

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Красикова Андрея Владимировича «Теоретические основы новой технологии прокатки товарных труб специального назначения из коррозионно-стойких марок стали на агрегатах с непрерывными станами с контролируемо-перемещаемой оправкой», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.4 – «Обработка металлов давлением».

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Актуальность работы заключается в необходимости импортозамещения труб специального назначения из коррозионно-стойких марок стали, которые ранее закупались только за рубежом. При этом, для обеспечения конкурентного преимущества при освоении новых видов труб, необходимо сокращать производственные издержки при одновременном обеспечении высокого качества. Ярким примером такого импортозамещения является освоение технологии прокатки обсадных труб из коррозионно-стойких марок стали группы 13Cr. Данный вид труб активно применяется для освоения месторождений углеводородов, имеющих высокую температуру при добыче и транспортировке, содержащих высокие концентрации коррозионно-активных компонентов, таких как CO_2 , H_2S , ионы хлора. Подобные агрессивные условия эксплуатации трубной продукции вызывают интенсивную коррозию углеродистых марок стали, получивших наибольшее распространение при производстве труб нефтяного сортамента. Именно поэтому производство труб из коррозионно-стойких марок стали, в том числе нержавеющей марок стали мартенситного класса с содержанием хрома около 13 %, является приоритетной, стратегической задачей.

Изначально трубопрокатные агрегаты (ТПА) с непрерывными станами были предназначены для прокатки продукции из углеродистых и легированных марок стали. Однако, растущие эксплуатационные требования на сложных месторождениях нефти и газа, ставят перед отечественными трубопрокатчиками новые задачи по изготовлению высокотехнологичных труб специального назначения из коррозионно-стойких марок стали, изготовление которых ранее считалось возможным только прессованием.

В этой связи требуется проведение всестороннего исследования и разработка теоретических основ для создания и освоения сквозной технологии изготовления новых видов трубной продукции специального назначения из коррозионно-стойких марок стали с применением прокатки.

ДОСТОВЕРНОСТЬ И НОВИЗНА ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Достоверность основных положений и выводов в диссертации обеспечивается:

- использованием в теоретических исследованиях основополагающих принципов теории обработки металлов давлением;
- использованием для проведения экспериментальных исследований и компьютерного моделирования общепризнанных методов изучения процессов обработки металлов давлением, поверенных оборудования и приборов, а также стандартного программного обеспечения;
- согласованностью теоретических и экспериментальных результатов исследования, полученных различными методами; отсутствием противоречий результатов работы известным теоретическим и технологическим закономерностям процессов обработки металлов давлением;
- соответствием теоретических результатов работы и высказанных на их основе практических рекомендаций результатам промышленных экспериментов, проведенных при освоении новой технологии прокатки бесшовных горячедеформированных труб на ТПА с непрерывными станами.

Новизна результатов представленной диссертационной работы заключается в следующем:

- разработана уникальная методика проведения и обработки результатов исследования пластичности и сопротивления металлов и сплавов пластической деформации с использованием современного испытательного оборудования, позволяющая учитывать влияние истории нагружения при изготовлении бесшовных горячедеформированных труб на ТПА с непрерывными станами, с помощью которой получены новые научно-обоснованные знания о закономерностях изменения сопротивления пластической деформации коррозионно-стойкой стали аустенитного класса в зависимости от степени деформации, скорости деформации, температуры и истории деформирования;
- впервые обнаружены и теоретически обоснованы закономерности формоизменения металла в процессах прошивки сплошных и полых заготовок, а также раскатки гильз из коррозионно-стойких марок стали аустенитного класса в линии ТПА с непрерывным станом с контролируемо-перемещаемой оправкой, с использованием компьютерного моделирования в программной среде QForm 3D, учитывающие особенности контактных взаимодействий с технологическим инструментом;
- впервые определены численные значения коэффициента контактного трения в процессе горячей деформации коррозионно-стойкой стали при наличии на контактных поверхностях дезоксидирующих и смазочных материалов;

- впервые определены закономерности трансформации структуры, пластических и прочностных свойств коррозионно-стойких марок стали применительно к многооперационной и многопроходной схеме производства труб в линии ТПА с непрерывным раскатным станом;

- разработана универсальная математическая модель для расчета энерго-силовых параметров процесса горячей раскатки гильз в непрерывном стане с различным количеством валков, образующих калибр, а также алгоритм ее численной реализации.

ЦЕННОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЛЯ НАУКИ И ПРАКТИКИ

Ценность полученных результатов для науки заключается в том, что:

-изучены особенности пластических и прочностных свойств коррозионно-стойкой марки стали аустенитного класса, а также исследованы их трансформации на различных переделах в линии ТПА с непрерывным станом с контролируемо-перемещаемой оправкой;

-определены требования к дезоксиданту и графитовой смазке для обеспечения качества труб из коррозионно-стойких марок стали, а также стойкости контролируемо-перемещаемых оправок; исследованы особенности влияния температуры, дезоксидирующих материалов и смазок на коэффициент контактного трения при деформировании коррозионно-стойких марок стали аустенитного класса;

-разработаны технологические схемы подготовки непрерывно-литых заготовок из коррозионно-стойких марок стали мартенситного и аустенитного класса к прокатке труб в линии ТПА с непрерывным станом с контролируемо-перемещаемой оправкой;

-исследованы с применением компьютерного моделирования закономерности формоизменения металла при прошивке заготовок и раскатке гильз; оценено влияние технологических факторов прокатки на качество поверхности и точность геометрических параметров труб из коррозионно-стойких марок стали;

-осуществлено моделирование процессов прошивки заготовок и раскатки гильз из коррозионно-стойких марок стали мартенситного и аустенитного класса на лабораторных станах;

-определены условия и факторы, обеспечивающие повышение износо-стойкости оправок при прошивке коррозионно-стойких марок стали мартенситного и аустенитного класса;

-разработана и внедрена сквозная технология прокатки труб из коррозионно-стойких марок сталей мартенситного и аустенитного класса на ТПА с непрерывными станами с контролируемо-перемещаемой оправкой.

Ценность полученных результатов для практики состоит в том, что:

- разработаны и внедрены новые способы подготовки к прокатке непрерывно-литых заготовок из коррозионно-стойких марок стали мартенситного и аустенитного классов, устраняющие осевую рыхлость (центральную пористость и осевые трещины) и, тем самым, предотвращающие образование дефектов на внутренней поверхности труб;

- разработаны и внедрены новые технологии прокатки труб из коррозионно-стойких марок сталей мартенситного и аустенитного классов, обеспечивающие высокое качество внутренней и наружной поверхности, точность геометрических размеров, а также требуемые эксплуатационные свойства труб для нефтяной и атомной промышленности Российской Федерации;

- повышена износостойкость оправок при прошивке заготовок из коррозионно-стойких марок стали с 3 до 60 проходов, что позволило увеличить производительность участка горячего проката труб более чем в 2 раза в сравнении с ранее достигнутой;

- сформулированы требования к дезоксидирующим и смазочным материалам, обеспечивающие высокое качество внутренней поверхности бесшовных труб из коррозионно-стойких марок стали мартенситного и аустенитного класса.

В результате выполнения комплексного исследования в рамках диссертационной работы решена важная народнохозяйственная проблема импортозамещения труб специального назначения из коррозионно-стойких марок стали. На предприятиях ПАО «ТМК» на ТПА с непрерывными станами с контролируемо-перемещаемой оправкой внедрена новая сквозная технология производства высококачественных труб специального назначения из коррозионно-стойких марок стали мартенситного и аустенитного класса. Разработанные технические решения, обеспечившие реализацию новой технологии, защищены 10 патентами Российской Федерации и 2 свидетельствами о государственной регистрации программы для ЭВМ.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Представленная работа является завершённым исследованием, выполненным в достаточном объёме, с представлением всех необходимых научных, экспериментальных, расчетных и практических материалов. Диссертационная работа состоит из введения, 7 глав, основных результатов и выводов, изложена

на 383 страницах машинописного текста, включающего 194 рисунка, 62 таблицы, библиографический список из 161 наименования.

Во введении обосновывается актуальность научной проблемы, приведены цель и задачи исследования, рассмотрен объект и предмет исследования, а также изложена научная новизна, практическая ценность результатов, их апробация и внедрение в производство.

В первой главе проведен анализ современных способов производства бесшовных труб специального назначения из коррозионно-стойких марок стали. Сделан вывод, что в настоящее время для изготовления таких труб безальтернативной считается технология на основе прессования.

По результатам сравнительного анализа различных способов получения заготовок для производства бесшовных труб сделан вывод, что в качестве исходной заготовки целесообразно использовать непрерывно-литую заготовку (НЛЗ) круглого сечения. При этом необходимо стремиться к минимизации числа типоразмеров НЛЗ для обеспечения всей производственной программы.

Сравнительный анализ особенностей прошивки заготовок в двухвалковых станах винтовой прокатки с различным направляющим инструментом показал, что в производстве бесшовных горячедеформированных труб большого диаметра целесообразно применять процесс прошивки с увеличением диаметра по отношению к диаметру заготовки.

Рассмотрены достоинства и недостатки различных вариантов раскатки гильзы в черновую трубу на ТПА с автомат-станом, непрерывным станом, пилгримовым станом, трехвалковым раскатным станом и речным станом. Установлена высокая эффективность использования в качестве раскатных – непрерывных станом с контролируемо-перемещаемой оправкой. Преимуществами такого процесса являются высокая производительность, минимальные технологические отходы и расположение оборудования, удобное для автоматизации технологических операций.

Отмечено, что значительный прогресс в улучшении качества и расширении диапазона размеров бесшовных труб достигнут в результате создания новых непрерывных станом с трехвалковыми клетями. Поэтому такая технология получает широкое распространение за рубежом и внедряется на отечественных предприятиях.

Учитывая идентичную схему напряженного состояния деформируемого металла, а именно схему всестороннего сжатия как наиболее благоприятную с точки зрения пластичности металла, применение ТПА с непрерывными станом и контролируемо-перемещаемой оправкой теоретически может являться полноценной альтернативой прессованию для изготовления товарных труб специального назначения из НЛЗ коррозионно-стойких марок стали.

На основании проведенного обзора научно-технической литературы сформулированы цели и задачи исследований.

Во второй главе представлены результаты разработки методики исследования и прогнозирования пластических и прочностных свойств коррозионно-стойких марок стали различных классов при изготовлении бесшовных горячедеформированных труб.

В качестве модельного материала была использована сталь марки 08X18H10T. С использованием пластометра были получены зависимости пластичности материала от показателя напряженного состояния при различных температурах. Эти эмпирические данные были обобщены в виде диаграммы пластичности данной стали, было предложено аналитическое выражение для описания зависимости пластичности стали от показателя напряженного состояния и температуры.

Исследовано сопротивление пластической деформации стали марки 08-12X18H10T в диапазоне температур 900°C – 1200°C и предложено уравнение для аналитического описания зависимости сопротивления деформации от степени деформации.

Также была обнаружена еще одна реологическая особенность коррозионно-стойких марок стали аустенитного класса – гораздо более высокие скорости разупрочнения, чем у марок стали феррито-перлитного класса.

В третьей главе изложены результаты исследования свойств смазочных и дезоксидирующих материалов, применяемых в линиях ТПА с непрерывными станами с контролируемо-перемещаемой оправкой. Описано оборудование для эффективной подачи дезоксиданта и графитовой смазки, а также даны рекомендации по их применению. Проведен анализ влияния дезоксиданта и графитовой смазки на качество внутренней поверхности готовых труб.

Установлено, что для гарантированного разделения контактных поверхностей трубы и контролируемо-перемещаемой оправки необходимо использовать смазочное вещество, представляющее собой сочетание графита и неорганических плавких солей, с набором функциональных ингредиентов, влияющих на адгезию, плёнообразование смазочного слоя, седиментацию, вязкость, антибактериальность.

Впервые проведено исследование влияния смазочных материалов на коэффициент трения при прокатке труб из стали марки 08X18H10T.

На основании проведенного эксперимента сделан вывод о том, что при горячей прокатке труб из стали марки 08X18H10T для контактной поверхности трубы и вала характерно значение коэффициента трения 0,47, а для контактной поверхности трубы и оправки 0,38. Оба этих значения выше, чем при прокатке труб из углеродистых марок стали, который составляет 0,19-0,24.

В четвертой главе представлены результаты разработки технологии подготовки НЛЗ из коррозионно-стойких марок стали мартенситного и аустенитного класса для прокатки труб на ТПА с непрерывными станами с контролируемо-перемещаемой оправкой.

Анализ свойств заготовок из марки стали 08X18H10T позволил определить следующую технологическую схему их производства и подготовки к прокатке, этапы которой включают в себя следующие основные операции:

- 1) выплавка и разливка НЛЗ по технологии АО «ВТЗ»;
- 2) обточка наружной поверхности НЛЗ;
- 3) осмотр качества наружной поверхности;
- 4) обрезка переднего конца, порезка на две части, обрезка заднего конца;
- 5) сверление НЛЗ.

Обточкой наружной поверхности НЛЗ из марки стали 08X18H10T удаляются несовершенства сталеплавильного происхождения. Порезка позволяет получить гладкие торцы заготовки допустимой косины реза, а также нужный по заказу раскрой металла. Операция сверления за счет удаления осевой рыхлости металла обеспечивает высокое качество внутренней поверхности труб.

Предложенные технологии подготовки НЛЗ марки стали 08X18H10T и марок стали группы 13Cr устраняют недостатки структуры непрерывно-литой заготовки и обеспечивают высокое качество внутренней поверхности гильзы.

В пятой главе представлены результаты исследования процесса прошивки заготовок из коррозионно-стойких марок стали в стане винтовой прокатки.

С использованием программного комплекса QForm 3D проведено моделирование процесса прошивки как полой непрерывно-литой, так и сплошной ковальной заготовки из марки стали 08X18H10T для последующей раскатки. По итогам моделирования сделан вывод, что для прокатки труб из марки стали 08X18H10T использование полой НЛЗ целесообразно.

Моделирование процесса прошивки коррозионно-стойкой марки стали 20X13C проводилось на опытно-промышленном стане МИСиС-130Д.

По результатам лабораторного моделирования показана принципиальная возможность прошивки заготовок из коррозионно-стойкой марки стали мартенситного класса в двухвалковом стане винтовой прокатки. Наилучшие показатели стойкости наблюдаются у оправок из стали марки 20X2H4A как с действующей калибровкой, так и с экспериментальной калибровкой (продольные выточки на рабочей поверхности).

Для решения проблемы повышения стойкости прошивных оправок, при прокатке труб из коррозионно-стойких марок стали, в первую очередь, было

проведено промышленное экспериментальное исследование по подбору материала для изготовления инструмента.

Помимо изменения химического состава материала оправок, исследовано влияние формы оправок на их износостойкость.

Наличие рифления на поверхности рабочего конуса оправки позволило достичь прирост стойкости в 20 раз (с 3 до 60 проходов) без существенного изменения стоимости инструмента и полностью решило проблему низкой стойкости оправок при прошивке коррозионно-стойких марок стали в условиях ТПА 159-426 АО «ВТЗ».

В шестой главе приведены результаты исследования процесса раскатки гильз из коррозионно-стойких марок стали в непрерывном стане продольной прокатки.

Оценка влияния различных технологических схем получения труб на ТПА с непрерывным станом с контролируемо-перемещаемой оправкой из стали 08-12Х18Н10Т проводилась с использованием компьютерного моделирования процесса раскатки гильз в программной среде QForm 3D.

В результате выполненных расчетов с использованием разработанной математической модели получено для условий лабораторного моделирования значение усилия прокатки, равное 6,5 кН. Среднее значение усилия прокатки, определенное при проведении эксперимента в лабораторных условиях, составило 6,34 кН. Поскольку расчетное усилие отличается от замеренного экспериментально на 2,5 %, можно сделать вывод о достаточной достоверности полученной математической модели. Результаты расчета продольных усилий, возникающих в раскатываемой гильзе в промежутках между клетями, позволят определить степень охвата оправки деформируемым металлом и на этом основании разработать предложения по совершенствованию калибровки валков и скоростного режима непрерывного раскатного стана.

Таким образом, предложенная математическая модель описания геометрических, кинематических и энергосиловых параметров очага деформации, позволяет с высокой точностью осуществлять расчет параметров процесса раскатки гильз в непрерывном стане на контролируемо-перемещаемой оправке. Для автоматизации расчетов создан программный продукт, который уже используется для анализа процесса раскатки в непрерывном стане МРМ АО «ВТЗ», а также внедрен в учебный процесс по профилю «Обработка металлов давлением» в ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» и в ФГБОУ ВО «ВолГТУ».

Первая опытная прокатка труб 325x16 мм из марки стали 08Х18Н10Т по действующей технологии в условиях ТПА 159-426 АО «ВТЗ», проведенная до выполнения описанных исследований, выявила технологическую проблему, связанную с извлечением оправки непрерывного стана при раскатке гильзы в черновую трубу. С учетом выводов, полученных по результатам

компьютерного, лабораторного и математического моделирования, для решения указанной проблемы была рассчитана и предложена специальная калибровка валков непрерывного стана с овальностью $1,05 \div 1,18$ при соотношении ширины калибра к диаметру гильзы не превышающем 1,07. Благодаря большей ширине и увеличенным выпускам калибра, извлечение оправки непрерывного стана в момент раскатки осуществляется при штатных нагрузках на рейку.

В седьмой главе приведены результаты внедрения сквозной технологии прокатки сверленных НЛЗ из коррозионно-стойких марок стали на ТПА с непрерывными станами с контролируемо-перемещаемой оправкой.

Внедрение методики способа контроля соосности клетей станов продольной прокатки и конструкции шпильконатяжителя для обеспечения жесткости стана, позволили снизить расход металла в условиях ТПА 159-426 АО «ВТЗ» на 4 кг/т.

Проведенный комплекс исследований с применением классических научных подходов, результаты которых приведены в главах 2-6, позволил впервые сформулировать теоретические основы новой технологии прокатки бесшовных товарных труб из непрерывно-литых заготовок коррозионно-стойких марок стали. Новая технология в условиях ТПА с непрерывными станами с контролируемо-перемещаемой оправкой позволяет осуществлять прокатку длинномерных труб специального назначения из коррозионно-стойких марок стали с высоким качеством внутренней и наружной поверхности, а также требуемым набором эксплуатационных свойств.

Диссертационная работа оформлена с использованием современных компьютерных средств набора и печати. Большинство рисунков выполнено с использованием компьютерной графики, что обеспечило их наглядность и чёткость. Язык изложения технически грамотный, в работе практически отсутствуют опечатки и другие дефекты орфографии.

ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ОПУБЛИКОВАНИЯ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ В НАУЧНОЙ ПЕЧАТИ

По материалам диссертации опубликовано 45 печатных работ, в том числе 12 в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, 8 в изданиях, входящих в наукометрические базы данных «Scopus» и «Web of Science», 1 монография, 10 патентов РФ и 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ АВТОРЕФЕРАТА ОСНОВНЫМ ПОЛОЖЕНИЯМ ДИССЕРТАЦИИ

Автореферат полностью отражает основные положения диссертационной работы, соответствует требованиям к его форме и объему.

ЗАМЕЧАНИЯ

1. Во второй главе при исследовании сопротивления пластической деформации стали 08Х18Н10Т было предложено математическое описание этой величины. Как определялся коэффициент, характеризующий влияние температуры на интенсивность разупрочнения металла во время паузы между деформациями и что влияет на интенсивность разупрочнения помимо температуры?

2. В главе 3 говорится. Что для гарантированного разделения контактных поверхностей трубы и контролируемо-перемещаемой оправки необходимо использовать смазочное вещество, представляющее собой сочетание графита и неорганических плавких солей, а далее утверждается, что для обеспечения высокого качества обработки внутренней поверхности стальных гильз, в том числе из коррозионно-стойких марок стали, а также высокой стойкости оправок непрерывного стана, смазочно-дезоксирующий материал должен иметь плавкий комбинированный состав, состоящий из неорганических плавких солевых смесей на основе щелочных фосфатов с боратными добавками, и не содержащий графит. Это взаимопротиворечащие утверждения.

3. В пятой главе приведены данные моделирования процесса исчерпания ресурса пластичности в прошиваемой заготовке с использованием, по видимому, понятия поврежденности. Обычно такие расчеты применяются для холодных процессов. Как учитывался процесс залечивания поврежденности при горячей прошивке?

4. Наличие рифления на поверхности рабочего конуса оправки позволило достичь прирост стойкости в 20 раз. С чем это связано?

5. В шестой главе в таблице №2, где приведен план эксперимента, используется термин «Скорость удержания оправки». Что означает эта величина и в каких единицах измеряется?

6. Прокатка патрубков из стали марки 08Х18Н10Т сопровождалась интенсивным утолщением стенки в зоне выпуска калибров в пределах от - 0,4 % до 46,8 %. Чем это объясняется?

7. Одной из важнейших характеристик кинематики процесса прокатки является положение нейтрального сечения x_γ (координата точки на контактной

поверхности с равенством скоростей деформируемого металла и валка). Происходит ли смещение нейтрального сечения от клетки к клетке непрерывного стана и в каком направлении?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Красикова Андрея Владимировича «Теоретические основы новой технологии прокатки товарных труб специального назначения из коррозионно-стойких марок стали на агрегатах с непрерывными станами с контролируемо-перемещаемой оправкой» выполнена на достаточном научно-техническом уровне, является самостоятельной законченной научной квалификационной работой и соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №335 от 21 апреля 2016 г., предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Красиков Андрей Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.4 – «Обработка металлов давлением».

Официальный оппонент,
доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения Российской академии наук, директор.
620049 г. Екатеринбург, ул. Комсомольская 34
Shveikin60@mail.ru
8 (912) 283 25 25
15.04.2024 г.

В.П. Швейкин

