

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И КОНСТРУКТОРСКО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ТРУБНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

(В Н И Т И)

На правах рукописи

ГАМИДОВ Фахраддин Джамал оглы

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ
ПРОКАТКИ ТРУБ НА ТРУБОПРОКАТНЫХ УСТАНОВКАХ
С АВТОМАТИЧЕСКИМ СТАНОМ**

05.16.05 - "Обработка металлов давлением"

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук



00819953 (Z)

Робота виконана в Гос
ком і конструкторсько-тех
промисленості (ВНІТУ)

- Научний керівник: член-корреспондент АН України, заслужений діяч науки і техніки, доктор технічних наук, професор СТРЕНКО Віктор Яковлевич
- Офіційні спонсори: доктор технічних наук, професор КОДИКОВ Александр Павлович
кандидат технічних наук КОНДРАТЬЕВ Сергей Валентинович
- Ведуче підприємство: Густавський Металургічний завод

Захист состоится "25" декабря 1992г. в 14 часов на засіданні спеціалізованого ученого совета КІАІ.ОІ.ОІ при Государственном научно-исследовательском и конструкторско-технологическом институте трубной промышленности (ВНИТИ) по адресу: 320600, г.Днепропетровск, ГСП, ул.Писаржевского, 1а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВНИТИ.

Автореферат разслан "13" ноября 1992г.

Ученый секретарь
специализированного
ученого совета, кандидат
технических наук

РЕБРИН Валентин Иванович

ЛННБ ім. В. Стефаніка
УРСР

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Технический прогресс топливно-энергетического и агропромышленного комплексов страны, машиностроения, строительной индустрии требует постоянного повышения эффективности производства горячедеформированных труб, прежде всего на основе повышения их качества. В условиях перехода к рыночной экономике, повышения требований к конкурентноспособности продукции вопрос повышения ее потребительских свойств стоит особенно остро. Показатели качества в значительной мере определяются технологическими режимами производства труб, при этом они должны быть обеспечены с наименьшими затратами. Это может быть решено, в первую очередь, на основе максимального использования резервов имеющегося технологического оборудования, выбора оптимальных параметров технологического процесса, использования наиболее дешевых исходных материалов. Именно такая задача поставлена в настоящей работе применительно к условиям производства труб на установках с автоматическими станами Азербайджанского трубопрокатного завода.

Цель работы. Повышение эффективности работы трубопрокатных установок с автоматическим станом на основе разработки и внедрения рациональных режимов деформации труб, применения новых технологических процессов их производства (ВТМО) и освоение новых эффективных видов продукции.

Научная новизна работы. Разработаны математические модели деформации металла в асимметричном калибре прошивного и автоматического станов, использование которых позволяет снизить эксцентричную разностенность и повысить точность труб. Поставлена и решена с использованием средств вычислительной техники задача определения оптимальных режимов деформации на установках с автоматическими станами на основе математической модели, предусматривающей в качестве функции цели минимум стоимостных затрат с учетом затрат на "холостую" работу агрегатов. Предложены режимы деформации и калибровки валков раскатного и калибровочного станов, обеспечивающие внедрение принципиально нового технологического процесса производства труб способом ВТМО. Получены экспериментальные и аналитические зависимости изменения сопротивления деформации закаленной малоуглеродистой стали от температурно-деформационных параметров теплового калибрования.

Практическая ценность работы. Определены основные факторы, влияющие на эксцентричную разностенность гильз и труб в асимметричном этапе деформации прошивного и автоматического станов. Материалы исследований использованы для совершенствования технологии на АзТЗ и могут быть распространены на другие заводы. Разработана периодическая калибровка валков автоматического стана, устройства для смазки трубы и технологического инструмента на автоматическом и калибровочном станках, позволившие повысить качество поверхности труб и улучшить условия захвата. Разработаны и внедрены технические решения, обеспечившие стабильную работу закалочных устройств в линии ВТМО. Внедрены режимы деформации и калибровка инструмента раскатных и калибровочных станов. Аналитические выражения для определения сопротивления деформации и размеров чистовых калибров использованы при разработке технологии ВТМО вновь осваиваемых размеров труб и применимы при проектировании новых установок.

Реализация результатов работы. Внедрены в производство оптимальные таблицы прокатки, обеспечивающие сокращение такта работы ТПУ на 2...4%. Выполнена корректировка соосности прошивного стана с применением лазерного визира для повышения точности гильз и труб. Внесено в техническую документацию требование к значению угла отклонения торца опорной поверхности оправки автоматического стана от вертикальной оси, который не должен превышать $1,5^\circ$. Внедрена периодическая калибровка валков автоматического стана, обеспечившая повышение общего уровня точности труб и ритмичности процесса прокатки. Предложены калибровки инструмента раскатных станов и валков калибровочного стана. Последние разработаны с учетом полученных экспериментальных и аналитических зависимостей по сопротивлению деформации закаленной малоуглеродистой стали и упругой деформации рабочих клетей при теплом калибровании. Внедрена технология ВТМО с осуществлением промышленного производства высокопрочных обсадных труб на линии ВТМО ТПУ 250-2. Освоено изготовление бурильных труб диам. 73 мм с приваренными замками. Годовой экономический эффект от внедрения результатов исследований в доле автора работы составил 237,2 тыс.руб.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены на Всесоюзном отраслевом совещании "Проблемы развития технологии и прогрессивного оборудования для производства стальных, чугунных труб и баллонов" (Днепропетровск, 1990); Республиканской научно-технической

кой конференции "Перспективные технологии улучшения качества металлопродукции" (Баку, 1990); совместной научной конференции профессор-преподавателей Сумгаитского ВТУЗа и специалистов Азербайджанского трубопрокатного завода (Сумгаит, 1991); научном семинаре кафедры обработки металлов давлением Грузинского технологического университета (Тбилиси, 1992); объединенном научном семинаре отделов технологии производства труб горячей деформацией, технологии термообработки и материаловедения труб и трубных изделий, нагрева и охлаждения трубного металла, моделирования технологий трубного производства Государственного научно-исследовательского и конструкторско-технологического института трубной промышленности (ВНИТИ) и сотрудников кафедры обработки металлов давлением Днепропетровского Metallургического института (Днепропетровск, 1992).

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в 14 печатных трудах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка использованной литературы из 97 наименований, 18 приложений. Работа изложена на 220 страницах машинописного текста, содержит 15 таблиц и 63 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение

Анализ требований, предъявляемых к трубам нефтяного сортамента, выпускаемым в большом объеме на АзТЗ показывает, что основными показателями их качества являются: точность геометрических размеров, механические и технологические свойства, качество поверхности. Эти характеристики в значительной мере определяются технологическими режимами изготовления труб.

Применительно к АзТЗ задачи повышения эффективности производства труб должны решаться путем максимального использования резервов оборудования, выбора оптимальных параметров технологии с применением современных математических методов и использования ПЭВМ, углубленном исследовании особенностей деформации металла на всех этапах производства труб и разработки на их основе технических решений (по настройке станов, повышению стойкости технологического инструмента, совершенствованию калибровок), направленных на повышение точности и улучшение качества продукции, а также освоение новых эффективных видов труб при использовании современных ресурсо-

сберегающих технологий.

Состояние вопроса

Выполнен анализ теоретических и экспериментальных исследований, а также патентной литературы по вопросам совершенствования технологии производства труб на ТПУ с автоматическими станами. Показано, что для повышения эффективности работы трубопрокатных установок АзТЗ необходимо разработать и внедрить мероприятия, обеспечивающие повышение качества труб, оптимизацию технологических режимов, освоение производства новых видов высокопрочных труб нефтяного сортамента из наиболее дешевых материалов.

Следует отметить, что проведенные разработки основаны на достижениях современной теории и практики производства труб, базирующихся на работах ученых и практиков трубной промышленности, научных школ Украины, Урала, Москвы, Грузии и др.

Теоретические и экспериментальные исследования по совершенствованию технологии и повышению качества труб

Определяющее влияние на точность и качество готовой продукции оказывают условия формоизменения металла в очаге деформации прошивного и автоматического станов. Разработана математическая модель деформации заготовки-гильзы в асимметричном калибре прошивного стана, в основу которой положен расчет траекторий перемещения и последовательного обжатия элементарного участка поперечного сечения гильзы вдоль очага деформации и определение усилий на прокатный инструмент.

Величину усилий, действующих на оправку сил со стороны каждого из валков, определяем

$$P_{1,2}^{опр} = \sum_{i=1}^{i=N_x, N_y} P_{1,2}(1,2), \quad (1)$$

где: N_x, N_y — число элементарных объемов металла соответственно в осевом и тангенциальном направлении.

Критерием оптимизации процесса прошивки с целью повышения точности гильз являлось равенство проекций сил, действующих на оправку в плоскости линеек. По результатам расчетов установлено, что уменьшение влияния занижения оси прокатки на точность гильз можно достигнуть путем установки валков на разновеликие углы подачи. При этом угол подачи левого по ходу прокатки валка не более чем на 2° может превышать угол подачи правого валка. Промышленная апробация разработок, проведенная при прокатке труб размером

60,3x9 мм на ТПУ I40 показала, что установка валков прошивного стана на разновеликие углы позволяет компенсировать влияние занижения оси прокатки, стабилизировать положение оправки в калибре стана и снизить уровень концевой относительной разностенности гильз и готовых труб.

Разработана методика контроля и настройки оси прошивного стана и центрователей с использованием лазерного визира на ТПУ I40 и 250-I АзГЗ. Корректировка соосности оборудования прошивного стана позволили повысить точность труб на 2...5%, уменьшить количество труб, направляемых на повторный перерез из-за увеличенной разностенности в 1,3...1,8 раза, на 15...20% уменьшился износ нижней линейки.

Установлено, что причиной повышения эксцентричной разностенности труб, прокатываемых на автоматическом стане, является отклонение опорной плоскости торца оправки от вертикальной оси ее рабочей поверхности. Перекос оправки в очаге деформации приводит к неравенству площадей контактных поверхностей металла с оправкой со стороны верхнего и нижнего валков. В результате оправка смещается с оси стана в сторону противоположную направлению перекоса и занимает положение, при котором соблюдается равенство давлений металла на оправку:

$$F_8 \cdot P_8 = F_n \cdot P_n, \quad (2)$$

где: F_8, F_n — площади горизонтальной проекции контактной поверхности металла с оправкой со стороны верхнего и нижнего валка; P_8, P_n — средние удельные контактные давления металла на оправку со стороны верхнего и нижнего валка.

Разработан алгоритм и выполнен расчет эксцентричной разностенности труб, наводимой из-за перекоса оправки в асимметричном очаге деформации автоматического стана. Расчеты показали, что перекоос оправки в 2° наводит эксцентричную разностенность до 10%, а при $4,5^\circ$ — до 20...30%. Экспериментальными исследованиями также установлено, что увеличение перекоса оправки автоматического стана в первом проходе с $1,5$ до $3,5^\circ$ и во втором проходе с $1,2$ до $4,5^\circ$ увеличивает среднюю поперечную разностенность труб в 1,4 раза. На основании выполненных исследований в техническую документацию внесено требование к значению угла отклонения опорной плоскости торца оправки от вертикальной оси ее рабочей поверхности, которой не должен превышать $1,5^\circ$.

Для повышения точности трубы и улучшения условий захвата разработана и внедрена периодическая калибровка валков автомат-

ческого стана. Выполнено моделирование процесса обжатия стенки трубы в калибре на короткой оправке с использованием поляризационно-оптического метода. Показано, что периодическая калибровка в сравнении с круглой обеспечивает снижение неравномерности деформации (в среднем в 2,2 раза) и увеличение тянущих усилий валков (силы трения возрастают в 1,7 раза). Проведенными сопоставительными исследованиями процесса деформации металла в калибрах различного профиля (круглом, зональном, периодическом) установлено, что периодическая калибровка валков обуславливает повышение общего уровня точности труб в условиях нестабильной их кантовки.

Качество внутренней поверхности труб и стойкость оправок прошивного и автоматического станов зависят от условий трения на контакте металл-оправка. Предложено устройство для нанесения технологической смазки на внутреннюю поверхность труб (гильз) автоматического стана. Апробирован также способ ввода охлаждающей жидкости (смесь CO_2 и H_2O) при прошивке для увеличения пластичности окалины (уменьшения содержания Fe_3O_4 и увеличения FeO). Это позволило повысить стойкость оправок автоматического стана в 1,2... 1,5 раза, уменьшить налипание металла на их рабочую поверхность, улучшить качество внутренней поверхности труб.

Оптимизация производства труб на установках с автоматическим станом

Одним из важнейших путей повышения эффективности действующих трубопрокатных установок является оптимизация производства труб, включающая оптимизацию режимов деформации и выбор оптимальных технологических схем производства труб. Реализация этих направлений, как правило, но требует дополнительных капитальных вложений. Для определения оптимальных режимов деформации разработана математическая модель, предусматривающая нахождение такого варианта распределения суммарной деформации между станами, которому соответствует минимум стоимостных затрат на производство одной тонны готовых труб, при этом учитываются затраты на время "холостой" работы каждого из станов, представляющего разницу между тактом работы конкретного стана и тактом работы установки.

При расчете оптимального варианта распределения суммарной деформации должны соблюдаться ограничения по допустимым величинам деформации, условиям захвата металла валками, допустимым скоростным режимам прокатки, усилиям, действующим на прокатный инструмент.

нагреву прокатного двигателя, длине раската, точности прокатываемых труб.

Для выбора оптимальных технологических схем разработана комплексная модель оптимизации производства труб, которая позволяет определить рациональные схемы изготовления всех видов труб на заводе, потребное количество заготовки, объемы производства переработанных труб-заготовок для труб нефтяного сортамента, прокатываемых на заводе и получаемых со стороны.

Комплексная модель включает целевую функцию, максимизирующую прибыль завода от производства всех видов труб:

$$\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^t X_{ijzk}^{\text{ункт}} \left[C_{ij}^{\text{нкт}} - (S_{ijzk} + P_{ijzk}^{\text{ункт}}) \right] + \sum_{i=1}^P \sum_{j=t+1}^{\lambda} X_{ij}^{\text{снкт}} \left[C_{ij}^{\text{нкт}} - (S_{ij}^{\text{снкт}} + P_{ij}^{\text{снкт}}) \right] + \sum_{i=p+1}^n \sum_{j=\lambda+1}^m X_{ijzk}^{\text{ут}} (C_{ij}^{\text{т}} - C_{ijzk}^{\text{ут}}) \rightarrow \max, \quad (3)$$

где: j - технологические схемы изготовления насосно-компрессорных труб i -го типоразмера ($i = \overline{1, p}$) из труб-заготовок с трубоброкатной установки ($j = \overline{1, t}$), прокатанных из заготовки Z ($Z = \overline{1, \lambda}$) в калибре автоматического стана K ($K = \overline{1, \gamma}$) и со стороны ($j = \overline{t+1, \lambda}$); технологические схемы других видов труб i ($i = \overline{p+1, n}$) с трубоброкатной установки ($j = \overline{\lambda+1, m}$), прокатанных из заготовки Z в калибре автоматического стана K ;

- $P_{ij}^{\text{снкт}}$ - расходы по переделу при изготовлении насосно-компрессорных труб из труб-заготовок со стороны, руб/т;
- $P_{ijzk}^{\text{ункт}}$ - расходы по переделу при изготовлении насосно-компрессорных труб из труб-заготовок, прокатанных на трубоброкатной установке, руб/т;
- $C_{ijzk}^{\text{ут}}$ - себестоимость изготовления i -го типоразмера труб на трубоброкатной установке, руб/т;
- $S_{ijzk}^{\text{ункт}}$ - стоимость заданного металла за вычетом отходов при изготовлении насосно-компрессорных труб i -го типоразмера из труб-заготовок с трубоброкатной установки, руб/т;
- $S_{ij}^{\text{снкт}}$ - стоимость заданного металла за вычетом отходов при изготовлении насосно-компрессорных труб i -го типоразмера из труб-заготовок со стороны, руб/т;
- $C_{ij}^{\text{нкт}}$ - цена насосно-компрессорных труб i -го типоразмера, руб/т;

Ц_і^т - цена прочих труб *i*-го типоразмера, руб/т;
 X_і^з, X_і^п, X_і^к - неизвестные, показывающие какая часть объема заказа насосно-компрессорных труб производится из труб-заготовок, полученных соответственно с трубопрокатной установки и со стороны, какая часть объема заказа прочих видов труб производится из заготовки *Z* в калибре автоматического стана *K*.

Условия-ограничения математической модели по суммарному объему производства трубопрокатной установки, ее фонду рабочего времени, по объемам поставок труб-заготовок для насосно-компрессорных труб со стороны, требуемым объемам производства насосно-компрессорных и прочих труб на трубопрокатной установке, стойкости калибров автоматического стана, имеющимся объемам заготовки.

Для реализации математической модели оптимизации процесса прокатки в условиях установок I40 и 250 АзТЗ разработаны статистические модели машинного времени для прошивного и раскатного станков и скорости прокатки для автоматического стана, а также статистические модели относительной разностанности гильз и труб после раскатного стана. Во всех моделях в качестве входных факторов приняты параметры настройки станков, скоростные и температурные характеристики. Адекватность полученных моделей подтверждена всеми корреляционными характеристиками. Отклонения расчетных значений от фактических не превышают 8...10% при определении машинного времени и скорости прокатки и 12% при определении относительной разностанности.

Математическая модель оптимизации режимов деформации реализована при разработке алгоритмов расчета оптимальных таблиц прокатки. Расчет оптимальных таблиц прокатки труб на ППУ I40 и 250 выполнен на ЭВМ серии УВМ. Результаты расчетов таблиц прокатки приняты для практического использования и внедрения в промышленное производство. Промышленная проверка таблиц прокатки показала, что перераспределение деформации между прошивным и автоматическим станками приводит к сокращению такта работы на 2...4%. По разработанной методике для ППУ 250-2 рассчитаны таблицы прокатки обсадных размерами I46x6,5...10,7 мм и буровых труб размером I27x9,18 мм из заготовки повышенного диаметра при использовании нового 9-клетового калибровочного стана.

Анализ расчетов показал, что при прокатке обсадных труб наибольшую эффективность в сравнении с действующей технологией

имеют технологические схемы прокатки труб из заготовок диаметром 170 и 180 мм (вместо 160 мм) в калибре автоматического стана 168 мм (вместо 155 мм), при этом часовая производительность установки возрастает до 2,5 %. При прокатке буровых труб из заготовки повышенного диаметра 160 мм (вместо 135 мм) в калибре автоматического стана 155 мм (вместо 132 мм) часовая производительность возрастает на 4,2%.

Комплексная модель оптимизации производства труб и выбора оптимальных технологических схем апробирована на основе выполненных расчетов (по фактическим данным 1990г.), анализ которых показал, что для сложившейся структуры ассортимента на ПТУ 140 возможно получать свыше 70% общей потребности в трубах-заготовках для насосно-компрессорных труб. При этом суммарный объем производства ПТУ 140 при прокатке труб-заготовок размерами 60,3x5,0 и 89x5,5 мм остается неизменным, а суммарная прибыль возрастает на 0,9%.

Выполненные расчеты свидетельствуют о том, что разработанная комплексная модель может быть использована и в настоящих условиях рыночной экономики для определения наиболее эффективных путей работы завода.

Разработка и совершенствование новых эффективных технологий и видов труб

Исследованиями по совершенствованию и расширению возможностей нового технологического процесса термомеханического упрочнения в линии трубопрокатной установки 250-2 АзТЗ выполнены автором на базе разработок по модернизации оборудования для заковки труб в раскатном стане и изучению процесса теплого калибрования.

При промышленном освоении процесса ВММО выявлен ряд принципиальных конструктивных недостатков оборудования для заковки. Разработаны инженерные решения узлов и механизмов, позволивших значительно улучшить стабильность работы комплекса устройств для заковки труб на выходных сторонах раскатных станков. Основная часть разработанных узлов и механизмов прошла промышленные испытания и предложена к реализации, в том числе водоподвод в полую валу упорно-регулирующего механизма, новая конструкция крепления станка в полом валу и механизм удержания стержня-срезера. Разработана также конструкция стандартного наружного спрайера и механизма кача-

ния закаленной трубы, испытания которых будут проведены после завершения их изготовления.

Технология ВТМО предусматривает высокие деформации (до 20%) при горячей прокатке на раскатном стане и максимальную общую деформацию до 15% при теплом калибровании. Это поставило принципиально новые требования к выбору наиболее оптимальных режимов деформации и калибровок инструмента на этих станах.

При отработке технологии ВТМО рассчитали таблицы прокатки, разработали калибровки валков раскатного и калибровочного станов. Предложенная калибровка валков раскатных станов, отличающаяся от традиционных радиальной конфигурацией левого и правого рабочих валков, обеспечила симметричность очага деформации при смещении оси раскатки по высоте вниз относительно центральной оси стана. При раскатке в режиме ВТМО предложили использовать стальные оправки из стали 20Х вместо чугунных, что обеспечило стабильное ведение процесса. Стойкость стальных оправок при износе по диаметру до 1 мм составила 70...100 труб, а чугунных - 1...3 трубы.

Точность геометрических размеров закаленных раскатанных труб характеризуется отклонением диаметров труб относительно средних значений по партиям от +0,62 до +0,76%, овальностью от 0,6 до 1,0 мм, отклонением толщины стенок труб от номинальной по партии от +3,4 до +5,5% при относительной поперечной разностенности не более 12%.

Проектирование оборудования, обоснование и выбор температурно-деформационных режимов теплового калибрования по клетям многоклетьевого калибровочного стана, а также разработка и совершенствованные калибровки валков связано, в первую очередь, с оценкой энергосиловых параметров процесса. Последнее определяется величинами сопроствления деформации закаленного металла при разных температурах отпуска.

Сопротивление деформации исследовали на универсальной испытательной машине МТS 810 (QIA) усилием 100 кН с системой записи параметров нагружения при температурах испытаний 450...650°C в основном через 25°C, постоянных скоростях деформации $\dot{\epsilon}$ для каждой температуры 0,1, 1,0 и 8 с⁻¹. Осадку образцов осуществляли до степени деформации $\epsilon = 45...50\%$ на образцах диам. 7 мм длиной 10,5 мм из малоуглеродистой стали двух плавов с содержанием основных элементов, равным 0,28% С, 0,9% Mn, 0,5% Si и 0,21% С, 0,6% Mn, 0,3% Si. Общий вид аналитической зависимости сопротивле-

ния деформации σ от степени деформации λ , скорости деформации $\dot{\epsilon}$ и температуры θ , примененной при аппроксимации экспериментальных данных, следующий:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \exp(C_1 - \theta) (1 + C_2 \lambda + C_4 \cdot \dot{N}^5) \cdot \exp(C_6 \cdot \lambda), \quad (4)$$

где: $C_1 \dots C_6$ - постоянные коэффициенты, учитывающие влияние величины θ , λ и \dot{N} на σ ; σ_0 - напряжение без учета влияния процессов упрочнения-разупрочнения, Н/мм²; λ - накопленная степень деформации, равная $\sqrt{3} \cdot l_p N_0 / N_i$; \dot{N} - интенсивность скоростей деформации сдвига, равная $\dot{\epsilon} \sqrt{3}$.

Показано, что при температурах 450...550°C превалирует разупрочнение металла во всем исследованном интервале степеней и скоростей деформации. При температурах 600...650°C и деформациях, превышающих 30% ($\lambda > 0,6$), наблюдается упрочнение металла, что ближе к поведению горячедеформированных металлов с равновесной структурой при температурах выше 800°C при интенсивном их упрочнении в процессе деформирования.

В реальном процессе калибрования труб имеются паузы между отдельными этапами деформации, возникающие при прохождении трубой межклетевых промежутков. С целью исследования влияния пауз в процессе нагружения на сопротивление деформации проведены эксперименты на той же испытательной машине при длительности пауз между деформациями, равными 1 с, скорости деформации $\dot{\epsilon} = 3 \text{ с}^{-1}$, $\epsilon = 0 \dots 50\%$ и $\theta = 450, 550$ и 650°C . Показано, что результаты испытаний при ступенчатом и непрерывном нагружении отличаются в среднем на $\pm 5 \dots 10\%$, в связи с этим при выполнении расчетов энергосиловых параметров теплового калибрования можно пользоваться удобным аналитическим выражением (4).

Исследовано изменение температуры металла в процессе теплового калибрования обсадных труб и установлено, что при охлаждении валков в паузах между прокатками труб величина падения температуры снижается почти в 2 раза в сравнении с непрерывным их охлаждением.

Расчеты величин сопротивления деформации σ по выражению (4) при различных вариантах охлаждения валков показали, что в последних клетях стана при охлаждении валков в паузах между прокатками труб и падании температуры металла в каждой клетке $\Delta t_k = 5^\circ\text{C}$ значения на 5...6% меньше, чем в первых клетях; при непрерывном охлаждении валков ($\Delta t_k = 10^\circ\text{C}$) σ возрастает на 13...15% в срав-

нении с первыми клетями, что приводит к увеличению упругой деформации клетей.

Разработано устройство, позволяющее организовать охлаждение валков в паузах между прокатками при меньших потерях тепла металлом труб в калибрах.

Разработан способ продольной прокатки труб, обеспечивающий подачу твердой смазки к калибрам валков калибровочного стана. Из результатов первых испытаний двух клетей, оборудованных узлами твердой смазки, следует, что износ чистовых калибров уменьшился на 30%.

Установлены экспериментальные зависимости величин упругой деформации клетей в интервале температур конца калибрования 370...550°C для обсадных diam. 146,1 мм и муфтовых diam. 166 мм труб. В рабочем интервале температур величины упругой деформации клетей составили 0,8...1,32 мм, а коэффициент жесткости клетки $f = 0,0012$ мм/кН.

Предложена зависимость для определения размеров калибров чистовых клетей с учетом ее упругой деформации:

$$D_k = (1 + \alpha T_k) D_0 - P f, \quad (5)$$

где: α - коэффициент линейного расширения; T_k - температура конца прокатки, °C; D_0 - диаметр трубы в холодном состоянии, мм; P - давление металла на валки, кН; f - коэффициент жесткости клетки, мм/кН.

Установлено, что изменение сопротивления деформации, а, следовательно, давления металла на валки, упругая деформация клетей и точность труб по диаметру зависит от режима распределения частных обжатий по клетям и условий охлаждения труб в стане. Эти обстоятельства учитывали при исследовании различных технологических вариантов прокатки труб на двух калибровках валков. Показано, что только "падающий" режим распределения частных обжатий обеспечивает максимально возможный, но меньший паспортного, уровень давлений металла на валки и его снижение в предчистовых и чистовых клетях, а, следовательно, уменьшение упругой деформации клетей. Новая калибровка валков, отличающаяся от действующей, в основном, меньшими частными обжатиями в предчистовых и чистовых клетях обеспечивает более высокую точность труб по диаметру.

Определены оптимальные интервалы содержания в применяемой малоуглеродистой стали углерода (0,17...0,35%) и марганца (0,5...

0,8%), в также интервалы температур отпуска в печи с шагающими баками для получения различных групп прочности. Показано, что применение малоуглеродистой стали устойчиво обеспечивает свойства металла труб прочности Б, Л и М ГОСТ 632-80. Для более высоких групп прочности рекомендовано использовать сталь 32Г2.

Исследовали механические, технологические и эксплуатационные свойства металла высокопрочных обсадных труб. Результаты свидетельствуют о высокой хладостойкости металла, не уступающей импортным аналогам. Перспективно применение труб с линии ВТМО в качестве коррозионноустойчивых в среде сероводорода, металл труб хорошо сопротивляется развитию трещин в условиях высоких динамических нагрузок (кумулятивная перфорация).

Изучены принципиальные возможности двух схем контролируемой прокатки обсадных труб в линии ВТМО с использованием тепловой деформации в калибровочном стане и с применением ускоренного регулируемого охлаждения после горячей прокатки на редуциционном стане для насосно-компрессорных труб. Показана возможность получения насосно-компрессорных труб групп прочности К и Е ГОСТ 633-80 из углеродистой стали 45 после ускоренного регулируемого охлаждения до температурного интервала 560...630°C.

Предложили изготавливать передельные бурильные трубы diam. 73 мм длиной 13000 мм на ТПУ I40 из заготовок diam. 120 мм в калибре автоматического стана diam. 116 мм на измененной калибровке валков редуциционного стана. Это предложение позволило освоить на АЗТЗ технологию изготовления бурильных труб размером 73x9,19 мм с приваренными соединительными замками.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Разработана математическая модель деформации металла в асимметричном калибре прошивного стана, позволяющая оптимизировать положение оправки в зависимости от условий ведения процесса. Расчетными и экспериментальными исследованиями показано, что прошивку целесообразно вести с разницей в углах наклона каждого из валков до 2° для стабилизации положения оправки в очаге деформации и снижения уровня относительной разностенности гильз и труб.

2. Установлено, что одной из причин повышенной эксцентричной разностенности труб, прокатываемых в автоматическом стане, является отклонение опорной плоскости торца оправки от вертикальной оси ее рабочей поверхности. На основании разработанной математи-

ческой модели асимметричного очага деформации автоматического стана определены основные параметры, влияющие на величину указанного отклонения. Показано, что применение оправок автоматического стана с углом отклонения опорной плоскости от вертикальной оси не более $1,5^\circ$ обуславливает снижение эксцентричной разностенности труб на 20...30%.

3. Разработана и внедрена периодическая калибровка валков автоматического стана, обеспечивающая снижение неравномерности деформации в сравнении с круглой (в среднем в 2,2 раза) и повышение общего уровня точности труб (при нестабильном угле кантовки), а также увеличение тянущих усилий валков (силы трения возрастают в 1,7 раза) для обеспечения ритмичности процесса прокатки.

4. Для повышения качества поверхности гильз, труб и стойкости инструмента предложены, апробированы способы и устройства, обеспечивающие уменьшение окалинообразования, а также смазку контактирующих поверхностей.

5. Усовершенствована математическая модель оптимизации режимов деформации по минимуму стоимостных затрат с учетом затрат на "холодную" работу отдельных агрегатов.

6. Внедрены в производство оптимальные таблицы прокатки, обеспечивающие сокращение такта работы ТПУ на 2...4%, а также технологические схемы прокатки обсадных и бурильных труб из заготовок повышенного диаметра с использованием 9-клетевого калибровочного стана взамен 7-клетевого, что позволяет получить прирост производства на 5000 т в год.

7. Разработана и реализована комплексная модель оптимизации производства, обеспечивающая определение оптимальных технологических схем прокатки труб и объемов производства передельных труб-заготовок для труб нефтяного сортамента, прокатываемых на установках с автоматическим станом и получаемых со стороны. Показана возможность производства более 75% насосно-компрессорных труб из труб-заготовок собственного производства, что может увеличить прибыль завода на 0,9%.

8. Освоено оборудование, отработана технология и осуществлено промышленное производство высокопрочных обсадных труб на первой в отечественной трубной промышленности линии термомеханического упрочнения в технологическом потоке трубопрокатной установки с автоматическим станом. Предложен и реализован ряд инженерных и технических решений, кардинально улучшивших технологические условия

процесса закалки труб в раскатном стане и теплого калибрования после отпуска. К ним относится комплекс усовершенствованных узлов оборудования для закалки на выходной стороне раскатного стана, системы охлаждения и смазки калибров валков калибровочного стана. Разработана технология производства высокопрочных муфтовых труб на линии ВТМО, в результате улучшено их качество, расширен сортамент выпускаемых на линии труб, применена малоуглеродистая сталь взамен низколегированной стали ЗГ2С.

9. Впервые получены экспериментальные данные о зависимости сопротивления деформации закаленных малоуглеродистых сталей от температурно-деформационных параметров θ , ξ , ξ . Созданные на их основе аналитические зависимости позволили с большей достоверностью произвести разработку, освоение и внедрение технологии теплового калибрования высокопрочных труб, а также выполнить расчеты энергосиловых параметров процесса.

10. Установлена экспериментальная зависимость величин упругой деформации клеток калибровочного стана от температуры конца калибрования. Определен коэффициент жесткости рабочих клеток с нерегулируемым раствором валков диаметром 630 мм, равный 0,0012 мм/кН. Разработаны формулы для определения размеров чистовых калибров с учетом упругой деформации рабочих клеток, позволяющие рассчитать размеры калибров и обеспечить получение высокопрочных труб высокой точности по диаметру.

11. Высокая технико-экономическая эффективность новой технологии производства высокопрочных обсадных труб в сравнении с традиционной базируется на использовании недорогой малоуглеродистой стали, уменьшении количества обслуживающего персонала, меньших энергозатратах и более высокой производительности процесса. Это приводит к существенному снижению себестоимости труб. Кроме того, линия ВТМО позволяет использовать для изготовления высокопрочных труб имеющуюся в избытке малоуглеродистую заготовку собственного производства с содержанием 0,17...0,35% С, из которой при традиционном ее применении могут быть получены только низкокоррозионные катаные трубы. Годовой экономический эффект от внедрения технологии изготовления высокопрочных обсадных труб на линии ВТМО составил 1,67 млн.руб.

12. На АзТЗ освоено производство буровых труб с приваренными замками diam. 73 мм на основе предложенной и освоенной технологии прокатки передельных длинномерных труб



печившей увеличение выхода годного (в штуках) с 74,5 до 82%. Годовой экономический эффект от внедрения технологии изготовления буровых труб диам. 73 мм с приваренными замками составил 1,7 млн.руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Определение соосности клети и центрователей прошивного стана 140 и 250-1 / Ю.Д.Рынкевич, Ф.Д.Гамидов, Е.В.Слыньков и др. // Сталь.- 1991.- №3.- С.55-56.
2. Гейко К.И., Остренко В.Я., Гамидов Ф.Д. Резервы повышения точности труб, прокатываемых на автоматическом стане // Металлургическая и горнорудная промышленность.- 1992.- №3.- С.28-31.
3. Точность коротких оправок прошивного стана - необходимое условие повышения точности труб / К.И.Гейко, В.Я.Остренко, Ф.Д.Гамидов и др. М., 1986.- 8 с.- Деп. в ин-те "Черметинформация" 10.09.86, №3590.
4. Заявка 5025373 СССР, МКИ В 21 В 27/02, I7/02. Валок для продольной прокатки труб / Ю.И.Блинов, Ф.Д.Гамидов, Ю.М.Иосифов и др. - Положительное решение ВНИИТЭ на заявку от 03.02.92.
5. А.С. 1699669 СССР, МКИ В 21 В I7/00. Устройство для смазки внутренней поверхности труб / Ю.М.Блинов, Ю.И.Иосифов, Ф.Д.Гамидов и др. //Открытия.Изобретения. 1991.№47.С.46
6. Повышение качества труб на трубопрокатных установках с автоматическим станом / Ю.И.Блинов, В.В.Зайцев, Ю.И.Иосифов, Ф.Д.Гамидов // Совершенствование технологии производства труб: Сб.науч. тр. УралНИТИ. Челябинск: Металлургия, Челябинское отд-ние, 1991, Вып.2. С.57.
7. Комплексная модель оптимизации производства труб и выбора оптимальных технологических схем в условиях Азербайджанского трубного завода / В.Я.Остренко, В.М.Фридман, Ф.Д.Гамидов и др. М., 1992г.- 12 с.- Деп. в Библиограф. указателе ВИНТИ "Депонированные научные работы". 13.03.92. №2/д6075.
8. Производство высокопрочных обсадных труб способом высокотемпературной термомеханической обработки на трубопрокатном агрегате 250 с автоматстаном / Г.Н.Хейфец, Е.Л.Васильев, Ф.Д.Гамидов и др. // Черная металлургия: Бюл. ин-та "Черметинформация". М.,1992. Вып.3. С. 42-44.
9. Совершенствование оборудования, технологии процесса раскатки на трубопрокатном агрегате 250-2 Азербайджанского трубопрокатно-

го завода / О.А.Пляцковский, В.М.Статников, Ф.Д.Гамидов и др. // Черная металлургия: Бюл. ин-та "Черметинформация". М., 1990. Вып.7. С.62-64.

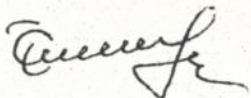
10. Заявка 4646911 СССР, МКИ В 21 В 17/00. Способ продольной прокатки труб / Ю.И.Блинов, Ю.М.Иосифов, Ф.Д.Гамидов и др. - Положительное решение ВНИИПЗ на заявку от 29.08.90.

11. Сопротивление деформации закаленной углеродистой стали / В.М.Статников, Ф.Д.Гамидов, С.А.Стебунов и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1992.-№2.- С.15-17.

12. Освоение технологии изготовления передельных бурильных труб диаметром 73 мм / Н.Г.Яралиев, Ф.Д.Гамидов, Ф.А.Дадашев и др. // Черная металлургия: Бюл. ин-та "Черметинформация", М., 1992. Вып.8. С.26.

13. Термомеханическое упрочнение муфтовых труб / В.М.Янковский, Ф.Д.Гамидов, Е.А.Соломадина и др. // Черная металлургия: Бюл. ин-та "Черметинформация", М., 1992. Вып.6. С.29-30.

14. Использование процесса контролируемой прокатки для производства высокопрочных труб / Г.И.Гуляев, В.М.Статников, Ф.Д.Гамидов и др. // Весомозн. отраслевое совещание: Тез. докл. - Днепропетровск, 1990. С.32-33.



Сдано в печать 9.11.1992 г.

Подписано к печати 10.11.1992г.

Формат 84x108 1/32.

Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Заказ № 176

Ротапринт В Н И Т И

г. Днепропетровск, 320600

ул. Писаржевского, 1-а

469020

Ab 26.197

Ab 26.197