных испытаний производили отбор образцов от труб, прокатанных по базовому и опытному вариантам. Испытания проводили при прокатке труб размерами 219x14,0 мм из стали марки 13ХФА. Размеры гильзы: длина 2400 мм, внутренний диаметр гильзы 195 мм; наружный диаметр 340 мм. Температура наружной поверхности гильзы составляла 1180-1200°C.

Оценку износа дорнов пилигримового стана проводили по следующим критериям: наличие сплошной или местной выработки более 1,0 мм для производства труб по стандартам API; наличие сплошной или местной выработки более 1,5 мм, а также дорнов с трещинами, раковинами и другими дефектами для производства труб по межгосударственным стандартам. При этом разница диаметров одного комплекта дорнов не превышала 0,5 мм при толщине стенки трубы до 9 мм включительно и не более 0,75 мм при толщине стенки 10 мм и более.

Испытания показали следующее. Токовые нагрузки на двигатель пилигримовых станов снизились с 340 до 280 кА. Внутренняя поверхность труб, обработанная смазочным составом, не имела ржавчины и окалины, трубы, раскатанные без смазки, имели более шероховатую внутреннюю поверхность. Износостойкость дорнов повысилась в среднем на 15-20%.

В пятой главе с целью анализа температурных условий проведено сравнительное исследование изменения температуры заготовок при прокатке на ТПА в цехах №1 и №2 от слитка до готовой трубы. На ТПА цеха №2 для нагрева заготовок применяется кольцевая печь, а в цехе №1 – методическая печь с наклонным подом.

Измерение температуры осуществляли тепловизионным способом, который позволяет получить полную картину распределения температуры по всей видимой поверхности трубы. В качестве приемного тепловизионного блока использовали аналоговую портативную видеокамеру Sony TR-515. Процесс измерения состоит из следующих операций:

- видеосъемка исследуемой поверхности;
- преобразование видеоматериала в цифровую форму (оцифровка);
- сравнение полученных изображений с эталонными данными и вычисление температуры каждой точки изображения в градусах Цельсия;

- представление массива температур в наглядном виде (термограммы, графики, гистограммы).

Преобразование видеоматериала в цифровую форму выполняется компьютером при помощи видеоадаптера Asustek 3DP-V3000 с видеовходом. Далее информация о яркости и цвете каждой точки изображения обрабатывается разработанным программным обеспечением с использованием тарировочных зависимостей и представляется в виде последовательности термограмм. Тарировку проводили путем видеосъемки стальных образцов, нагретых в электрической муфельной печи с шагом 50 °С и одновременного замера температуры поверхности с помощью зачеканенной термопары. Видеокамера позволяет производить съемку как в видимом, так и в инфракрасном диапазонах излучения, что делает ее пригодной для исследования температуры поверхности нагретого объекта в широком диапазоне от 400 до 1600°С, а компьютерная обработка видеоизображения позволяет получить точность измерения ± 10 °С.

Экспериментальное исследование показало (рисунок 4), что после выдачи из нагревательной печи слиток имеет равномерную температуру поверхности по длине, равную 1180°С.

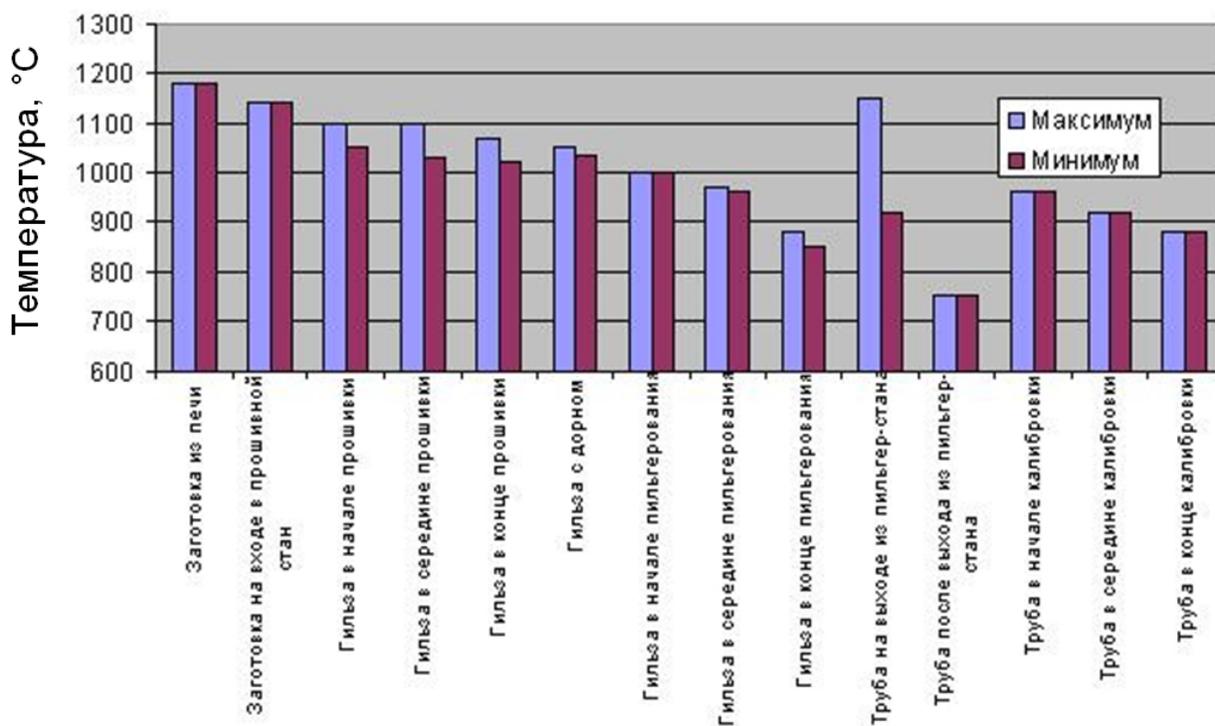


Рисунок 4 – Диаграмма изменения температуры металла в течение технологического процесса

Следует отметить, что для толстостенных гильз и слитков из-за охлаждения поверхности реальная температура в толще металла на глубине 10–20 мм выше на 50–70 °С. Слиток покрыт окалиной с температурой менее 1000 °С, поэтому для измерения доступны лишь участки, где окалина отслоилась. Установлено, что охлаждение поверхности на пути от печи до прошивного стана составляет около 10 °С. На слитках, нагретых в кольцевой либо методической печи, существенной разницы в картине теплового поля не обнаружено. Охлаждение поверхности на входной стороне прошивного стана на протяжении процесса прошивки почти отсутствует благодаря большому диаметру (до 436 мм) и массе (до 1500 кг) слитка (время прошивки составляет 40-45 с). После прошивки температура гильзы практически одинакова по ее длине. Внутренняя поверхность гильзы имеет примерно ту же температуру, что и исходный слиток (1150 – 1170 °С), а наружная – холоднее на 50 °С.

В процессе транспортировки гильзы от прошивного до пилигримовых станов температура наружной поверхности снижается на 30-50°С, а внутренняя остается такой же высокой. Концы гильз охлаждаются на 100-150°С.

В процессе зарядки дорна, передачи гильзы с дорном на линию прокатки пилигримового стана ее охлаждение продолжается. Общее падение температуры от окончания прошивки до начала прокатки на пилигримовом стане достигает 70°С. Прокатка длится 2-4 мин, за это время снижение температуры составляет 120–160°С, что обуславливает разницу в сопротивлении деформации 40-60%. В процессе пилгерования заготовка испытывает сильный неравномерный деформационный разогрев. Максимальная температура на выходе составляет 1150–1200°С, а минимальная – всего 850°С.

После подогрева перед задачей в калибровочный стан трубы имеют равномерную температуру 930–950°С, существенных различий ее по длине и диаметру на термограммах не обнаружено.

Для снижения теплотерь рекомендовано применение теплосохраниющих устройств на рольгане между прошивным и пилигримовыми станами, а также непосредственно перед пилигримовыми станами.

Статистический анализ результатов работы завода за последние два года показал, что благодаря использованию усовершенствованных технологий производства нефтяных труб, число рекламаций заказчиков по поводу несоответствия эксплуатационных свойств поставляемых нефтяных труб требованиям технических условий снизилось на 20%.

Основные результаты и выводы по работе

1. Разработана модель процесса зацентровки заготовки, выполненная вариационным методом, основанным на принципе минимума мощности пластической деформации и кинематически возможном поле скоростей; экспериментальные исследования процесса зацентровки подтвердили работоспособность созданной модели, позволяющей определять форму торцевой поверхности заготовки и определять уровень энергосиловых параметров процесса.

2. Применительно к условиям ОАО «ТАГМЕТ» разработано устройство для калибровки и зацентровки заготовки в виде трехвалковой рабочей клетки, которое позволяет устранять конусность слитков всех типоразмеров и зацентровывать заготовку бойком диаметром 60-80 мм на глубину до 100 мм.

3. В результате исследования износостойкости инструмента прошивного стана установлено, что износ валков происходит в результате "высверливания" валка острыми кромками торца не вращающейся в момент подачи в стан заготовки; это усугубляется также наличием окалины, действующей в качестве абразивного материала. Показано, что высокая износостойкость оправки может быть достигнута с помощью рационального выбора материала и наплавки рабочей поверхности жаропрочным сплавом, выбором режимов, обеспечивающих минимальное время прошивки, конструкцией и калибровкой, обеспечивающими интенсивный отвод тепла от оправки.

4. Разработаны рекомендации по калибровке рабочих валков и оправок прошивного стана. Установлено, что время прошивки с использованием валков новой калибровки уменьшилось на 12,5% (с 40 до 35 с) по сравнению с прошивкой на валках с существующей калибровкой, значительно снизился брак труб по внутренним пленам.

5. Установлено влияние технологической смазки на износостойкость дорнов и качество внутренней поверхности труб при пилигримовой прокатке. Разработаны смазочный состав и установка для его нанесения на внутреннюю поверхность гильзы. Использование смазки позволило снизить нагрузки на двигатель пилигримовых станков в среднем на 18-20%; при этом заметно повысилось качество внутренней поверхности труб, увеличилась износостойкость дорнов и производительность стана.

6. Определен характер изменения температуры заготовки на всех этапах технологии: наиболее значительно снижение температуры на участке от прошивного до

пилигримового стана и в процессе пильгерования (снижение температуры металла достигает 150⁰С), что может вызвать перегрузку станов и ухудшение качества продукции. Для снижения потерь тепла предложено применить теплосохраниющие устройства на рольгангах от прошивного до пилигримовых станов и непосредственно перед рабочими клетями пилигримовых станов.

В результате принятых рекомендаций по усовершенствованию процессов прошивки заготовки и прокатки труб нефтяного сортамента из легированных сталей на ОАО «ТАГМЕТ» получен значительный экономический и технический эффект. В частности, статистический анализ результатов работы завода за последние два года показал, что число рекламаций заказчиков по поводу несоответствия эксплуатационных свойств поставляемых нефтяных труб требованиям технических условий снизилось на 20%.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах

1. Гончарук, А.В. Основные направления повышение качества труб нефтяного сортамента [Текст] / А.В. Гончарук, В.Г. Поярков, Б.А. Романцев, Р.Н. Фартушный //Труды седьмого конгресса прокатчиков. Том II. - М.: Черметинформация. 2007. С. 395-400. (авт. 3 стр.)
2. Фартушный, Н.И. Распределение температуры при прокатке труб на ТПА с пильгер-станом [Текст] / Н.И. Фартушный, Б.А. Романцев, П.А. Алексеев, А.В.Гончарук, Р.Н. Фартушный //Производство проката. 2007. № 3. С. 29-31. (авт.2 стр.)
3. Fartushnyi, N. I. Temperature Distribution in Pipe Rolling on a System with a Pilger Mill. [Текст] / N. I. Fartushnyi, B.A. Romantsev, P. A. Alekseev, A.V. Goncharuk, R. N. Fartushnyi // Steel in Translation. 2007. Vol . 37. No. 3. P. 214-216. (авт. 2 стр.)
4. Гончарук, А.В. Моделирование и экспериментальное исследование зацентровки и калибровки заготовок в стане винтовой прокатки [Текст] / А.В. Гончарук, Г.П. Жигулев, Р.Н. Фартушный, А.Б. Онучин А.Б // Изв. вузов. Черная металлургия. 2008. № 3. С. 40-44. (авт. 3 стр.)
5. Гончарук, А.В. Калибровка и зацентровка слитков в трехвалковом стане винтовой прокатки [Текст] / А.В. Гончарук, Б.А. Романцев, Р.Н. Фартушный // Производство проката. 2008. № 3. С. 34-37. (авт. 2 стр.)
6. Поярков, В.Г. Опыт совершенствования сортамента и качества труб [Текст] / В.Г. Поярков, А.В. Гончарук, Б.А. Романцев, Р.Н. Фартушный, А.В. Поливец // Сталь. 2008. № 1. С. 47-50. (авт. 2 стр.)
7. Матыко, О.К. Совершенствование технологии прошивки непрерывнолитых заготовок из легированных марок стали на ТПА с пилигримовым станом. [Текст] / О.К. Матыко, Р.Н. Фартушный, В.В. Мульчин, Б.А. Романцев //Современные проблемы металлургии. 2008. Том. 11. С. 132-135. (авт. 2 стр.)
8. Алюшин, Ю.А. Кинематически возможные поля скоростей при поперечно-винтовой прокатке [Текст] / Ю.А. Алюшин, А.В. Гончарук, Г.П. Жигулев, Р.Н. Фартушный // Исследование процессов обработки давлением в металлургии и машиностроении. Тематический сборник научных трудов. - Краматорск. 2008. С. 3-8. (авт. 3стр.)

