

На правах рукописи

ЛЕПЕСТОВ АНТОН ЕВГЕНЬЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
ПРЯМОШОВНЫХ СВАРНЫХ ТРУБ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ**

Специальность 05.02.09. – Технологии и машины обработки давлением

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва - 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетного образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» на кафедре оборудование и технологии прокатки

Научный руководитель: Соколова Ольга Вадимовна
кандидат технических наук, доцент «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», кафедра оборудование и технологии прокатки

Официальные оппоненты: Самусев Сергей Владимирович
доктор технических наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»,
кафедра обработки металлов давлением

Акопян Карэн Эдуардович,
кандидат технических наук,
Институт металлургии и материаловедения
им. А.А. Байкова РАН,
Лаборатория пластической деформации
металлических материалов (№15)

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Московский политехнический
университет»

Защита состоится « » 2017 г. в _____ часов на заседании
диссертационного совета Д 212.141.04 при МГТУ им. Н.Э. Баумана по адресу
105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5., стр. 1.

Ваш отзыв на автореферат в 2-х экземплярах, заверенных печатью, просим
направлять по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и
на сайте www.bmstu.ru.

Телефон для справок 8(499) 267-09-63

Автореферат разослан « » 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук,
доцент



Семенов Вячеслав Иванович

Актуальность работы.

В настоящее время реализуется программа проектирования и строительства крупных российских и межконтинентальных трубопроводных систем для транспортировки нефти, и газа. Трубопроводы нового поколения – это грандиозные сооружения высокого уровня безопасности, надежности и эффективности. Одним из наиболее важных требований к современным трубопроводам является высокая пропускная способность, обусловленная увеличенными размерами внутреннего диаметра трубы и использованием высокого давления в трубопроводе (9,8 МПа и 11,8 МПа). Такие требования вызывают необходимость повышения толщины стенки труб, усовершенствование сварочных технологий. Эксплуатация трубопровода в условиях значительных перепадов температур, коррозионного воздействия и т.п., приводят к необходимости применения материалов для труб с повышенными показателями по коррозионной стойкости и по механическим характеристикам.

Для трубопроводов применяются электросварные трубы, технология производства которых предусматривает применение листового и рулонного штрипса и их формовку на турбоэлектросварочных агрегатах. Тенденция развития трубного производства предполагает освоение различных марок сталей, класс прочности которых повышается год от года. Так, наиболее востребованными сталими для производства высокопрочных труб являются стали классов прочности К52 – К60, К70, механические свойства которых удается достичь в процессе контролируемой прокатки. Листы и штрипс из этих сталей имеют значения предела прочности 510 - 690 МПа, ударной вязкости 100 – 120 Дж/см², относительного удлинения 22 – 23 %

Кроме механических и химических свойств ужесточаются требования к геометрическим параметрам труб: предельным отклонениям по толщине стенки; точности диаметра концов и диаметра трубы по ее длине, овальности, отклонению профиля поверхности трубы от теоретической окружности в районе сварного шва, прямолинейности труб и другие.

Предельные отклонения по наружному диаметру корпуса труб должны соответствовать $\pm 1,2$ мм, по толщине стенки $-0,8...+0,4$ мм. Овальность не должна превышать 1% от номинального наружного диаметра

В этих условиях перед заводами-производителями труб нефтегазового сортамента стоит сложная задача: на имеющемся оборудовании освоить производство труб с разными прочностными показателями. Не менее сложной задачей является создание нового формовочного стана, которая не может быть решена только с помощью разработки нового рабочего инструмента. Применение на конкретном агрегате валков с новой калибровкой только незначительно расширит сортамент труб из-за ограничений по энергосиловым параметрам оборудования. Основные же трудности связаны с внедрением новых, постоянно совершенствующихся марок трубных сталей с более жесткими комплексами

прочностных и пластических свойств. Для устойчивого процесса формования из заготовки бездефектной трубы при различных физико-механических свойствах материала необходимо правильно организовывать очаг деформации.

Объектом исследования

является технология и оборудование для производства прямошовных электросварных труб для магистральных трубопроводов, получаемых методом непрерывной формовки.

Предметом исследования

является технология формовки труб нефтегазового сортамента на турбоэлектросварочных агрегатах (ТЭСА).

Цель диссертационной работы:

Совершенствование процесса непрерывной валковой формовки, обеспечивающее производство труб из высокопрочных сталей для нефтегазовой отрасли на формовочных станах турбоэлектросварочных комплексов.

Для достижения указанной цели в работе решены следующие задачи:

Выработаны критерии оценки области применения выбранной технологии и оборудования в зависимости от свойств материала заготовки.

Определены рабочие области деформации при формообразовании трубной заготовки большого диаметра в зависимости от свойств материала трубы.

На основе математической модели и экспериментальных данных проведен анализ влияния технологических параметров на процесс формообразования трубной заготовки. Разработан алгоритм оценки влияния технологических параметров на стабильность процесса непрерывной валковой формовки трубной заготовки при заданном маршруте.

Определено влияние конструктивных параметров оборудования на стабильность процесса формовки трубной заготовки. Разработана методика оценки конструктивного исполнения, существующего или проектируемого оборудования ТЭСА для обеспечения заданной программы производства.

Научная новизна.

Адаптирована математическая модель непрерывной валковой формовки на базе программного комплекса COPRA[®] RF, которая позволяет получить полную картину процесса формообразования заготовки в трубу с учетом всех основных технологических и конструктивных параметров.

Обозначены допустимые поля напряжений и деформаций, возникающие в процессе формовки, обеспечивающие стабильный технологический процесс получения трубной заготовки и выполнения ее качественной сварки.

Выработаны критерии оценки области применения выбранной технологии и оборудования в зависимости от свойств материала заготовки. Определена рабочая область деформации при формообразовании трубной заготовки большого диаметра в зависимости от свойств материала.

Представлена логически обоснованная иерархия факторов, влияющих на процесс формообразования трубной заготовки.

Предложена уточненная формула для определения исходной ширины штрипса при производстве круглых и профильных труб.

Предложена уточненная формула для определения минимальной длины формовочного стана.

Впервые предложена методика исследования процесса формоизменения стальных труб в формовочном оборудовании, выполненный по технологии «Cage forming».

Практическая значимость и реализация результатов работы.

Результаты диссертационной работы внедрены в практическую деятельность инженерно-технологического центра АО «Выксунский металлургический завод» (ИТЦ АО «ВМЗ») и состоят в следующем:

Проведен анализ технологических параметров процесса производства труб диаметром 530мм и толщиной стенки 10 мм на формовочном стане ТЭСА 203 - 530 конструкции ЭЗТМ турбоэлектросварочного цеха №3 с целью выявления причин возникновения брака при производстве. Проведены исследования конструкции формовочного стана 203-530 и предложены рекомендации по реконструкции данного оборудования.

Рассчитаны технологические параметры процесса формовки для производства трубной продукции на формовочном стане 203-530 NAKATA FFX ТЭСЦ №3

Скорректирована калибровка валкового инструмента для формовочных станов ТЭСА 12,7-60, 20-76, 40-133 компании Olimpia (Италия) ТЭСЦ №2.

Внесены поправки в расчет исходной ширины штрипса для производства круглых и профильных труб в ТЭСЦ №2, позволяющие сократить расходы на металл, с общим положительным экономическим эффектом более 6 млн. рублей в год.

Доказана нецелесообразность использования станов с технологией гибкой формовки для массового производства нефтегазопроводных труб, особенно в тех случаях, когда участки гибкой формовки встраиваются в уже действующие производственные комплексы.

Авторская методика исследования позволила выявить несоответствие заявленных технических возможностей конструкции формовочного оборудования ТЭСА 355 «ADDA FER MECCANICA» (Италия) и калибровки валкового инструмента для производства прямошовных сварных труб на заводе ООО «Промышленно-Металлургический холдинг «Тагильская Сталь».

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на мероприятиях: Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии» (Москва, 2010 г.); Международный молодежный научный форум-олимпиада МГТУ им. Н.Э. Баумана, (Москва, 2010 г.); IV Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» (Москва, 2011 г.); IV международная конференция «Деформация и разрушение материалов

и наноматериалов» DFMN, (Москва, 2011 г.); V Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России» (Москва, 2012 г.); Пятая научно-практическая конференция молодых специалистов ОМК (Выкса, 2012 г.); Международная конференция «Технологии и оборудование для прокатного производства», (Москва, 2012 г.); 11-ая научно-техническая конференция «Новые перспективные материалы, оборудование и технологии для их получения», во время проведения 18-ой Международной промышленной выставки «Металл-Эспо'2012» - 1 место (Москва, 2012 г.); IV конференция молодых специалистов «Перспективы развития металлургических технологий» ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина» (Москва, 2012 г.)

Методы исследований и достоверность результатов

Процесс непрерывной валковой формовки трубной заготовки по разработанным автором методикам был исследован на промышленном оборудовании АО «Выксунский металлургический завод», ОАО «Газпромтрубинвест» (Волгореченский Трубный Завод), ООО «Волгоградский завод труб малого диаметра», ОАО «Новосибирский металлургический завод им. Кузьмина», ЗАО "Трубный завод «Профиль-Акрас» им. Макарова В.В.", Нижнетагильский трубный завод «Металлинвест».

Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, имеют теоретическое и практическое обоснование, они не противоречат имеющимся литературным данным. Достоверность результатов работы была подтверждена в промышленных условиях

Публикации.

По материалам диссертации было выполнено 12 публикаций, из которых 10 в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, общих выводов, библиографического списка из 118 наименования; изложена на 124 страницах машинописного текста, содержит 92 рисунка и 6 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, её научная новизна, теоретическая и практическая значимость

В первой главе проведен анализ современных способов получения трубных заготовок методом непрерывной валковой формовки, непрерывном сворачивании плоского штрипса в трубную заготовку на многоклетьевых валковых формовочных станах.

При всём многообразии возможных конструкций оборудования, формовочный стан, по мнению автора, можно условно разделить на несколько участков, отличающихся друг от друга конструкцией инструмента и его количеством, а, следовательно, и происходящими в трубной заготовке деформациями. В большинстве случаев предприятия используют стандартное оборудование,

в состав которого входит формовочные клети открытого и закрытого типа, отличающиеся конструкцией инструмента, количеством валков и их расположением в клети. Однако, тенденции современного рынка: расширение размерного ряда производимой продукции и марочного сортамента вынуждают искать пути перехода (адаптации) существующего оборудования, предназначенного для массового выпуска труб, на серийное производство продукции.

В связи с этим все большую популярность получает технология гибкой формовки под названием «Cage Forming». Суть данной технологии заключается в симбиозе существующих программных средств управления и использования так называемой универсальной калибровки валкового инструмента для формовки заданного диапазона размеров. Данная технология позволяет перейти с одного типоразмера на другой в считанные минуты, используя средства управления положением валкового инструмента.

На сегодняшний день в мире можно отметить три компании, которые уже продемонстрировали применение технологии гибкой формовки «Cage Forming» и приводят описание конструкции своих турбоэлектросварочных комплексов: Olimpia'80 (Италия), NAKATA (Япония) и SMS Meer (Германия), каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки, но в целом это очень сложное и дорогостоящее оборудование, которое необходимо детально изучать для того, чтобы иметь в дальнейшем возможность использовать полученную информацию для быстрой и рациональной перенастройки оборудования, а также сокращения расходов.

Во второй главе выполнен анализ теоретических основ выбора технологических параметров процесса непрерывной валковой формовки.

Рассмотрены существующие теории и методики для определения деформированного состояния трубной заготовки в процессе непрерывного формоизменения в валковых станах ТЭСА. Из анализа работ Ю.М. Матвеева, Б.Д. Жуковского, Ю.Ф. Шевакина, Г.А. Смирнова-Аляева и других исследователей, выявлены тенденции развития теории и практики турбоэлектросварочного производства, учитывающие деформационные, кинематические и энергосиловые параметры

В главе рассмотрены выполненные исследования и анализ деформированного состояния полосы в процессе формовки, впервые предложенные Г.Я. Гуном и развитые В.А. Рымовым и С.В. Самусевым, которые предполагали, что основное влияние на качество электросварных прямошовных труб и наличие дефектов формовки (гофрообразование, смещение и «крыша» кромок) оказывает величина упругопластической деформации полосы при одно- и многорадиусных системах калибровки трубной заготовки в очаге формовки.

При этом ни одна из рассмотренных методик не учитывает весь спектр параметров, влияющих на технологический процесс. Особенно это касается материала заготовки, ведь именно при переходе на трубные марки стали

возникли проблемы с производством прямошовных труб, в том числе для магистральных трубопроводов.

Третья глава посвящена обзору механических свойств сталей и сплавов, используемых в производстве труб для современных нефтегазопроводов, обоснованию целесообразности применения критерия пластичности и использования математического моделирования на базе программного комплекса COPRA[®]RF, которая позволяет проводить исследования процесса формообразования.

За последние десятилетия требования по пределу текучести трубных сталей возросли с 300-400 МПа (для класса прочности K42-K52) до 600 МПа (для класса прочности K65). Перспективными также являются стали для производства труб большого диаметра классов прочности X100-X120 с значением предела текучести 750-900 МПа.

Исходя из исследований поведения трубной заготовки из различных марок сталей для очага деформации предлагается вести «рабочую» область допустимых напряжений для высокопрочных и пластичных сталей (Рис. 1).

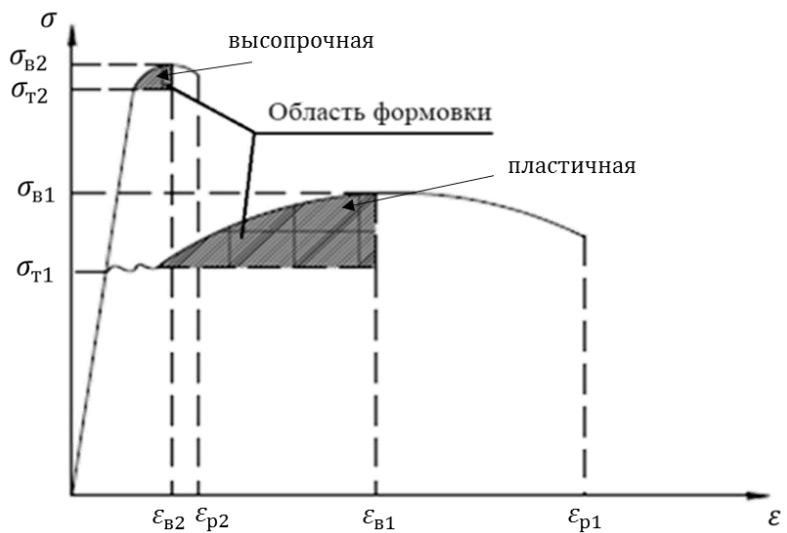


Рис. 1. Рабочая область напряжений при формообразовании трубной заготовки
В работе приведены исследования трех станов различных конструкций. Выявлены основные причины возникновения брака и нестабильности процесса при непрерывной прямошовной формовке в станах различной конструкции.

Исследования проводились автором с использованием математической модели, созданной на кафедре МТ-10 «Оборудование и технологии прокатки» МГТУ им. Н.Э. Баумана, на базе программного комплекса COPRA[®] RF, которая позволяет проводить исследования по анализу процесса формообразования и давать рекомендации инженеру, проектирующему технологический процесс и конструкцию оборудования для производства труб и профилей. Исходными данными для выбранной математической модели являются геометрия заданного профиля и свойства материала, а также технологические параметры процесса: расстояние между формовочными клетями, диаметры валкового инструмента

и его геометрия. Процесс непрерывной валковой формовки представляет собой постепенное сворачивание плоского штрипса в круглую заготовку путем прохождения через калибры рабочего инструмента - валков. Геометрические параметры калибра предварительно выбираются исходя их размеров и материала заготовки и располагаются согласно предварительно выбранному маршруту формовки.

Технологические переходы характеризуется последовательной схемой деформации трубы по переходам, изображенной в виде «цветка» (Рис. 2)

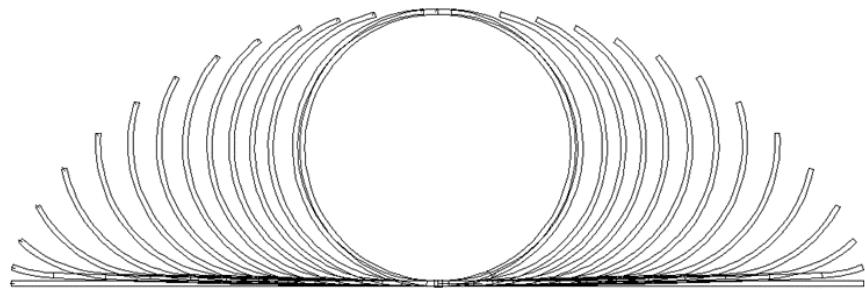


Рис. 2. «Цветок» -схема формовки

Данная схема формовки отображает этапы преобразования исходной заготовки – плоского штрипса, в готовое изделие – круглую трубу.

В четвертой главе приведена апробация математической модели на различных схемах производства трубной заготовки из высокопрочных марок сталей. По заданию АО «Выксунский металлургический завод» был проведен анализ причин повышенного износа валкового инструмента формовочного стана ТЭСА 203-530 АО «ЭЗТМ» и образования дефектов трубной заготовки из марки стали класса прочности К42 (предел упругости 240 МПа, предел выносливости 430 МПа, допустимое относительное удлинение 34%) для заданного маршрута формообразования.

Моделирование процесса позволило оценить картину поведения трубной заготовки, а также качественно оценить контактное взаимодействие трубной заготовки с валковым инструментом. Представлена картина контактного взаимодействия трубной заготовки и валкового инструмента (Рис. 3, а и б).

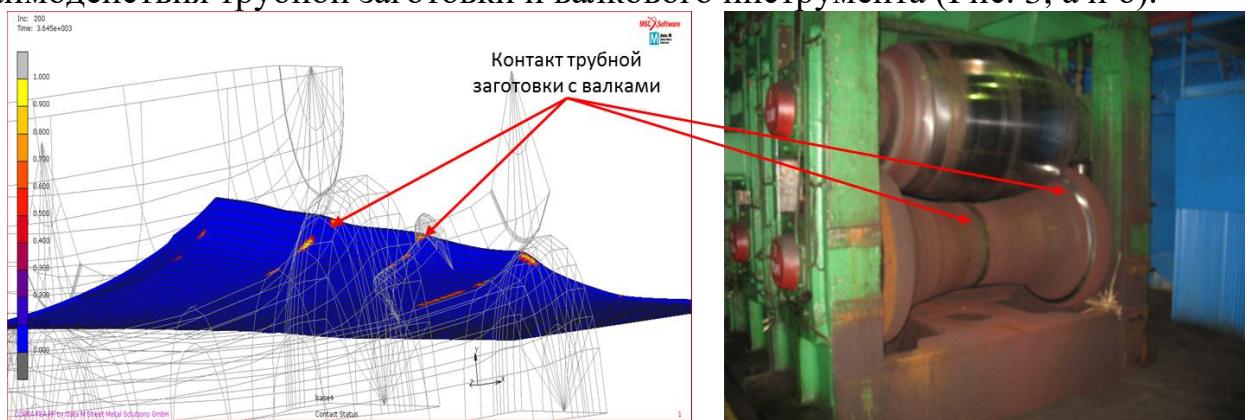
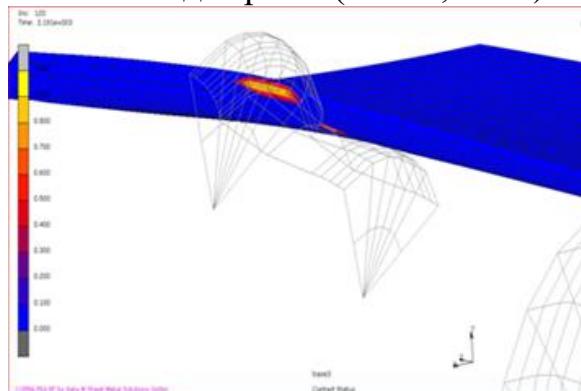


Рис. 3. Анализ контакта трубной заготовки с поверхностью формующих валков.

Аналогичную картину можно наблюдать при качественном сравнении численного эксперимента с натурным на примере взаимодействия трубной заготовки с эджерами (Рис. 4, а и б)



а



б

Рис. 4. Моделирование контакта эджерных валков с трубной заготовкой.

Причиной неравномерного износа явился местный контакт трубной заготовки с валковым инструментом, что привело к повышенному износу валков и удорожанию процесса производства (т.к. ориентировочная стоимость комплекта валков составляет не менее 3 млн. евро).

Особый интерес представляют результаты моделирования поведения трубной заготовки и характера распределения деформаций на каждом этапе формообразования на формовочном стане NAKATAFFX 203-530 АО «ВМЗ». Исходными данными являлась конструкция стана непрерывной роликовой формовки, выполненная согласно технологии FFX.

Были обнаружены изломы кромки трубной заготовки в межклетевом пространстве. Возможной причиной их образования являются знакопеременные нагрузки, которые возникают в результате пружинения трубной заготовки в межклетьевых промежутках (Рис. 5). Это явление требует дополнительных исследований.

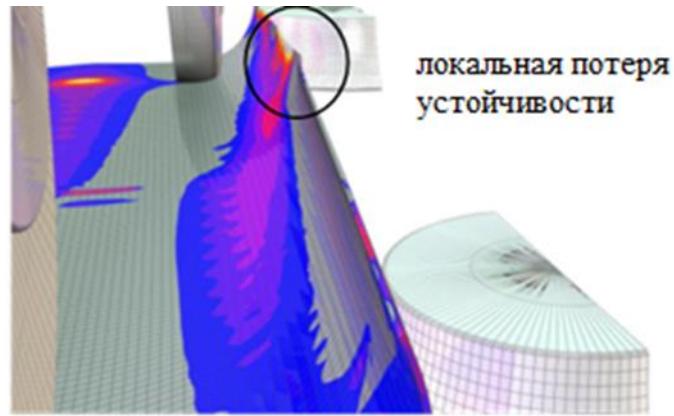


Рис. 5. Картина деформированного состояния трубной заготовки при производстве труб диаметром 530 мм с толщиной стенки 6 мм в межклетевом промежутке BD4 – RVS

При производстве данной трубы в формовочном стане NAKATAFFX 203-530 АО «Выксунский металлургический завод» данный излом был выявлен визуально (Рис. 6).



Рис. 6. Излом кромки в межклетевом пространстве BD4 – RVS

Даны рекомендации по внесению необходимых изменений в расположение валкового инструмента участка формовки NAKATAFFX для обеспечения стабильного процесса и качества получаемой трубной заготовки. Данный дефект был устранен.

На заводе ООО «Промышленно-Металлургический холдинг «Тагильская Сталь» был проведен комплексный анализ существующего формовочного стана «ADDA FER MECCANICA» (Италия) (Рис. 7).

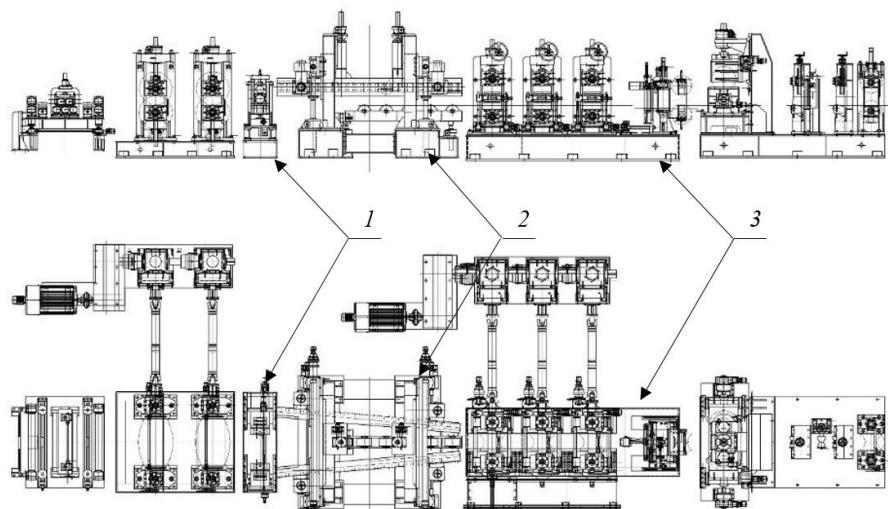


Рис. 7. Схема формовочного стана ТЭСА 355 «ADDA FER MECCANICA»:
1 – клети открытого типа; 2 – участок линейно формовки; 3 – группа клетей закрытого типа

Доказано, что для данной конструкции стана и калибровки рабочего инструмента при любых настройках трубная заготовка на участке линии формовки явно недоформована, что приводит к излому при заходе в первую клеть с закрытым типом калибра (Рис. 8, 9).

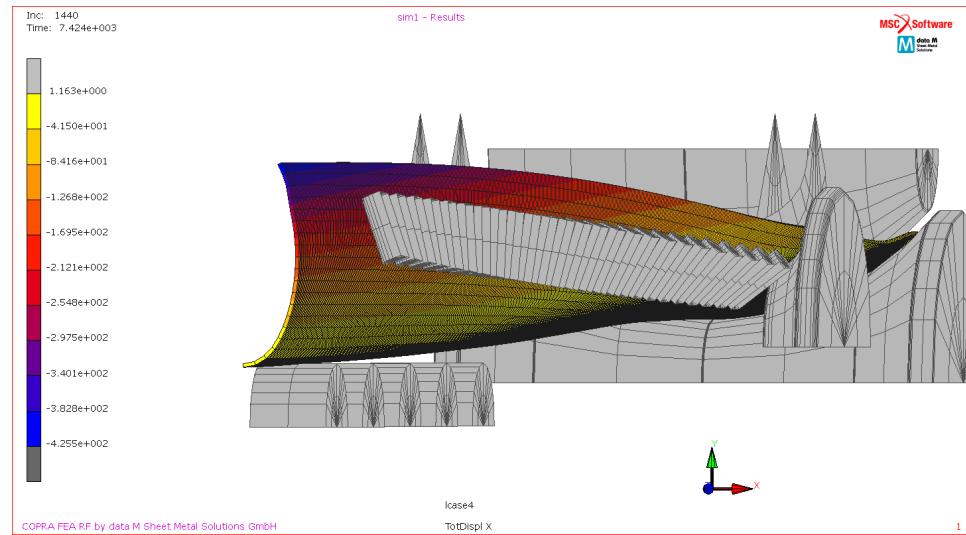


Рис. 8. Поведение трубной заготовки на участке 2

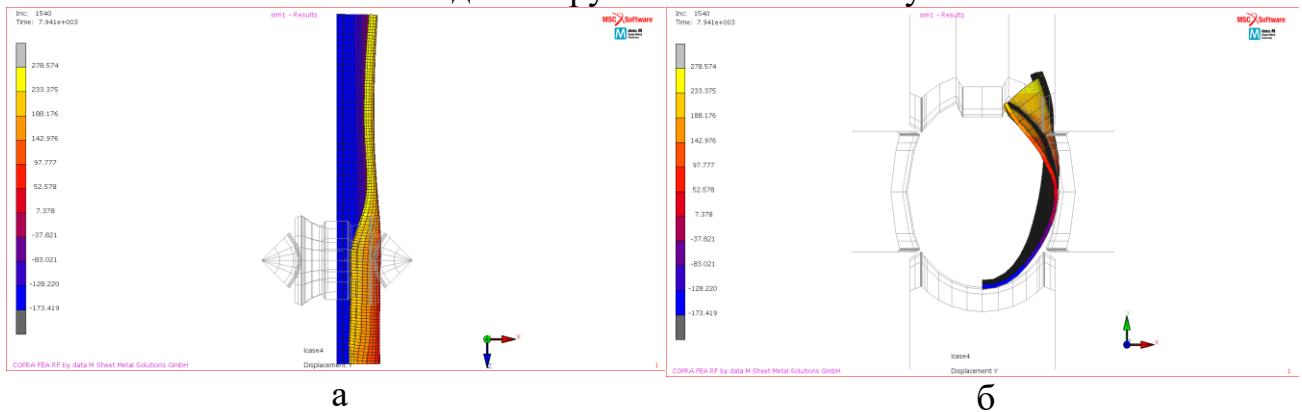


Рис. 9. Заход трубной заготовки в первую клеть с разрезной шайбой

Пружинение трубной заготовки приводят к повышенным нагрузкам на валковый инструмент и дестабилизации процесса формообразования.

Выявлены основные причины возникновения брака и нестабильности процесса при непрерывной прямошовной формовке в станах различной конструкции. Использование выбранной математической модели подтвердило возможность исследовать и корректировать технологические параметры процесса, а также конструкцию самого формовочного стана для достижения стабильного процесса производства труб заданного качества из заданных материалов для заданных типоразмеров труб без проведения дорогостоящих исследований, требующих значительных временных и материальных затрат.

В пятой главе приведено описание комплексной методики оценки формовочного оборудования для производства прямошовных сварных труб для магистральных трубопроводов.

При выборе конструктивных параметров формовочного стана и калибровки валкового инструмента предлагается учитывать прочностные характеристики материала, и проектировать очаг деформации трубной заготовки на основе «рабочей» области используемого материала заготовки. Очевидно, что один и тот же критерий для данных групп сталей работать не будет. Таким образом, выбор

критерия для расчета рациональных технологических параметров зависит от свойств материала.

Предлагаемая методика впервые основана на положении, что конструктивные параметры формовочного стана и калибровки валкового инструмента должны выбираться на основе прочностных характеристик используемого материала (Рис. 1).

Приведена схема выбора технологических параметров процесса при заданной конструкции стана которая позволяет решать производственные задачи и повысить качество получаемой трубной продукции. Исходными данными в данной схеме являются конструктивные параметры процесса формовки трубной заготовки (Рис. 10).



Рис. 10. Схема выбора технологических параметров процесса при заданной конструкции стана.

Предложена корректирующая формула по расчету исходной ширины заготовки с учетом осадки, обжатия и гибки полосы в клетях открытого и закрытого типа.

$$B = \pi \cdot (D_h + \Delta D_K) + k \cdot t + \varepsilon \cdot P_{K05} - m \cdot t - t \cdot \tan\varphi,$$

где $\pi \cdot (D_h + \Delta D_K)$ – наружный периметр трубной заготовки на выходе из сварочной клети, мм; $(k \cdot t)$ – величина осадки трубной заготовки в валках клети сварочной клети, мм; $(\varepsilon \cdot P_{K05})$ – величина обжатия по наружному периметру заготовки в группе клетей с закрытым профилем калибра, мм; $(m \cdot t)$ – изменение наружного периметра за счет гиба в группе клетей с открытым профилем калибра, мм; $(t \cdot \tan\varphi)$ – изменение наружного периметра за счет гиба в группе клетей с закрытым профилем калибра, мм.

В ходе исследований, посвященных влиянию конструктивного исполнения формовочного стана на стабильность процесса формообразования, была выявлена действительная зависимость максимальных продольных деформаций от длины формовочного агрегата для трубной заготовки диаметром 530 мм и толщиной стенки 10 мм. Зависимость идентична для любых материалов и соответствует уравнению:

$$\delta = 7 \cdot 10^{11} \cdot L^{-2,75}$$

Также выявлено, что только при соотношении $L/D \geq 40$ удается добиться качественной трубной заготовки из марок сталей повышенной прочности. Однако даже при выполнении указанного соотношения увеличенные горизонтальные расстояния приводят к обратному пружинению из-за упругих свойств металла в пространстве между клетями, что в свою очередь приводит к увеличению деформаций прикромочной области полосы трубной заготовки, например, появлению излома. При уменьшении межклетевого расстояния процесс становится стабильным и протекает без ярко выраженных дефектов

Таким образом, при использовании трубных марок сталей рекомендуется выставлять формовочные клети таким образом, чтобы межклетевое расстояние находилось в определённых пределах так для сталей класса прочности K50-52 $\Delta L_{\text{кл}} = 6..7 \cdot D_{\text{т}}$, для K54-56 - $\Delta L_{\text{кл}} = 3..5 \cdot D_{\text{т}}$, для сталей более высокого класса прочности выявление рекомендация требует дополнительных исследований.

Приведена методика выбора конструктивных параметров формовочного стана, которая позволяет выявить диапазон применения существующих формовочных линий трубоэлектросварочных агрегатов, так и возможности их модернизации (Рис. 11). Каждый из этапов исследований: расчет калибровки и математическое моделирование позволяют получить рекомендации для разработки технологии производства трубной заготовки на формовочном стане. Применение научно обоснованной методики позволит в разы повысить эффективность процесса и приведет к значительному снижению затрат на этапе освоения и дальнейшего производства новых типоразмеров прямошовных электросварных труб.

На первом этапе необходимо оценить конструктивные параметры получаемого трубного профиля (диаметр и толщина стенки) и формовочного оборудования (Рис.12): задаться количеством клетей и определить межосевое расстояние между ними, т.е. определяется длина формовочного стана. На основе полученных данных производится расчет калибровки валкового инструмента с учетом конструктивного исполнения оборудования – технологические параметры процесса формовки.

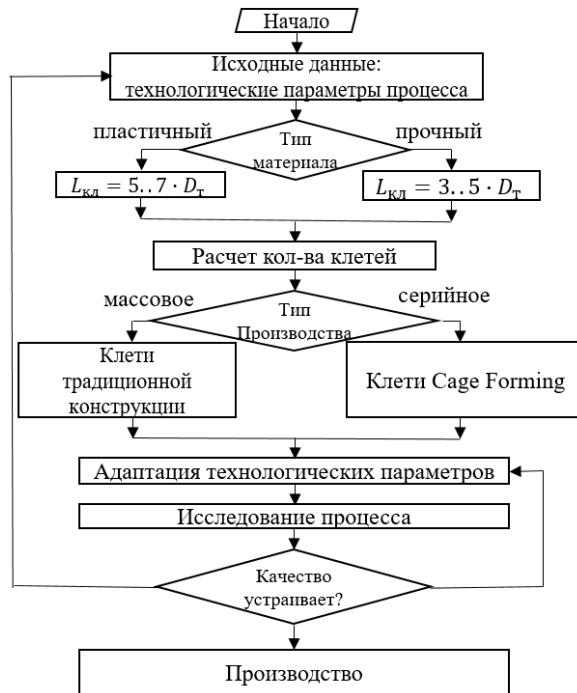


Рис. 11. Алгоритм выбора конструктивных параметров формовочного стана.



Рис. 12. Последовательность определения параметров процесса формовки
Оценка результатов моделирования происходит на основе полученных данных о деформациях, напряжениях и контактных взаимодействиях.

При неудовлетворительных результатах рекомендуется прежде всего изменить схему калибровки валкого инструмента, а затем перейти к пересчету параметров калибровки, в редких случаях, необходимо внести изменения в конструкцию формовочного стана.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ:

1. Разработана универсальная методика оценки технических возможностей формовочных станов различной конструкции, позволяющая с помощью разработанной автором модели процесса непрерывной валковой формовки определять основные параметры процесса формоизменения, границы возможностей агрегатов как по диапазону типоразмеров, так и по материалам заготовки как на стадии проектирования оборудования, так и для анализа

существующего оборудования, в том числе импортных агрегатов гибкой формовки.

2. Научно обоснован новый критерий стабильности процесса формообразования прямошовных сварных труб в зависимости от свойств материала заготовки, на основе которого определяются основные параметры процесса непрерывной валковой формовки - длина стана, количество клетей и конструкция валкового инструмента (калибровка). Определена рабочая область деформации при формообразовании трубной заготовки большого диаметра в зависимости от свойств материала трубы.

3. На основе выработанных критериев разработана методика определения технологических параметров формовочного стана, оценки формовочного оборудования турбоэлектросварочных агрегатов, которая позволяют определить исходные конструктивные параметры проектируемого агрегата с одной стороны и возможности реконструкции существующих агрегатов с другой.

5. Предложена уточненная формула для определения ширины исходной полосы.

6. Предложена уточненная формула для определения минимальной длины формовочного стана.

7. Комплексные исследования различных типов калибровок показали, что применение наиболее распространенной однорадиусной калибровки валков целесообразно только при изготовлении труб малого диаметра, а при формовке труб среднего и большого диаметра применение такой калибровки ведет к превышению допустимого значения удлинения кромки полосы и негативно влияет на качество сварного шва.

8. Определена зависимость максимальных продольных деформаций от длины формовочного агрегата для заготовки труб диаметром 530 мм и толщиной стенки 10 мм, используемых для нефтегазопроводов.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. Лепестов А.Е., Соколова О.В., Скрипкин А.Ю., Исследование влияния деформации клети с открытым профилем калибра на точность непрерывной формовки труб // Производство проката, № 5, С. 32-34. (0,375 пл. / 0,35 пл.)

2. Лепестов А.Е., Соколова О.В., Прогнозирование качества прямошовных сварных труб // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана, № 6. С. 7. (0,375 пл. / 0,35 пл.)

3. Лепестов А.Е., Соколова О.В., Скрипкин А.Ю., Уточнение методики расчета калибровки валков для производства сварных труб // Производство проката, № 5. С. 31-33. (0,375 пл. / 0,35 пл.)

4. Прогнозирование качества сварных прямошовных труб большого диаметра для магистральных газопроводов, полученных методом валковой формовки / А.Е. Лепестов [и др.] // Черная металлургия, № 5, С. 68-70. (0,375 пл. / 0,35 пл.)

5. Лепестов А.Е., Соколова О.В., Миронова М.О., Анализ способов модернизации трубных станов непрерывной валковой формовки прямошовных сварных труб // В сборнике: Современные тенденции в образовании и науке сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 26 частях. 2013. С. 121-122. (0,125 пл. / 0,1 пл.)
6. Лепестов А.Е., Соколова О.В., Моисеев А.А., Пути расширения технических возможностей оборудования для производства труб нефтегазового сортамента методом валковой формовки // Производство проката, № 4. С. 28-30. (0,375 пл. / 0,3 пл.)
7. Моделирование процессов валковой формовки труб АО «Выксунский металлургический завод» / А.Е. Лепестов [и др.] // Сталь, № 5. С. 67-70. (0,375 пл. / 0,225 пл.)
8. Лепестов А.Е., Соколова О.В., Новокшонов Д.Н., Анализ калибровки валкового инструмента при непрерывной валковой формовке труб // Производство проката, № 5. С. 25-27. (0,375 пл. / 0,225 пл.)
9. Лепестов А.Е., Соколова О.В., Новый метод определения длины стана при непрерывной валковой формовке // Производство проката, № 3. С. 25-27. (0,375 пл. / 0,35 пл.)
10. Лепестов А.Е., Новокшонов Д.Н., Соколова О.В., Оптимизация схемы формоизменения трубной заготовки путем моделирования // Сталь, № 7. С. 53-56. (0,375 пл. / 0,225 пл.)