

На правах рукописи



АЛЕШЕНКО АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА
СТАНОВ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ ГИЛЬЗ И ТРУБ**

Специальность 05.16.05 - “Обработка металлов давлением”

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2010

Работа выполнена на кафедре технологии и оборудования трубного производства Национального исследовательского технологического университета «МИСиС».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Романцев Борис Алексеевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Голубчик Р. М.

Московский энергетический институт (технический университет)

кандидат технических наук, Степашин А.М.

ОАО «Выксунский металлургический завод».

Ведущая организация:

ОАО "Электростальский завод тяжелого машиностроения"

Защита состоится « 28 » апреля 2010 г. в 14-00 на заседании диссертационного совета Д 212.132.09 при Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС» по адресу: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, дом 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИТУ «МИСиС».

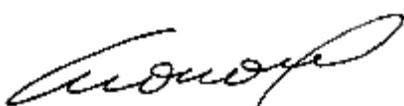
Автореферат разослан «___» марта 2010 г.

Справки по телефону: (495) 955-01-27

e-mail: irina@pdss.misis.ru

Ученый секретарь

диссертационного совета



Ионов С.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Наиболее распространенным способом получения гильз из сплошных заготовок является прошивка на станах винтовой прокатки. При оценке качества гильз и труб, получаемых винтовой прокаткой, основное внимание уделяют состоянию их поверхности и точности геометрических размеров. На практике наиболее распространенным и трудноустранимым видом брака бесшовных труб являются внутренние плены и трещины прокатного или металлургического происхождения. Возникновение их при прокатке в основном связано с центральным разрушением металла перед носком оправки во время процесса прошивки заготовок, вызванным специфическими условиями деформации металла в осевой зоне.

На качество гильз и труб также значительное влияние оказывает состояние прокатного инструмента. Оправки, рабочие валки и направляющий инструмент работают в тяжелых условиях при высокой температуре, давлении и циклическом нагреве и охлаждении, что приводит к образованию разгарных трещин, оплавлению и потере формы рабочих поверхностей. При этом немаловажное значение имеет расчетная калибровка технологического инструмента станов винтовой прокатки, которая помимо высокого качества гильз и труб должна обеспечивать рациональное формоизменение металла, получение необходимых геометрических размеров, достаточную износостойкость инструмента и производительность стана.

В связи с изложенным, разработка комплексной методики проектирования технологического инструмента станов винтовой прокатки с использованием современного программного обеспечения и систем автоматизированного проектирования является актуальной научно-технической задачей, решению которой посвящена настоящая работа.

Цели и задачи работы. Целью настоящей работы является разработка комплексной методики проектирования технологического инструмента на основании анализа результатов экспериментальных исследований процессов винтовой прокатки гильз и труб и использования современных систем автоматизированного проектирования.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- установить границы стабильного ведения процессов винтовой прошивки заготовок и раскатки гильз и основные факторы, определяющие эти границы;
- на основании результатов исследований и анализа технической литературы разработать комплексную методику расчета технологического инструмента;
- разработать систему проектирования технологического инструмента на базе САПР;
- спроектировать, изготовить и опробовать технологический инструмент станов винтовой прокатки гильз и труб;
- провести экспериментальные исследования процесса раскатки гильз в трубы на цилиндрической оправке в двухвалковом стане винтовой прокатки.

Научная новизна.

1. Разработана комплексная методика расчета технологического инструмента двухвалковых станов винтовой прокатки (валков, оправок, линеек, дисков), которая основывается на построении очага деформации, обеспечивающего стабильность ведения процесса прошивки;

2. На основании статистической обработки большого массива экспериментальных данных получена зависимость коэффициента осевой скорости течения металла от деформационных и настроочных параметров очага деформации и определен коэффициент кинематической

эффективности процесса винтовой прокатки, позволяющий учитывать скольжение металла в очаге деформации;

3. Определено рациональное распределение параметров формоизменения по длине очага деформации прошивного стана, исключающих образование дефектов прокатного происхождения;

4. На основании экспериментальных исследований определена область рациональных параметров процесса раскатки гильз в трубы в станах винтовой прокатки с направляющим инструментом на цилиндрических оправках.

Реализация результатов работы.

По разработанной методике спроектирован, изготовлен и внедрен технологический инструмент для прошивных и раскатных станов винтовой прокатки ТПА 20-40К Корейского политехнического института, ТПА 40-100К компании «Сечанг Стил» (республика Корея), ТПА 70-270 ОАО «Выксунский металлургический завод».

Усовершенствована конструкция водоохлаждаемых направляющих линеек стана винтовой прокатки с применением технологии их изготовления из углеродистых сталей и наплавкой рабочей поверхности жаропрочными сплавами на никелевой основе.

Разработан и запатентован оправочный узел стана винтовой прокатки, облегчающий операцию замены изношенных оправок (патент РФ №2354468 от 10.05.2009).

Результаты работы используются в учебном процессе в рамках курса «Технология трубного производства», при подготовке курсовых и дипломных проектов студентами, обучающимися по специальности 05.16.05 «Обработка металлов давлением».

Методы исследования. Для исследования процессов прошивки и раскатки на двухвалковом стане винтовой прокатки выбран экспериментальный метод прямого физического моделирования.

Использовались так же методы построения геометрических моделей очагов деформации с помощью системы автоматизированного проектирования (САПР) AutoCAD и SolidWorks.

Достоверность результатов. Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы теоретически и практически, базируются на данных, достоверность которых подтверждается использованием современных технических средств и оборудования, применением экспериментальных и теоретических методов исследования, результатами математической обработки данных с использованием вычислительной техники, промышленным апробированием.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертации доложены и обсуждены на: 63-и дни науки студентов МИСиС: международные, межвузовские и институтские научно-технические конференции (Москва, 2008); 64-и дни науки студентов МИСиС: международные, межвузовские и институтские научно-технические конференции (Москва, 2009); международной юбилейной конференции «Прогрессивные технологии пластической деформации» (Москва, 2009); научном семинаре кафедры ТОТП НИТУ «МИСиС» » (Москва, 2009); международной конференции «Трубы – 2009» (Челябинск, 2009).

Публикации. По теме работы опубликовано 5 статей в рецензируемых научно-технических журналах, получено 2 патента РФ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, изложена на 120 страницах машинописного текста, включающего 40 рисунков, 10 таблиц и библиографический список из 100 наименований отечественных и зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении дано обоснование актуальности темы, отражена цель и научная новизна.

В первой главе рассмотрены особенности процесса прошивки заготовок в двухвалковом стане винтовой прокатки. Проведен анализ работ, посвященных исследованию механизма центрального разрушения металла перед носком оправки и цикличности процесса прошивки. Особое внимание уделено точности геометрических размеров гильз, получаемых винтовой прокаткой, и влиянию на нее точности зацентровки, качества нагрева заготовки перед прошивкой. Рассмотрены силовые условия на контакте металла заготовки с рабочими валками, направляющим инструментом и оправкой. Проанализированы работы, посвященные влиянию формы оправок прошивного стана на процесс прошивки и качество гильз и труб.

Рассмотрены способы раскатки гильз в черновые трубы на станах винтовой прокатки и влияние технологических факторов на состояние поверхности и точность геометрических размеров черновых труб.

Анализ опубликованных работ позволил определить наиболее значимые деформационно-скоростные параметры процессов винтовой прокатки, а так же наличие нескольких основных методик расчета технологического инструмента прошивных станов. Процесс получения полых гильз винтовой прокаткой был запатентован в конце 19 века отцом и братьями Маннесманн, они определили основополагающие зависимости процесса прошивки и составили методику расчета технологического инструмента. В 40-х годах XX века П.Т. Емельяненко адаптировал методику расчета технологического инструмента к условиям производства на предприятиях СССР при углах подачи рабочих валков $4\dots6^0$. В 50-х годах проведенные И.А. Фомичевым исследования позволили внести изменения в расчет калибровки инструмента прошивного стана для работы

при углах подачи до $8\dots9^0$. В монографии Ю.М. Матвеева и Я.Л. Ваткина представлены методики расчета инструмента прошивных станов для различных трубопрокатных агрегатов. В их работе показано, что существует два основных подхода к расчету инструмента. Первый основан на выборе профиля рабочих валков, для которого затем разрабатывается калибровка прошивных оправок и направляющего инструмента. Вторая методика базируется на расчете некоторых параметров инструмента в соответствии с принимаемым законом формоизменения заготовки и последующем проектировании валков прошивного стана по этому закону, а затем уже разработку калибровки оправок и линеек. Однако предложенные методики не предполагают единого подхода к проектированию видов инструмента на основе зависимостей их размеров и конфигурации от основных технологических факторов процесса прошивки и параметров формоизменения металла в очаге деформации. В связи с этим авторами указанной работы высказывается пожелание «осуществить комплексную калибровку всего инструмента в целом, этот метод, несомненно, имеет ряд преимуществ, так как отвечает естественным условиям деформации металла одновременно всеми частями деформирующего инструмента».

Во второй главе приведены результаты экспериментальных исследований процесса прошивки заготовок на опытно-промышленном стане МИСиС-130Д, направленные на выявление рациональных параметров процесса прошивки и калибровок инструмента, влияющих на характер формоизменения и качество получаемых гильз.

С учетом технических характеристик оборудования и условий проведения эксперимента были выбраны основные факторы и пределы их изменения (таблица 1).

За скоростные и энергосиловые параметры (зависимые переменные) были приняты: время прошивки τ_m , шаг винтовой линии на наружной

поверхности гильз L_t , коэффициент осевой скорости η_o , коэффициент тангенциальной скорости η_t на выходе из очага деформации, усилие прокатки P , усилие металла на оправку Q .

Таблица 1. Пределы изменения основных факторов эксперимента

Фактор	Предел изменения	
	нижний уровень	верхний уровень
Угол подачи	10	15
Обжатие перед носком оправки U_0 , %	5	12
Обжатие в пережиме U_n , %	6	24
Коэффициент вытяжки μ	1,73	2,74
Коэффициент овализации ξ	1,05	1,2
Отношение $L_{опр}/D_{опр}$	0,8	3,0
Направляющий инструмент	Линейки	Диски

Наиболее варьируемым технологическим фактором в производственных условиях является коэффициент вытяжки, изменение которого осуществляется чаще всего в пределах от 1,7 до 3 и более. Для определения влияния коэффициента вытяжки на параметры процесса прошивали заготовки из стали марок 45 и 12Х18Н10Т диаметром 60 мм, длиной 300 мм при углах подачи 10, 12, 15° на оправках диаметром 38, 42, 46 и 50 мм, соответственно коэффициент вытяжки составил 1,73, 2,06, 2,43 и 2,74.

С повышением коэффициента вытяжки время прошивки увеличивается, составляя 3,25 с при $\mu = 1,73$ и 4,85 с при $\mu = 2,74$ ($\beta = 15^\circ$, сталь 45), при этом увеличиваются шаг винтовой линии на наружной поверхности гильзы и коэффициент осевой скорости в сечении выхода гильзы из валков, коэффициент тангенциальной скорости снижается. Повышение коэффициента вытяжки от 1,73 до 2,74 привело при угле подачи 15° к увеличению среднего шага винтовой линии от 43,9 до 48,5 мм, коэффициента осевой скорости от 0,80 до 0,82 и к уменьшению коэффициента тангенциальной скорости от 0,93 до 0,90. Полученные

зависимости объясняются перераспределением обжатий в очаге деформации.

При изменении коэффициента вытяжки были исследованы также и энергосиловые параметры процесса прошивки. Увеличение коэффициента вытяжки μ от 1,73 до 2,74 при угле подачи $\beta = 15^\circ$ приводит к росту усилия металла на валки и оправку на 20 и 42,3 % соответственно.

На практике в трубном производстве в качестве направляющего инструмента все чаще используются диски. Применение данного типа направляющего инструмента с одной стороны имеет ряд преимуществ, касающихся увеличения производительности прошивного стана и повышения качества поверхности, с другой стороны возникает ряд технологических особенностей, приводящих к повышенному браку и нарушению стабильности работы стана при получении тонкостенных гильз. В связи с этим дополнительно проводилось исследование зависимости параметров процесса прошивки при использовании различного направляющего инструмента от коэффициента вытяжки.

Исследование проводилось в диапазоне изменения μ от 1,5 до 3,5. Прокатку гильз из стали 20 с отношением $D_r/S_r < 9$ осуществляли по бочковидной схеме с использованием неприводных дисков диаметром 408 мм, прокатку тонкостенных гильз ($D_r/S_r > 9$) вели на дисках диаметром 600 мм.

Коэффициент вытяжки существенно влияет на параметры процесса прошивки и условия работы направляющего инструмента. Так, при прошивке заготовок диаметром 50 мм на дисках диаметром 408 мм с увеличением μ от 1,5 до 2,3 ($\beta = 15^\circ$, $\xi = 1,08$, сталь 45) скорость прокатки уменьшилась на 8,2 %, с 218 до 200 мм/с, а коэффициент осевой скорости изменился от 0,92 до 0,87; окружная скорость дисков снизилась на 18,5% со 194 до 158 мм/с. С увеличением коэффициента овализации ξ , протяженность зоны «отставания» диска от металла возрастает, причем

этот рост происходит в основном за счет увеличения длины контактной поверхности металла с диском в выходном конусе.

Прокатка тонкостенных гильз на дисках диаметром 408 мм протекала с большим «подъемом» по диаметру и нарушением условий окончания процесса из-за повышенной овализации заднего конца гильзы. Эти недостатки в основном были устранены при использовании в качестве направляющего инструмента дисков диаметром 600 мм.

При увеличении коэффициента вытяжки в ходе прокатки на стане с дисками от 2,4 до 3,0 коэффициент осевой скорости возрастает от 0,88 до 0,93; при прокатке в стане с линейками изменение μ от 2,26 до 3,5 сопровождается снижением η_0 от 0,79 до 0,77. Повышение μ сопровождается ростом овальности заготовки-гильзы в очаге деформации, особенно в выходном конусе.

Применение дисков как направляющего инструмента расширяет технологические возможности винтовой прокатки, так как позволяет осуществлять процесс при малой овализации очага деформации. Эксперименты показали, что процесс прошивки в стане с дисками стабильно протекает даже при коэффициенте овализации в пережиме близком к единице. Диски выступают как активно деформирующий инструмент, оказывающий значительное воздействие на металл.

Однако ведение процесса при $\xi = 1,0 \dots 1,02$ имеет существенные особенности: во время прокатки с обычным коэффициентом овализации $\xi = 1,10 \dots 1,20$ между оправкой и металлом в направлении линеек или дисков имеется зазор, в сечении пережима при $\xi = 1,10$ такой зазор составил 2...3 мм; при прошивке с $\xi = 1,01$ металл плотно охватывал оправку по всему периметру, что обусловливало обжатие металла направляющим инструментом на оправке, особенно в сечениях, близких к пережиму.

При уменьшении ξ от 1,15 до 1,0 осевое усилие на направляющий инструмент возросло с 3,2 до 4,1 кН, т. е. при использовании дисков в качестве направляющего инструмента и малой овализации вращение диска требует большего запаса сил, обеспечивающих тянувшей способностью рабочих валков.

При коэффициенте овализации менее 1,06 процесс прошивки в стане с линейками протекал нестабильно с нарушением условий первичного захвата.

С целью выявления рациональных размеров и формы прошивных оправок был проведен эксперимент по прошивке заготовок из стали 20 диаметром 60 мм в гильзы диаметром 52...72 мм с толщиной стенки 8...15 мм.

В частности были апробированы оправки со сферической и конической формой рабочего участка и различным углом образующей конуса раскатного участка при различном соотношении длин раскатного и сферического участков (таблица 2).

Таблица 2. Пределы изменения основных факторов калибровки сферических оправок и их положения в очаге деформации.

Фактор	Предел изменения	
	нижний уровень	верхний уровень
Диаметр оправки, мм	32	52
Угол образующей раскатного участка оправки, град	3	7
Длина раскатного участка оправки	$0,8 \cdot D_{\text{опр}}$	$2,8 \cdot D_{\text{опр}}$
Диаметр носка, мм	10	20
Выдвижение носка оправки за пережим валков, мм	-5	90

Из практики трубопрокатного производства известно, что наиболее рациональными с точки зрения износстойкости и стабильности процесса прошивки являются оправки со сферической рабочей частью. При этом условия скольжения металла в очаге деформации и волнистость поверхности гильзы определяется длиной сферической части, а так же

углом наклона образующей раскатного участка оправки и его длиной, который, в зависимости от угла выходного конуса валка, должен находиться в пределах от $4^\circ 30'$ до $7^\circ 30'$. Рациональная общая длина оправок, в зависимости от настройки прошивного стана (β , μ , U_o , U_n , ξ), может варьироваться в пределах от $1,5D_{опр}$ до $2,8D_{опр}$.

На основании анализа технической литературы и экспериментальных исследований установлено, что стабильное и эффективное ведение процесса прошивки характеризуется значениями коэффициента осевой скорости η_0 в сечении выхода металла из валков в диапазоне $0,76\dots0,92$, при этом количество циклов деформации в очаге n_n должно составлять не более $12\dots14$.

На основании обработки статистических данных и проведенных экспериментальных исследований, были получены регрессионные уравнения зависимости коэффициента осевой скорости металла в сечении выхода из валков при прошивке заготовок из углеродистой и легированной стали от факторов, для которых установлены границы для стабильного ведения процесса при углах подачи $12\dots16^\circ$ (обжатие заготовки перед носком оправки $U_0 = 5\dots8\%$ и в пережиме $U_n = 12\dots20\%$, коэффициент вытяжки $\mu = 1,7\dots2,8$ и овализации $\xi_n=1,06\dots1,18$) определяющих формоизменение металла и геометрию очага деформации:

для углеродистых сталей:

$$h_o = -0,63 + U_o^{0,156} + U_n^{0,164} + 0,07 \cdot x + 0,037 \cdot \left(\frac{D_o / D_1}{D_r / S_r} \right),$$

высоколегированных сталей:

$$h_o = -0,71 + U_o^{0,289} + U_n^{0,117} + 0,116 \cdot x + 0,068 \cdot \left(\frac{D_o / D_1}{D_r / S_r} \right).$$

Таким образом, на основе экспериментальных исследований были выявлены участки очага деформации и рациональные факторы и форма прокатного инструмента. Основными участками очага деформации

двуихвалкового прошивного стана, определяющими стабильность процесса и геометрические параметры гильз, являются: участки, расположенные между сечением встречи металла с валками и носком оправки, а так же линейками (первичный захват заготовки), сечением носка оправки и сечением выхода гильзы из контакта с раскатным конусом оправки и выходным конусом линеек (вторичный захват), указанным сечением и сечением выхода металла из валков (завершение формоизменения заготовки в гильзу и окончание процесса прошивки) (рисунок 1).

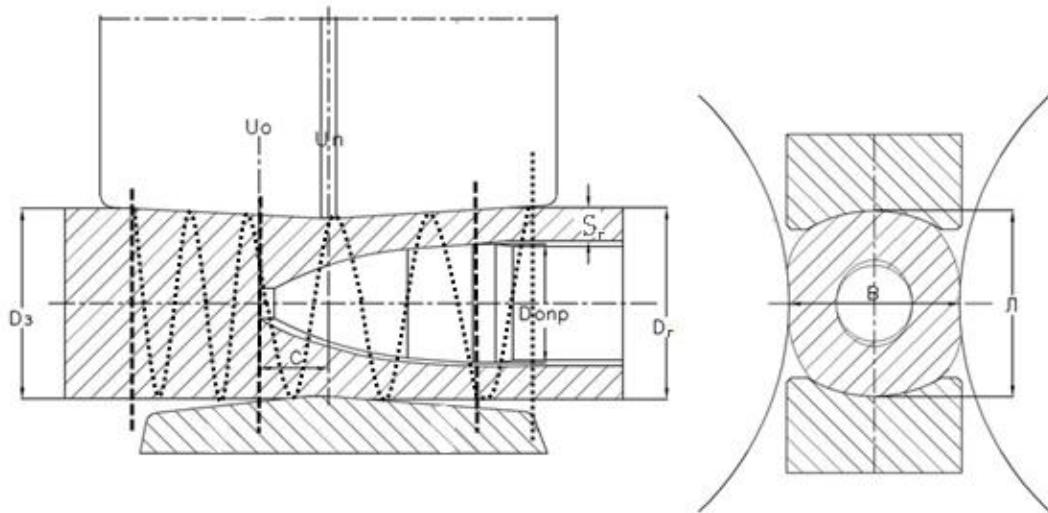


Рисунок 1. Схема очага деформации: D_3 – диаметр заготовки, D_r – диаметр гильзы, S_r – толщина стенки гильзы, С – выдвижение носка оправки за пережим валков, В – расстояние между валками в пережиме, Л – расстояние между линейками в пережиме.

Определение этих факторов и сечений является основой для расчета и проектирования калибровки прокатного инструмента прошивного стана.

В третьей главе дана оценка процесса прошивки по удельному расходу энергии с учетом скольжения металла в очаге деформации, определен коэффициент кинематической эффективности процесса

винтовой прокатки, рассмотрены особенности эксплуатации технологического инструмента двухвалковых станов винтовой прокатки, изложена разработанная методика проектирования технологического инструмента станов винтовой прокатки с направляющим инструментом, отличительной особенностью которой является комплексный подход к разработке и проектированию всего технологического инструмента. Приведены результаты внедрения разработанной методики проектирования инструмента для прошивных и раскатных станов винтовой прокатки различного типа и конструкции на предприятиях Российской Федерации и за рубежом.

Одним из основных критерииев процесса прошивки, используемых при проектировании трубопрокатных агрегатов, оценки энергопотребления процессов обработки металлов давлением и экономичности, является удельный расход энергии.

На удельный расход энергии при винтовой прокатке влияет ряд технологических факторов: коэффициент вытяжки, угол подачи, условия скольжения металла относительно инструмента на контактной поверхности очага деформации и др.

Расчет удельного расхода энергии включает в себя определение работы, совершающейся при получении заданного объема продукции. При таком расчете учитывается интенсивное скольжение металла относительно валков, которое, несомненно, влияет на уровень этого показателя. В зависимости от величины скольжения изменяются скорость прокатки, расход энергии и износстойкость инструмента.

Процесс прошивки протекает при скорости движения металла на поверхности гильзы значительно меньшей окружной скорости валка по длине контактной поверхности в независимости от применяемой валковой схемы.

Так как при изменении основных технологических факторов процесса прошивки и настройки очага деформации наблюдается незначительное изменение коэффициента тангенциальной скорости η_t , скольжение металла относительно рабочих валков, следовательно, и эффективность процесса прошивки предлагается оценивать с учетом значения коэффициента осевой скорости, рассчитанного по выведенному во второй главе регрессионному уравнению для η_o .

Однако использование значения коэффициента осевой скорости на выходе из очага деформации в качестве показателя скольжения металла по очагу деформации, также не является достаточно корректным. Для более точного определения уровня скольжения металла в очаге предложено дополнительно учитывать коэффициент осевой скорости на входе в очаг деформации $\eta_{o.ex}$:

$$h_{o.ex} = \frac{h_o}{m}.$$

Целесообразно так же ввести понятие показателя кинематической эффективности процесса винтовой прокатки, который отражал бы реальную картину ведения процесса прошивки, учитывал влияние скольжения металла в очаге деформации. Исходя из этого предлагается определять коэффициент кинематической эффективности процесса $\eta_{\text{э.п.}}$ по следующей зависимости:

$$h_{\text{э.п.}} = \frac{(h_o + h_{o.ex})}{2 \cdot h_m} = \frac{h_o \cdot (1 + m)}{2 \cdot m \cdot h_m},$$

В дальнейшем, при разработке технологического процесса и проектировании рабочего инструмента станов винтовой прокатки, рекомендуется проводить расчеты с учетом коэффициента эффективности процесса $\eta_{\text{э.п.}}$ и коэффициента осевой скорости η_o .

Обжатие заготовки перед носком оправки и в пережиме, коэффициенты овализации и вытяжки, от которых зависит скольжение

металла в очаге деформации, задаются таким образом, чтобы η_o превышал 0,76 (таблица 3), так как при выполнении этого условия, коэффициент кинематической эффективности процесса $\eta_{\text{э.п.}} > 0,5$.

Использование данных факторов в указанных пределах обеспечит высокую эффективность процесса прошивки при $0,76 < \eta_o < 0,92$ и $\eta_{\text{э.п.}} > 0,5$ с минимальным скольжением металла в очаге деформации, что существенно сократит машинное время прошивки и расход энергии, а так же улучшит показатели износостойкости рабочего инструмента.

Таблица 3. Предельные значения факторов эффективного процесса прошивки.

Фактор	Предел изменения	
	нижний уровень	верхний уровень
Обжатие перед носком оправки U_0 , %	5	8
Обжатие в пережиме $U_{\text{п.}}$, %	12	20
Коэффициент вытяжки μ	1,7	2,8
Коэффициент овализации $\xi_{\text{п.}}$	1,06	1,18

Проектирование рабочего инструмента станов винтовой прокатки базируется (рисунок 2) на геометрическом анализе очага деформации с учетом выявленных особенностей формоизменения для заданных факторов (β , μ , U_o , $U_{\text{п.}}$, ξ), обеспечивающих рациональные значения параметров процесса – η_o , $n_{\text{э.п.}}$. Расчет параметров процесса осуществляется при углах подачи рабочих валков $12\dots16^\circ$, так как на практике именно этот диапазон является наиболее рациональным. Очаг деформации рассматривается по шести основным характерным сечениям: сечению встречи прокатываемого металла с валком, сечениям положения носка оправки и участка пережима валков, а так же по сечениям выхода прокатываемого металла из контакта с направляющим инструментом, оправкой и валками.

Исходными данными для проектирования инструмента являются параметры таблицы прокатки: диаметр заготовки, диаметр и толщина стенки гильзы. Проводится выбор основных технологических факторов процесса винтовой прокатки (β , μ , U_o , U_n , ξ), на основании которых проектируется калибровка рабочих валков, оправок, направляющего инструмента. Критическими параметрами при оценке результатов проектирования являются: количество циклов в очаге деформации, которое не должно превышать 12...14, коэффициент осевой скорости в сечении выхода гильзы из валков, равный 0,76...0,92 и коэффициент кинематической эффективности процесса $\eta_{\text{э.п.}} > 0,5$.

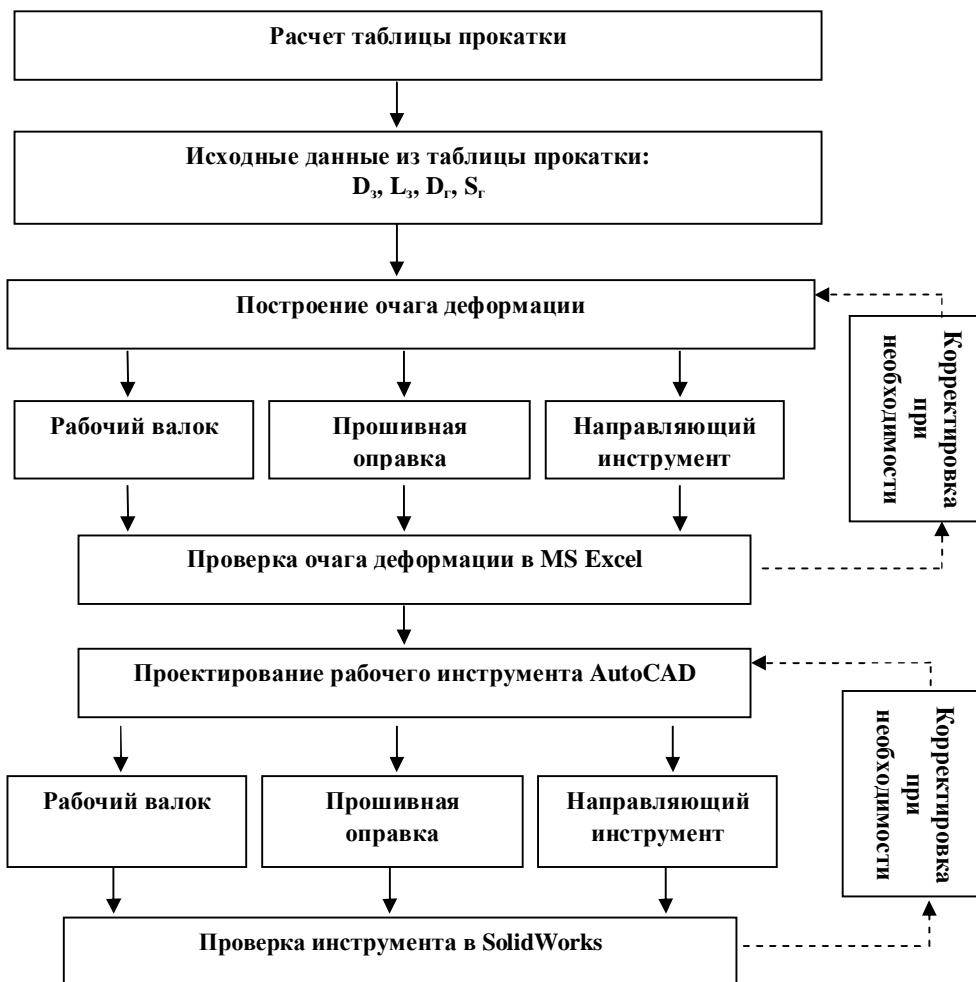


Рисунок 2. Блок-схема системы проектирования технологического инструмента стана винтовой прокатки.

Разработанная методика позволяет использовать валки, как биконической формы, так и многоконусной калибровки, основываясь на заданном сортаменте.

Расчет прошивной оправки заключается в построении рабочего профиля, подбора необходимой длины оправки в зависимости от характера процесса прошивки: с увеличением («подъемом») или уменьшением («посадом») диаметра гильзы. Для водоохлаждаемых оправок также проектируется внутренняя полость. Для обеспечения необходимой стойкости инструмента внутренняя полость строится с учетом отношения толщины стенки оправки S_i к ее диаметру D_i в любом поперечном сечении в пределах $0,25 \leq S_i/D_i \leq 0,3$.

На стадии разработки методики и исследования процесса прошивки были проанализированы способы крепления оправок на оправочном стержне. В промышленных условиях процесс замены изношенных оправок массой более 15...20 кг является трудоемким, занимающим много времени. Разработано и запатентовано (патент РФ №2354468 от 10.05.2009) крепление оправки на стержне с применением специального цангового зажима, его применение рекомендовано к использованию на ряде предприятий.

Большое внимание уделено исследованию условий работы направляющих линеек. Рабочая поверхность линейки при прошивке непрерывно соприкасается с горячим металлом, вследствие чего она нагревается до высоких температур, работая на истирание в контакте с горячим металлом и окалиной. При этом основным требованием к калибровке линеек, по существующим методикам проектирования, является обеспечение плотно закрытого калибра с рабочими валками во входном и выходном участках.

Предложено принимать ширину линейки на входе равной ширине в пережиме, так как во входном конусе очага деформации происходит

обжим сплошной заготовки и ее формоизменение не сопровождается затеканием металла в зазоры между валками и линейками. В выходном же конусе необходимо проектировать боковой профиль линеек, обеспечивающий плотно закрытый калибр с зазорами между валком и линейкой 2...3 мм.

После расчета калибровки осуществляется предварительное 3-х мерное моделирование очага деформации с учетом рассчитанных настроочных факторов. Полученная объемная модель очага деформации облегчает проверку результатов расчетов, исключая ошибки в проектировании. Так же, минуя сложные геометрические расчеты, возможно, провести практически любые пространственные измерения очага деформации и уточнить габаритные размеры технологического инструмента.

На основании проведенных экспериментальных исследований была усовершенствована конструкция и способ изготовления водоохлаждаемых линеек. Применение новой технологии изготовления линеек из стали 20 с наплавкой рабочей зоны жаропрочным материалом типа сплава ЭП-567 или ВЖ-98 позволило сократить затраты на инструмент, сделать линейки восстанавливаемым инструментом без применения технологий литья, повысить прогнозируемость износа и замены инструмента. Линейки данной конструкции внедрены на ТПА 70-270 ОАО «Выксунский металлургический завод».

Апробирование системы проектирования инструмента проходило при проектировании и изготовлении технологического инструмента для прошивных станов ТПА 20-40К Корейского политехнического института, ТПА 40-100К компании «Сечанг Стил» и ТПА 70-270 ОАО «Выксунский металлургический завод». Объединенный сортамент трех промышленных трубопрокатных агрегатов имеет широкий диапазон производимых труб диаметром от 20 до 270 мм с толщиной стенки от 5 до 30 мм.

Диаметральные размеры гильз, необходимых для получения труб на данных трубопрокатных агрегатах составляют 30...270 мм, с толщиной стенки 5...50 мм, что позволило проверить разработанную методику расчета технологического инструмента для двухвалковых станов винтовой прокатки при различных деформационно-скоростных и масштабных параметрах процесса прошивки, варьируя диаметральные размеры заготовок и гильз, отношения D_r/D_3 и D_r/S_r , углы подачи.

С помощью разработанной методики, реализованной в комплексной системе проектирования, основанной на применении современной САПР были проведены расчеты и выданы чертежи калибровок валков, оправок, линек и дисков, а также рассчитаны таблицы прокатки для прошивных станов.

На прошивных станах были получены гильзы с заданной точностью (допускаемое отклонение по диаметру $\pm 0,5\%$, по толщине стенки менее $\pm 5\%$). Точность полученных гильз является следствием рационального выбора технологических факторов процесса прошивки и проектирования инструмента по разработанной методике. Процесс прошивки всех типоразмеров гильз на трех прошивных станах протекал стablyно при значениях $\eta_o = 0,85...0,92$ в сечении выхода гильзы из валков, без перегрузки двигателей, излишних усилий на технологический инструмент и при высокой износстойкости.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований процесса раскатки гильз в трубы на станах винтовой прокатки с направляющим инструментом, при этом разработанная методика проектирования технологического инструмента распространена на проектирование инструмента для винтовой раскатки гильз в трубы.

Успешное использование методики расчета и проектирования рабочего инструмента прошивного стана позволило распространить ее на процесс раскатки в двухвалковых станах винтовой прокатки. Для сбора

статистических данных были проведены экспериментальные исследования.

Прокатка проводилась на опытно-промышленном двухвалковом стане винтовой прокатки МИСиС 130Д с бочковидными валками, имеющими угол входного конуса $2^{\circ}30'$, пережим шириной 20 мм и угол выходного конуса 3° . В качестве заготовки использовался пруток диаметром 60 мм из стали 20 длиной 300 мм. Нагрев заготовок осуществляли в камерной электрической печи до температуры $1150\ldots1200^{\circ}\text{C}$. После процесса прошивки проводили измерения размеров гильз: толщины стенки в шести точках по периметру, диаметра в двух взаимоперпендикулярных сечениях и длины. Были получены гильзы диаметром 58…73 мм с толщиной стенки 9…13 мм, которые в дальнейшем нагревали для раскатки до температуры $1050\ldots1100^{\circ}\text{C}$. После раскатки были выполнены замеры геометрических параметров готовых труб: толщины стенки переднего и заднего концов в шести точках по периметру, диаметров концевых участков и средней части и длины. По каждому из маршрутов прокатано по 3 трубы.

На опытно-промышленном стане была исследована технология получения тонкостенных труб в двухвалковом стане винтовой прокатки на цилиндрической удерживаемой оправке, которая заключается в прошивке заготовок в гильзы с «подъемом» по диаметру и последующей раскатке гильз в трубы на «посад» на удерживаемой цилиндрической оправке. Операции прошивки и раскатки осуществляются в двухвалковом стане винтовой прокатки с направляющими линейками. Калибровка линеек соответствует калибровке валков и обеспечивает минимальный зазор 2…3 мм между валками и линейками, необходимый для беспрепятственного вращения валков. Направляющие линейки создают закрытый очаг деформации и сдерживают развитие деформации в

тангенциальном направлении, что благоприятствует продольному течению металла в осевом направлении.

Была проведена раскатка гильз диаметром от 58 до 73 мм с толщиной стенки от 9 до 13 мм в трубы диаметром 54...65 мм с толщиной стенки 5,2...8,9 мм.

В результате опытных прокаток труб с отношением D_t/S_t равным 7...13 дефектов на наружной и внутренней поверхности не обнаружено. Для определения рациональных факторов процесса изменяли расстояние между валками, линейками, коэффициент овализации, обжатие по стенке при различных маршрутах прокатки. Процесс прошивки и раскатки при углах подачи 12...14° проходил стablyно. Коэффициент овализации изменяли в диапазоне от 1,08 до 1,13. Было отмечено, что при увеличении коэффициента овализации более 1,1 процесс раскатки протекает более стablyно.

Проведена статистическая обработка результатов измерения толщины стенки гильз и труб с целью оценки их точности при прокатке по предлагаемому способу. Поперечная разностенность занимает основную часть в общем допуске по толщине стенки, в связи с чем точность прокатанных труб оценивалась по этому параметру.

Поперечная разностенность труб, прокатанных по всем маршрутам, находилась в пределах 1,5...7,1 %. Установлено, что при разностенности гильз до 5% разностенность труб в процессе раскатки может как уменьшаться, так и возрастать и составляет 1,6...7,1 %, а при разностенности гильз 5...18,4 % разностенность труб соответственно снижается до 1,7...7,4 %.

Было отмечено характерное для раскатки на цилиндрической оправке уменьшение наружного диаметра труб относительно исходного диаметра гильз; оно составило 3,5...21,5 % в зависимости от режимов раскатки. Анализ характера изменения подъема наружного и внутреннего

диаметров при раскатке показал, что в основном изменение внутреннего диаметра трубы зависит от степени обжатия стенки, коэффициента вытяжки и количества циклов деформации в очаге раскатного стана.

Промышленные испытания исследованного на опытно-промышленном стане МИСиС 130Д процесса получения тонкостенных труб, проводились в условиях ОАО «Волжский трубный завод» на ТПА 50-200 ТПЦ-1.

Во время испытаний отрабатывалась технология раскатки черновых труб размером 176 x 7...12 мм ($D_t/S_t = 14...25$) из стали марки 35 с использованием исходной катаной заготовки диаметром 165 мм. Опытная технология производства труб отличалась от традиционной технологии ТПА 50-200 тем, что в качестве раскатного стана использовалась действующая линия раскатного стана с установленной двухвалковой клетью на место трехвалковой. Операции нагрева, зацентровки заготовки, прошивки заготовки в гильзу, подогрев и калибрование черновой трубы производились во время испытаний без корректировки, в штатном режиме.

Для осуществления процесса раскатки по двухвалковой схеме использовали клеть обкатного стана с профилированными линейками, которые вместе с валками образовывали замкнутый калибр. Калибровка рабочих валков для опытной прокатки выполнена с углом входного конуса 6° , калибрующим пояском длиной 90 мм и выходным конусом 3° , а линейки выполнены с углом входного и выходного участков 8° и 6° соответственно.

Были прокатаны трубы диаметром 176...178 мм с толщиной стенки от 7 до 12 мм и $D/S \leq 25$.

Процесс раскатки на двухвалковом раскатном стане на цилиндрической неподвижной оправке протекал стабильно, наличие раструбов и разрывов на концевых участках не наблюдалось.

Отмечено, что при прокатке труб на пониженных оборотах, передние концы труб имели гладкую, ровную поверхность, а при увеличении частоты вращения рабочих валков до 200 об/мин на трубах появлялась повышенная волнистость из-за бieniaия оправочного стержня и трубы в роликах центрователей.

При визуальном осмотре на наружной поверхности по всей длине труб имелась волнистость с шагом 90 мм. Глубина внутренней спирали составила 0,4...0,6 мм. Поперечная разностенность прокатанных труб находилась в пределах 6...12%.

Промышленные испытания показали возможность процесса прокатки тонкостенных труб с отношением $D/S \leq 25$ в двухвалковом стане.

Выводы:

1. На основании исследований и анализа технической литературы установлены границы стабильного ведения процессов винтовой прошивки заготовок и раскатки гильз из углеродистой и легированной стали. Определены крайние значения обжатия заготовки перед носком оправки $U_0 = 5...8\%$ и в пережиме $U_{\pi} = 12...20\%$, коэффициентов вытяжки $\mu = 1,7...2,8$ и овализации $\xi_{\pi} = 1,06...1,18$ для эффективного ведения процесса прошивки при углах подачи 12...16°.

2. Разработана комплексная методика расчета технологического инструмента и установлена зависимость коэффициента осевой скорости течения металла от деформационных параметров и настройки очага деформации. Определено значение коэффициента кинематической эффективности процесса винтовой прокатки $\eta_{\phi,\pi} > 0,5$, при котором коэффициент осевой скорости в сечении выхода металла из очага деформации составляет $\eta_o = 0,76...0,92$.

3. Разработана система проектирования технологического инструмента станов винтовой прокатки, включающая расчет таблицы прокатки, параметров процесса прошивки и геометрии инструмента

(рабочих валков, оправок и направляющего инструмента) с применением современных САПР AutoCAD и Solidworks для проектирования и проверки результатов.

4. Спроектирован, изготовлен и внедрен инструмент прошивных и раскатных станов винтовой прокатки для предприятий Российской Федерации и зарубежных фирм. Разработана и внедрена новая конструкция водоохлаждаемых многократно восстанавливаемых направляющих линеек, обеспечивающих повышенную износостойкость рабочих поверхностей и высокое качество получаемых гильз и труб по состоянию наружной поверхности.

5. Выполнены экспериментальные исследования процесса раскатки гильз в трубы в двухвалковом стане винтовой прокатки, на основании которых разработана и испытана технология раскатки гильз на цилиндрической оправке в промышленных условиях.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Исследование процесса прошивки в двухвалковом стане винтовой прокатки / А.С. Алещенко, И.И. Лубе, Д.В. Богатырев и др. - // Известия ВУЗов. Чёрная металлургия. - М. : МИСИС, 2008. - №7. - С. 20-23.

2. Повышение износостойкости оправок прошивного стана / Б.А. Романцев, О.К. Матыко, А.В. Гончарук, А.С. Алещенко, А.В. Поливец. - // Известия ВУЗов. Чёрная металлургия. - М. : МИСИС, 2008. - №10. - С. 16-19.

3. Анализ теплового и напряженного состояния оправки при прошивке / А.В. Белевич, О.К. Матыко, А.С. Алещенко и др. - // Известия ВУЗов. Чёрная металлургия. - М. : МИСИС, 2008. - №11. - С. 11-14.

4. Освоение технологии производства бесшовных труб в ОАО «Выксунский металлургический завод. / Б.А.Романцев, А.В. Гончарук,

В.Я. Зимин, В.П. Пахомов, А.С. Алещенко, О.К. Матыко. - // Сталь. – М.: 2009. - № 9. – С. 64-66.

5. Исследование процесса прошивки заготовок в двухвалковом стане винтовой прокатки в гильзы с «подъемом» по диаметру. И.И. Лубе, А.С. Алещенко. - // Прогрессивные технологии пластической деформации, 2009

6. Исследование процесса получения тонкостенных горячекатанных труб на стане винтовой прокатки. / Романцев Б.А., Гончарук А.В., Алещенко А.С., Лубе И.И. // Труды XVII международной научно-практической конференции "ТРУБЫ-2009"