

На правах рукописи



ГАМИН ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ
ПРОКАТКИ ПОЛЫХ ЗАГОТОВОК С ДНОМ МАЛОГО ДИАМЕТРА

Специальность 05.02.09 – «Технологии и машины обработки давлением»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 2017

Работа выполнена на кафедре Обработка металлов давлением (ОМД) в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Романцев Борис Алексеевич

Официальные оппоненты: **Коробова Наталья Васильевна**
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО
«Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», зав. кафедрой «Системы пластического деформирования»

Минтаханов Михаил Алексеевич
кандидат технических наук, ОАО «ЭЗТМ», начальник
конструкторского бюро перспективного проектирования

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет»

Зашита состоится «07» июня 2017 года в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.132.09 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по адресу: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, дом 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИТУ «МИСиС» и на сайте <http://www.misis.ru>.

Автореферат разослан «___» апреля 2017 года

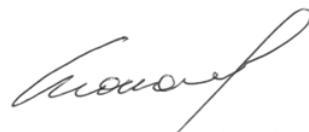
Справки по телефону: 8 (495) 955-01-27

E-mail: vachiyan@yandex.ru

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.132.09

кандидат технических наук, доцент



Ионов С.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Широкое применение в машиностроительной и других отраслях промышленности находят полые заготовки малого диаметра различного назначения (полые оси, втулки, поршни, муфты, корпуса и др.). На данный момент такие детали получают из сплошных заготовок путем холодной штамповки на прессовом оборудовании, либо полностью механической обработкой.

Технология холодной штамповки полых заготовок представляет собой многопереходной процесс с промежуточными операциями термической обработки, что предопределяет низкую производительность, отсутствие автоматизации полного цикла производства и ограничивает марочный сортамент изделий.

Получение полых деталей машиностроения путем механической обработки также имеет ряд недостатков, главным из которых является низкий коэффициент использования металла (0,3...0,4).

Одним из способов пластической деформации, позволяющим снизить объем механической обработки является прошивка в станах винтовой прокатки, которая дает возможность приблизить форму заготовки к форме готовой детали.

В то же время при производстве коротких полых заготовок с дном малого диаметра для обеспечения высокого качества продукции необходимо учитывать специфические особенности неустановившегося процесса пластической деформации. Оборудование для реализации технологического процесса должно обладать высоким быстродействием и достаточной жесткостью. Все это обуславливает проведение теоретических и экспериментальных исследований по разработке эффективной технологии и комплекса оборудования для производства полых заготовок с дном малого диаметра деталей машиностроительной отрасли.

Цель и задачи работы.

Целью диссертационной работы является разработка технологии и оборудования для горячей прокатки полых заготовок с дном диаметром 30...60 мм.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- разработать схему технологического процесса производства полых заготовок с дном малого диаметра и выбрать основное оборудование для ее реализации;
- провести анализ температурно-деформационных условий технологии с учетом вспомогательных операций;
- на основании компьютерного моделирования и экспериментальных исследований разработать технологические режимы процессов прошивки и калибрования;
- выполнить проектирование и расчеты специальной конструкции оборудования прошивного стана и калибровочного пресса;
- разработать методику определения размеров исходной заготовки и полуфабрикатов полых заготовок и выполнить проектирование технологического инструмента.

Научную новизну работы составляют:

- технологические режимы, разработанные в результате компьютерного моделирования и экспериментальных исследований процесса получения полых заготовок с дном диаметром 30...60 мм на трехвалковом стане винтовой прокатки. Установлено, что процесс прошивки на оправке, приближенной к форме пуансона, протекает стабильно при обжатии заготовки по диаметру 12...14 %, при этом обжатие перед носком оправки также составляет 12...14 %. При калибровании на прессе протяжкой полой заготовки на пуансоне через кольцо обжатие по толщине стенки должно быть в пределах 6...8 % (пат. № 2596519 РФ, МПК B21B19/06. Способ винтовой прокатки

полых заготовок с дном; пат. № 2600594 РФ, МПК B21K21/06. Способ изготовления заготовок в форме стакана из прутка);

– результаты компьютерного моделирования процесса прошивки полых заготовок с дном диаметром 31,5 и 36 мм в программном комплексе DeForm 3D, которые показали, что скорость охлаждения поверхности заготовок составляет 10,7...18,8 град/с, осевое усилие металла на оправку достигает 0,3 от усилия металла на валок. При этом процесс прошивки протекает при неустановившемся режиме;

– оригинальная конструкция быстродействующего оборудования трехвалкового стана винтовой прокатки и механического пресса, обеспечивающая формоизменение полых заготовок с дном массой 0,5...2,5 кг с одного нагрева (пат. № 2595182 РФ, МПК B21B19/04. Устройство для изготовления цилиндрических заготовок формы стакан);

– методика проектирования заготовки и полуфабрикатов полых изделий, обеспечивающая повышение коэффициента использования металла до 0,5...0,75.

Практическая значимость работы:

– создано и внедрено высокопроизводительное оборудование для горячей прокатки полых заготовок с дном малого диаметра;

– разработана методика проектирования исходной заготовки и полуфабрикатов, обеспечивающая повышение коэффициента использования металла до 0,5...0,75;

– разработана методика проектирования калибровок технологического инструмента прошивного стана винтовой прокатки и механического пресса;

– на основании теоретических и экспериментальных исследований даны практические рекомендации по выбору материалов инструмента для повышения его износостойкости;

– результаты, представленные в диссертационной работе используются в учебном процессе на кафедре Обработка металлов давлением

НИТУ «МИСиС» в рамках курсов «Автоматизированное проектирование машин» и «Автоматизированное компьютерное проектирование» (направления подготовки 15.03.02 и 15.04.02 «Технологические машины и оборудование»).

Методы исследований.

Теоретические исследования проведены на основе положений теории обработки металлов давлением. Анализ температурно-деформационных условий процессов технологического цикла осуществлен с использованием МКЭ моделирования операций нагрева, охлаждения, прошивки и калибрования в программном комплексе DeForm 3D.

Экспериментальные исследования прокатки полых заготовок с дном выполнены на опытно-промышленном стане винтовой прокатки МИСиС-130Д и автоматизированной линии винтовой прокатки (АЛВП), в состав которой входят трехвалковый прошивной стан винтовой прокатки «30-80» и механический пресс. Анализ полученных результатов выполнен с использованием регистрирующей аппаратуры, измерительных приборов и применением прикладного программного обеспечения MS Excel.

Расчеты и разработка конструкции оборудования АЛВП осуществлены на основе полученных экспериментальных данных и общих положений проектирования и конструирования metallургических машин с применением прикладного программного обеспечения SolidWorks 3D и AutoCAD.

Достоверность результатов подтверждается использованием современных методов исследования, включающих моделирование с применением МКЭ в программном комплексе DeForm 3D, физические эксперименты, выполненные на опытно-промышленных прошивных станах МИСиС-130Д и АЛВП с использованием современной регистрирующей аппаратуры, качественным и количественным согласованием результатов виртуальных и физических экспериментов.

Основные положения, выносимые на защиту:

- технология производства полых заготовок с дном диаметром 30...60 мм и конструкция оборудования автоматизированной линии винтовой прокатки для ее реализации;
- технологические режимы процесса прошивки в трехвалковом стане винтовой прокатки и калибрования в механическом прессе полых заготовок с дном диаметром 30...60 мм, разработанные на основе МКЭ моделирования и экспериментальных исследований;
- методика проектирования технологической оснастки и инструмента для горячей прошивки и калибрования полых заготовок с дном диаметром 30...60 мм;
- методика определения размеров исходной заготовки и полуфабрикатов полых заготовок, позволяющая повысить коэффициент использования металла.

Реализация работы.

Предложенные рекомендации по выбору технологических параметров и проектированию оборудования использованы для разработки технологического процесса и оборудования автоматизированной линии винтовой прокатки (АЛВП). Разработанный технологический процесс обеспечивает рост производительности в 2-3 раза, повышение коэффициента использования металла до 0,5...0,75 и существенное снижение себестоимости продукции в сравнении с технологией механического точения, а также снижение общей массы оборудования по сравнению с технологией холодной штамповки на прессах.

Личный вклад состоит:

- в выполнении экспериментальных исследований процессов прошивки и калибрования полых заготовок с дном диаметром 30...60 мм и анализе полученных результатов;
- в проектировании рабочего инструмента, технологической оснастки и узлов оборудования автоматизированной линии винтовой прокатки,

позволяющей получать изделия с заданными размерами и механическими свойствами;

- в разработке методики определения размеров исходной заготовки и полуфабрикатов полых заготовок согласно технологическому процессу;
- в выполнении компьютерного моделирования процесса прошивки и калибрования полых заготовок с дном и сопоставлении результатов моделирования с результатами экспериментальных исследований;
- в разработке технологических режимов процессов прошивки и калибрования.

Апробация работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- научно-техническая конференция «Перспективные материалы и инновационные технологии металлообрабатывающих и заготовительных производств предприятий отрасли боеприпасов» (Москва: ОАО «НПО «Прибор», 2013);
- студенческая научно-техническая конференция «68-е дни науки студентов НИТУ «МИСиС» (Москва: НИТУ «МИСиС», 2013);
- XX международная промышленная выставка «Металл-Экспо 2014», премия «Молодые ученые» (Москва: ВВЦ, 2014);
- международный научно-технический конгресс «ОМД 2014. Фундаментальные проблемы. Инновационные материалы и технологии» (Москва: НИТУ «МИСиС», 2014).

Публикации.

Основное содержание диссертационной работы отражено в 3 печатных работах, в том числе в 3 изданиях, рекомендованных ВАК РФ и в 3 патентах РФ.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, основных выводов, и списка использованных источников из 72 наименований отечественных и зарубежных

авторов. Текст диссертации содержит 151 страниц машинописного текста, включающего 19 таблиц и 83 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, описаны ее научная новизна, практическая значимость и реализация работы; приведены положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации работы, публикациях, структуре и объеме диссертации.

В первой главе проведен сравнительный анализ существующих процессов производства полых заготовок с дном малого диаметра, представлено их описание, выделены достоинства и недостатки.

В главе описаны способы получения полых заготовок с дном, основными из которых являются способ холодной многопереходной штамповки на прессах и механического точения из прутка на автоматических и полуавтоматических металлорежущих станках. Установлено, что существующие способы и оборудование для их реализации не обеспечивают требуемой производительности, и, к тому же, являются малоэффективными с точки зрения энергозатрат и экономичности. Принимая во внимание данные факты, формулируется цель по разработке новой технологии и оборудования для получения полых заготовок с дном малого диаметра, основанного на способе горячей винтовой прошивки.

Отмечены так же особенности резки и зацентровки исходных заготовок, нагревательного оборудования и процесса нагрева исходных заготовок перед пластической деформацией.

Рассмотрены условия работы технологического инструмента и приведены данные по использованию различных материалов и технологических смазок на основании чего сделаны выводы о способах повышения износостойкости инструмента.

На основании работ отечественных и зарубежных ученых выявлены факторы, влияющие на точность размеров получаемых полых заготовок с дном, что определило основное направление исследований в работе.

Вторая глава посвящена экспериментальным исследованиям процесса прошивки полых заготовок с дном диаметром 30 и 65 мм массой 0,5...2,5 кг на базе оборудования кафедры ОМД НИТУ «МИСиС». Эксперимент выполнен на прошивном стане МИСиС-130Д (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные и параметры проведения эксперимента

Наименование параметра	Диаметр полых заготовок с дном	
	30 мм	65 мм
Диаметр исходной заготовки, мм	31	65
Длина исходной заготовки, мм	85	170
Материал исходной заготовки	Сталь 50	C60
Диаметр зацентровочного отверстия, мм	12	22
Глубина зацентровочного отверстия, мм	7...8	8...10
Температура нагрева исходных заготовок, °С	1150	1160
Время нагрева исходных заготовок, мин	15...20	40...50
Диаметр рабочих валков в пережиме, мм	430	
Диаметр оправки, мм	19,5	30
Материал оправки	Сталь 4Х5МФС	
Расстояние между валками в пережиме В, мм	26,2	57,8
Расстояние между линейками Л, мм	29,5	65
Выдвижение оправки за пережим валков С, мм	17	45
Коэффициент овализации ξ	1,12	1,12
Угол подачи рабочих валков β , градусов	18	18
Обжатие заготовки в пережиме ε_n , %	15,5	11,1

Для выполнения эксперимента был спроектирован рабочий инструмент, а также специальная оснастка, установленная на выходной стороне прошивного стана для получения гильз с дном.

В ходе исследований измерялась точность геометрических параметров полых гильз с дном, в частности разностенность, так как она в большей степени определяет величину припусков на дальнейшую механическую обработку.

Для оценки характера распределения разностенности в объеме всей партии заготовок были построены частотные кривые абсолютной разностенности (рисунок 1).

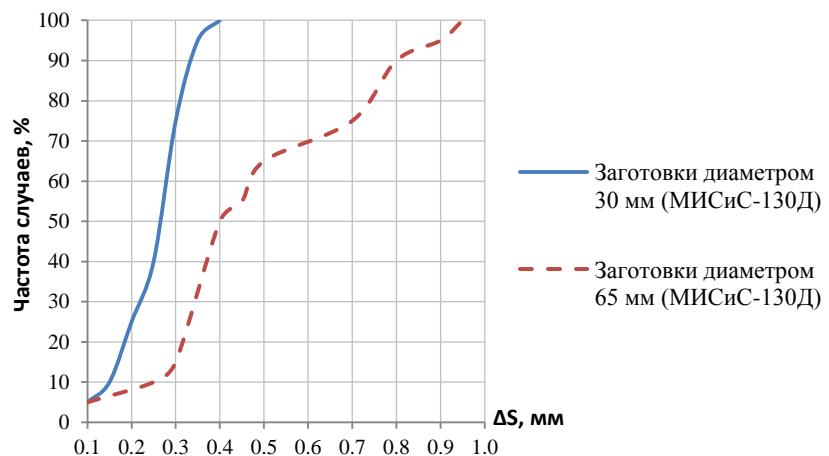


Рисунок 1 – Частотные кривые абсолютной разностенности (ΔS) полых заготовок с дном диаметром 30 и 65 мм

Анализ полученных данных показал, что полые заготовки диаметром 30 мм имеют абсолютную разностенность не более 0,4 мм, в то время как из партии полых заготовок диаметром 65 мм абсолютную разностенность до 0,4 мм имеют лишь 50 %. Однако, максимальная величина разностенности не превышает 0,9 мм, что удовлетворяет техническим требованиям к этой продукции.

Проведенные исследования позволили сделать вывод о возможности реализации технологии получения качественных полых заготовок с дном диаметром 30...60 мм методом горячей винтовой прошивки, а для приближения формы полой заготовки к форме детали и создания базы для механической обработки после прошивки необходимо выполнение операции калибрования полых гильз.

Третья глава посвящена разработке технологической схемы процесса (рисунок 2) и проектированию оборудования автоматизированной линии винтовой прокатки (АЛВП).

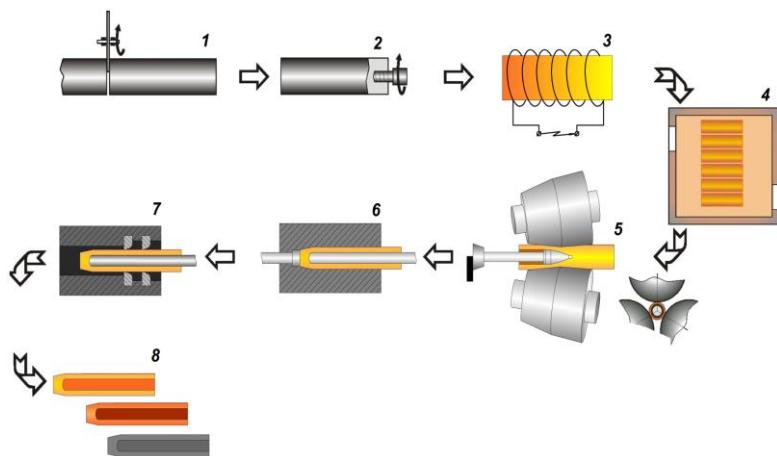


Рисунок 2 – Схема технологического процесса получения полых заготовок с дном малого диаметра: 1 – резка прутка на исходные заготовки; 2 – механическая зацентровка; 3 – нагрев исходных заготовок; 4 – выдержка исходных заготовок в термостате; 5 – прошивка в трехвалковом стане винтовой прокатки; 6 – калибрование донной части; 7 – протяжка через кольца; 8 –охлаждение

Выполнено обоснование выбора способа резки и зацентровки исходных заготовок, рационального способа нагрева для данного сортамента продукции. Рассмотрены основные факторы, влияющие на точность гильз при прошивке в стане винтовой прокатки.

Расчетно-экспериментальным методом определены энергосиловые параметры при прошивке в трехвалковом стане заготовок диаметром 31,5 и 36 мм. На заготовках, заторможенных во время прокатки, замеряли площадь контактной поверхности, после чего с учетом расчета среднего контактного нормального давления определяли усилие металла на валок. Расчет показал, что при прошивке максимальное радиальное усилие на валок достигает значений 70 и 80 кН соответственно.

По результатам моделирования процесса прошивки в DeForm 3D построены графики радиального усилия металла на валок (рисунок 3).

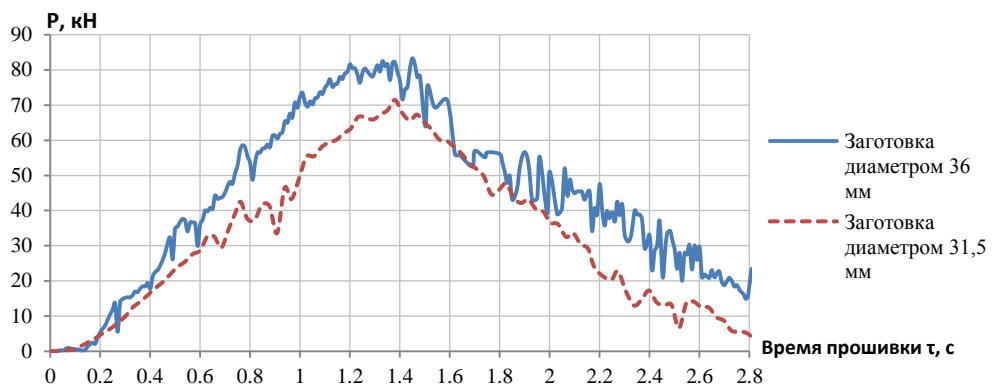


Рисунок 3 – Изменение радиального усилия металла на валок при прошивке заготовок диаметром 31,5 и 36 мм длиной 85 мм и 70 мм соответственно

Из полученных графиков видно, что при прошивке заготовок практически нет установившегося режима, максимальное усилие возникает спустя 1,3…1,5 с после захвата металла валками и сразу начинает снижаться пропорционально уменьшению площади контакта металла с валком.

Показано, что отклонение полученных моделированием данных от расчетно-экспериментальных не превышает 10 %, что подтверждает достоверность проводимых виртуальных экспериментов.

Известно, что формоизменение металла в условиях неустановившихся режимов может сопровождаться получением изделий с нестабильными геометрическими параметрами. В связи с этим в работе особое внимание уделялось точности геометрических размеров полых заготовок с дном: разностенности, отклонениям диаметральных размеров и толщине донной части.

Жесткость клети прошивного стана – один из главных факторов, влияющих на точность проката, в частности на диаметральные размеры гильз. Расчет напряжений и деформаций в рабочей клети проводился в программе SolidWorks Simulation. Установлено, что максимальное перемещение под действием нагрузки составляет 0,07 мм и возникает на валке в месте приложения нагрузки. Это значение находится в пределах допуска на диаметральные размеры полых заготовок диаметром 60 мм. Для станины

максимальное перемещение составляет под нагрузкой 0,03 мм и возникает в верхней ее части (рисунок 4).

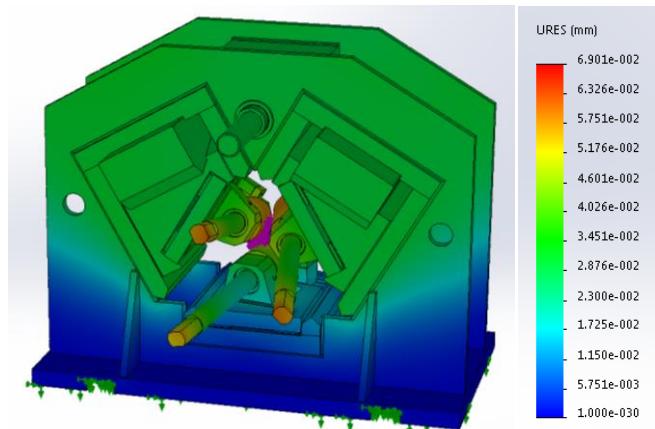


Рисунок 4 – Эпюра абсолютных перемещений рабочей клети прошивного стана

Таким образом, коэффициент жесткости калибра составит:

$$c_{\kappa} = \frac{P_{\max}}{\Delta_{\max}} = \frac{0,15}{0,07} = 2,14 \left(\frac{MH}{мм} \right). \quad (1)$$

По результатам проведенного компьютерного эксперимента показано, что клеть имеет достаточный запас прочности. Расчетный коэффициент жесткости калибра обеспечивает получение полых заготовок с диаметральными размерами высокой точности.

Одной из причин повышенной разностенности гильз может быть недостаточная жесткость стержня. Анализ устойчивости оправочного стержня заключается в определении критической силы и сравнения ее со значением максимального усилия на оправку, возникающего при прошивке. Максимальные значения осевого усилия на оправку при прошивке заготовок диаметром 31,5 и 36 мм получены при моделировании процесса прошивки в DeForm 3D и составляют 20 и 25 кН соответственно, т.е. 0,28...0,3 от усилия металла на валок.

В том случае, когда критические напряжения в стержне, работающем на сжатие, не превышают предела пропорциональности материала $\sigma_{n\mu}$, критическую силу вычисляют по формуле Эйлера:

$$F_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(\mu \cdot l)^2}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала стержня, МПа; I – момент инерции стержня, мм^4 ; μ – коэффициент приведения длины стержня (для консольного закрепления $\mu=2$); l – геометрическая длина стержня.

Известно, что формула Эйлера справедлива при условии:

$$\lambda \geq \lambda_0 = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma_{nu}}}. \quad (3)$$

где $\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i}$ – гибкость стержня; $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ – радиус инерции поперечного сечения стержня, мм; A – площадь поперечного сечения стержня, мм^2 .

Результаты расчета показали, что максимальная критическая сила, допустимая для стержней диаметром 21 (22) мм длиной 310 (300) мм, изготовленных из стали 4Х5МФС, составляет 52,38 (67,37) кН, что значительно выше осевых усилий металла на оправку при прошивке.

Далее был проведен анализ устойчивости положения оправки и оправочного стержня при прошивке в трехвалковом стане. Для определения смещающих сил рассматривали схему, представленную на рисунке 5.

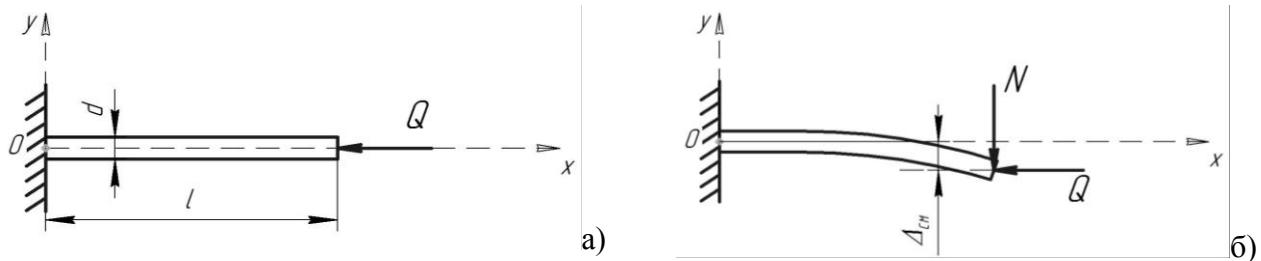


Рисунок 5 – Схема закрепления и форма оправочного стержня под нагрузкой:
а) – стержень под осевой нагрузкой Q ; б) – стержень дополнительно нагружен смещающей силой N .

Особенности процесса не позволяют измерить фактическое отклонение оправки в очаге деформации путем установки измерительной аппаратуры, поэтому силы определялись на основании моделирования процесса прошивки в Deform 3D. Исходные данные для расчета смещения стержня с оправкой представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные данные для компьютерного анализа смещения оправки и стержня

Наименование параметра	Значение	
	Заготовка Ø31,5 мм	Заготовка Ø36 мм
Материал оправки	4Х5МФС	ЭИ-131
Материал оправочного стержня	4Х5МФС	
Материал шпинделя упорной головки	Сталь 40ХН	
Длина консольной части оправки и стержня, мм	310	300
Диаметр оправки и стержня, мм	21	22
Осевая сила Q, кН	20	24
Смещающая сила N, кН	1	1

Для определения максимальной величины отклонения носика оправки от оси прошивки выполнен расчет напряжений и деформаций в программе SolidWorks 3D. Результаты виртуального расчета показали, что максимальные отклонения стержня с оправкой при прошивке заготовок диаметром 31,5 и 36 мм составят (с учетом зазоров в подшипниках упорной головки и биения инструмента) 0,293 и 0,236 мм, что существенно ниже допускаемых значений разностенности для данного типа заготовок.

Далее в главе приведено подробное описание конструкции узлов оборудования АЛВП (рисунок 6).

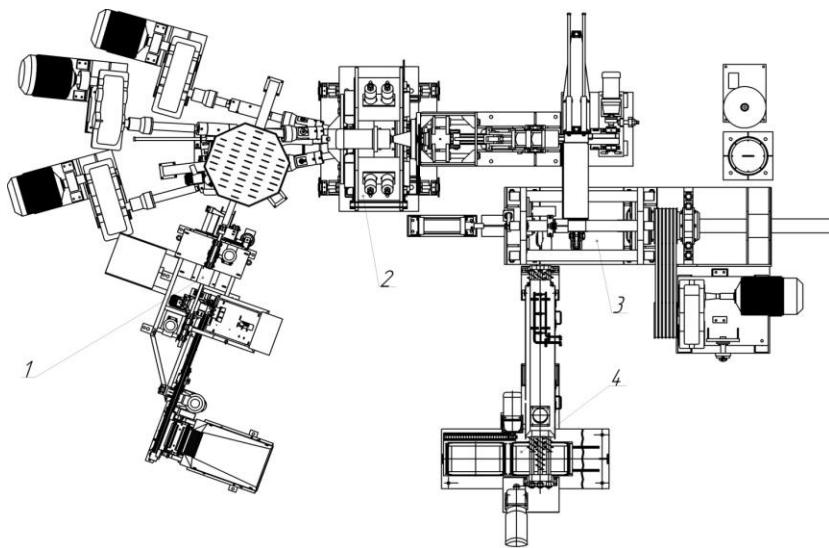


Рисунок 6 – Состав основного оборудования автоматизированной линии винтовой прокатки: 1 – нагревательное устройство; 2 – трехвалковый стан винтовой прокатки; 3 - калибровочный пресс; 4 – камера контролируемого охлаждения

Машины и устройства линии связаны передаточными устройствами для транспортирования заготовок, оснащены приборами контроля температуры нагретых заготовок и средствами автоматизации.

Для прошивки заготовок в гильзу с дном спроектирован стан винтовой прокатки, краткая техническая характеристика которого представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Краткая техническая характеристика трехвалкового прошивного стана «30-80»

Тип стана	трехвалковый
Диаметр рабочих валков, мм	150
Размеры исходной заготовки:	
диаметр, мм	30 (32); 40 (42); 60
длина, мм	65 - 95; 85 - 100; 180 - 215
масса, кг	0,39 - 0,6; 0,47 - 0,63; 0,83 - 2,5
Температура нагрева заготовки, °С	1150 - 1160
Размеры гильзы с дном, мм:	
диаметр наружный	33; 43; 60
диаметр внутренний	22; 26; 34
длина	122; 110; 180
толщина дна	8-10; 10-12; 18-25
Цикл прокатки, с	20...30
Охлаждающая жидкость технологического инструмента:	
рабочих валков и прошивной оправки	вода
Производительность, шт/ч	до 200
Мощность главного привода, кВт	3x30
Режим работы	автоматический и полуавтоматический в процессе наладки

Входная и выходная стороны стана жестко смонтированы на общей раме. Регулировка высоты клети для установки на ось прокатки при переходе на прокатку заготовок другого диаметра осуществляется при помощи клиньев, смонтированных под станиной. Механизм установки валков выполнен в виде клинового устройства, которое обладает высокой жесткостью и точностью настройки.

На выходной стороне стана установлено специальное рычажное устройство быстрого отвода оправки из очага деформации, позволяющее получать полые заготовки с дном (рисунок 7).

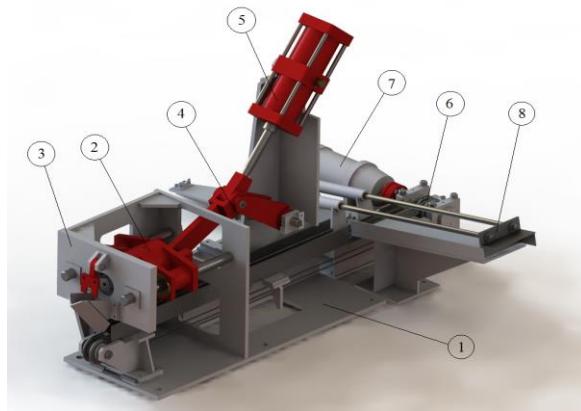


Рисунок 7 – Выходная сторона прошивного стана: 1 – рама; 2 – упорная головка; 3 – опорная плита; 4 – рычажное устройство; 5 – пневмоцилиндр; 6 – цепной транспортер; 7 – привод транспортера; 8 – толкатель

Калибровочный пресс (рисунок 8) предназначен для формоизменения донной части полой гильзы после прошивного стана путем подпрессовки в матрице и калибрования наружной цилиндрической поверхности в горячем состоянии способом протяжки через кольцо.

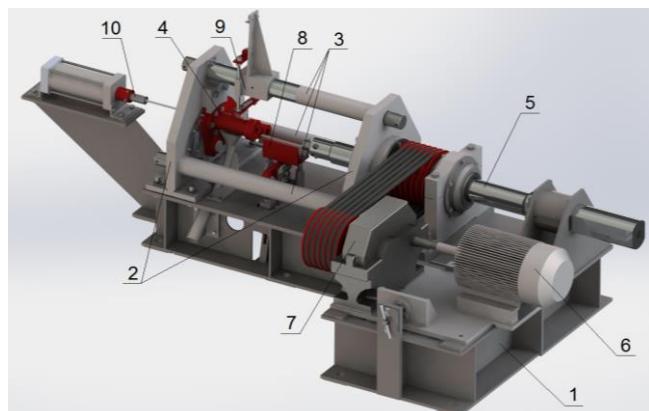


Рисунок 8 – Калибровочный пресс с электромеханическим приводом:
1 – рама; 2 – стойки; 3 – тяги; 4 – поворотная плита с контейнером и матрицей; 5 – силовой винт с пuhanсоном; 6 – электродвигатель; 7 – редуктор; 8 – приемный желоб; 9 – съемник; 10 – выталкиватель

Пресс оснащен двумя контейнерами для подпрессовки и протяжки, которые смонтированы на одной поворотной плите, что значительно сокращает общую массу оборудования и время на осуществление вспомогательных операций. Выбранная схема привода пресса обеспечивает быстрое перемещение и остановку силового винта с пuhanсоном на заданном расстоянии,

а регулирование скорости движения винта дает возможность наиболее рационально подбирать деформационно-скоростные параметры процессов подпрессовки и протяжки полых заготовок с дном.

При проектировании и компоновке линии необходимо знать время и скорость охлаждения, чтобы обеспечить требуемое быстродействие системы оборудования и транспортирующих устройств. Для решения данной задачи было проведено компьютерное моделирование процесса охлаждения заготовок в программном комплексе DeForm 3D.

В качестве исходных были выбраны заготовки из стали 50 диаметром 31,5 мм, 36 мм и 60 мм. Начальная температура заготовок перед прошивкой выбрана $T_0=1150$ °C, минимально допустимая температура заготовок перед прошивкой 1120...1130 °C определена исходя из физико-механических свойств материала и опытных данных, которые свидетельствуют о значительном износе инструмента и повышенной нагрузке на инструмент при прошивке заготовок с температурой, ниже данного уровня. Температура окружающей среды $T_{o.c.}=20$ °C, коэффициент конвекции при охлаждении на воздухе без нагнетания $\alpha=20$ Вт/м²·°C.

Для заготовок диаметром 31,5 и 36 мм поверхность заготовки остывает до минимально допустимой температуры в течение ~ 2,4...2,5 с. Для заготовки диаметром 60 мм температурные кривые боковой поверхности и поверхности торца совпадают; температура 1120 °C этих поверхностей достигается через время 2,7...2,8 с после начала охлаждения.

С целью определения допустимого времени транспортировки полученной гильзы от прошивного стана до калибровочного пресса выполнено моделирование процесса ее охлаждения после прошивки. Для расчета были заданы следующие параметры:

- исходное температурное поле гильзы с дном взято из базы данных результатов расчета процесса прошивки. Температура наружной поверхности в зоне сформированной внутренней полости $T_{cp}=1000$ °C;

- конечная температура гильзы с дном выбрана $T_k=850$ °C (точка выше линии A_3 диаграммы состояния системы железо–углерод для стали 50 с содержанием углерода 0,5 %).

Гильза в области сформированной внутренней полости остывает до минимально допустимой температуры за 12 с. При этом температура донной части гильзы находится в интервале 950...970 °C.

Таким образом, установлено, что после выдачи из термостата заготовки диаметром 31,5 мм остаются до минимально допустимой температуры за 2,5 с, поэтому при проектировании оборудования необходимо предусмотреть передачу заготовки от нагревательной установки до валков прошивного стана в течение этого времени.

Для реализации операции калибрования в едином цикле (без дополнительного подогрева) время транспортировки гильзы с дном от прошивного стана до пресса не должно превышать 12 с.

На основании представленного выше описания работы оборудования, а так же учитывая данные результатов моделирования процесса охлаждения заготовок, составлены операционные графики работы АЛВП по трем режимам: прошивка исходной заготовки, калибрование донной части гильзы с дном, протяжка гильзы с дном на пуансоне через кольцо; прошивка исходной заготовки и калибрование донной части гильзы с дном; прошивка исходной заготовки и протяжка гильзы с дном на пуансоне через кольцо.

Представленное описание работы оборудования составило основу для технического задания на проектирование системы автоматизированного управления линией, выбора необходимых датчиков, приборов контроля и электрооборудования.

В четвертой главе выполнено исследование промышленной технологии на опытно-промышленной линии АЛВП, описана методика экспериментальных исследований получения полых заготовок с дном диаметром 31,5 и 36 мм и выполнен анализ процесса прошивки.

Для определения рациональной конфигурации прошивных оправок проведен расчет зависимости шага подачи от формы применяемой оправки.

Прошивку осуществляли на валках с разработанной ранее калибровкой, имеющей цилиндрический центрирующий участок длиной 1,1...1,4 диаметра заготовки. При этом носок оправки расположен в середине цилиндрического участка, благодаря чему обеспечивается центрирование заготовки на оси прошивки и достаточный для надежного вторичного захвата запас тянущих сил рабочих валков (рисунок 9).

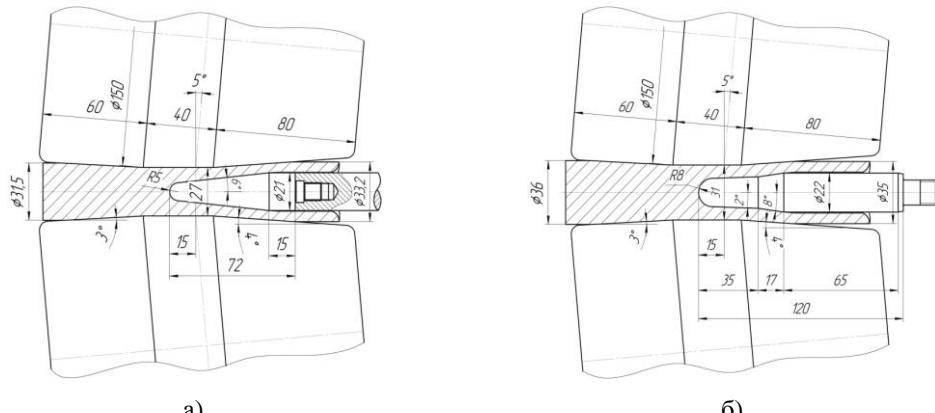


Рисунок 9 – Схема очага деформации при прошивке заготовок:

а) – диаметром 31,5 мм (радиус носка оправки 5 мм); б) – диаметром 36 мм (радиус носка оправки 8 мм)

В ходе эксперимента на полученных гильзах измеряли шаги подачи по длине. По результатам измерений установлено, что на гильзах, полученных из заготовок диаметром 31,5 мм, значение шага подачи практически не изменяется и составляет 20 мм у переднего торца и на участке раскатного конуса оправки и 21 мм у донной части гильзы. Для гильз, полученных из заготовок диаметром 36 мм, шаг подачи увеличивается от переднего торца гильзы к донной ее части и принимает значения 17, 19 и 24 мм соответственно.

Проведенный анализ показал, что прошивка на конической оправке с радиусом носка оправки 5 мм осуществляется с меньшим скольжением металла относительно рабочих валков. Значение шага подачи S_p при внедрении носка оправки в заготовку и далее для раскатного участка оправки увеличивается незначительно. Использование оправки с радиусом носика 8 мм

сопровождается повышенным скольжением в момент вторичного захвата и на раскатном участке оправки. При этом прокатка донной части гильзы без оправки протекает с увеличением шага подачи в обоих случаях.

В то же время, как показали опытно-промышленные испытания, износостойкость оправки с радиусом носка 8 мм на 15...20 % выше.

На основании моделирования процесса прошивки заготовок на оправках различной формы в программном комплексе DeForm 3D установлено, что увеличение радиуса носка оправки не вызывает значительного роста силовых параметров процесса. Так, при прошивке на оправке конической формы с радиусом носика 5 мм максимальное осевое усилие на оправку возникает на стадии раскатки гильзы и достигает 20 кН. Увеличение радиуса носика до 8 мм и изменение формы на более «тупую» повышает осевое усилие в среднем на 4...6 кН и достигает максимальных значений 24...25 кН.

По замерам геометрических параметров для всех полученных гильз построены частотные кривые абсолютной разностенности (рисунок 10).

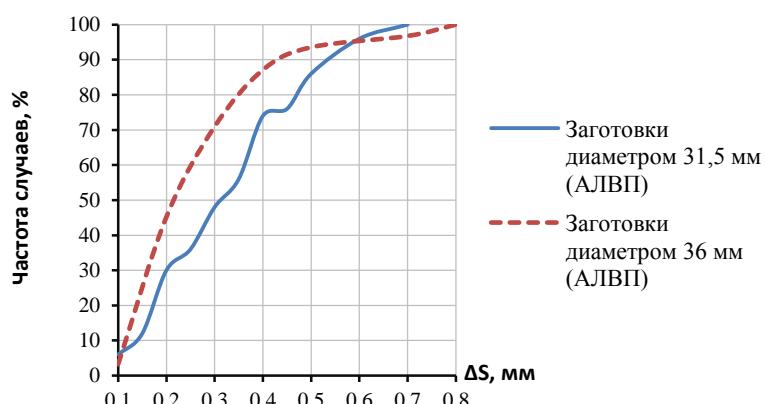


Рисунок 10 – Частотные кривые абсолютной разностенности (ΔS) гильз с дном диаметром 31,5 и 36 мм

Установлено, что при прошивке заготовок диаметром 31,5 мм разностенность имеет более нестабильный характер и в среднем на 15...20 % выше, чем при прошивке заготовок диаметром 36 мм. Однако для основной массы заготовок (95 %) из двух партий абсолютная разностенность одинакова и не превышает 0,6 мм.

Для обеспечения равномерности нагрева в линии предусмотрено устройство для поворота заготовки (рисунок 3.26 в диссертации) на 180° во время ее транспортировки на подъемном лифте от индуктора к термостату, что позволило улучшить геометрию гильзы по кривизне торцев и разностенности.

Проведенные исследования дают возможность сделать вывод, что при прошивке заготовок в гильзы с различной формой внутренней полости, несмотря на различия в кинематических условиях протекания процесса предпочтительным является выбор формы оправки, которая максимально возможно повторяет внутреннюю поверхность детали, так как форма оправки практически не влияет на общий уровень разностенности и энергосиловые параметры прошивки.

Разработаны практические рекомендации и приведены данные о внедрении результатов работы, а также разработана методика определения необходимых припусков и размеров исходной заготовки для получения требуемых размеров детали (рисунок 4.16 в диссертации) и спроектирован технологический инструмент для получения полых заготовок с дном по предложенной технологии.

Разработанный технологический процесс производства полых заготовок с дном диаметром 30...60 мм принят для использования на предприятии АО «НПО «Прибор». Новая технология обеспечивает повышение производительности в 2-3 раза; при этом коэффициент использования металла возрастает с 0,3...0,4 до 0,5...0,75 в сравнении с технологией механической обработки. Процесс производства полностью автоматизирован.

Основные выводы и результаты работы.

1. Разработана технология производства полых заготовок с дном малого диаметра, которая основана на сочетании горячей прошивки в трехвалковом стане винтовой прокатки и последующего калибрования на механическом прессе. Разработанная технология обеспечивает получение с одного нагрева полых заготовок массой 0,5...2,5 кг диаметром 30...60 мм в автоматизированном режиме.

2. На основании выявленных закономерностей изменения температурных полей заготовок малого диаметра и деформационных условий горячей прошивки и транспортно-передаточных операций разработаны операционные графики работы быстродействующей автоматизированной линии. Время передачи заготовки от нагревательной установки до прошивного стана составляет не более 2 с; время всего цикла – 20...30 с.

3. Разработаны технологические режимы процессов горячей прошивки в трехвалковом стане винтовой прокатки и калибрования на механическом прессе. Установлено, что процесс прошивки на оправке, приближенной к форме внутренней полости детали, протекает стабильно при обжатии заготовки по диаметру 12...14 %, при этом обжатие перед носком оправки также составляет 12...14 %. При калибровании полой заготовки на прессе протяжкой через кольцо обжатие по толщине стенки должно быть в пределах 6...8 %.

4. Выполнены расчеты и разработана специальная конструкция быстродействующего оборудования трехвалкового стана винтовой прокатки и механического пресса со встроенным транспортно-передающим устройствами. Рабочая клеть прошивного стана выполнена со станиной закрытого типа, имеющей коэффициент жесткости калибра 2,14 МН/мм. Выходная сторона рычажного типа позволяет получать полые заготовки с отклонением по толщине дна до 2 мм. Механический пресс выполнен трехколонным с поворотной плитой с контейнерами для калибрования донной части и протяжки. Оборудование автоматизированной линии винтовой прокатки обладает высокой производительностью (до 200 шт./час) и обеспечивает получение высокоточных полых заготовок с дном (разностенность не превышает 7 %).

5. Разработана методика расчета размеров исходной заготовки и полуфабрикатов, обеспечивающая коэффициент использования металла на уровне 0,5...0,75. На основании анализа результатов исследования образования обезуглероженного слоя при нагреве заготовки и в процессе формоизменения

установлено, что припуск на механическую обработку наружной поверхности должен быть не менее 0,17 мм.

Новизна и оригинальность предложенных технических решений защищена патентами РФ на изобретения, которые внедрены на предприятии АО «НПО «Прибор» в г. Ногинск.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Романцев Б.А., Гончарук А.В., Алещенко А.С., Онучин А.Б., Гамин Ю.В. Совершенствование режимов горячей прокатки труб на мини ТПА 70-270 // Металлург. 2015. № 5. С. 41-43. (Рекомендован ВАК).

2. Гамин Ю.В., Романцев Б.А. Особенности процесса прошивки коротких заготовок малого диаметра на мини-стане винтовой прокатки // Производство проката. 2015. № 11. С. 25-31. (Рекомендован ВАК).

3. Романцев Б.А., Гамин Ю.В., Гончарук А.В., Алещенко А.С. Инновационное оборудование для получения экономичных полых заготовок деталей машиностроения малого диаметра // Металлург. 2017. № 3. (Рекомендован ВАК).

4. Пат. № 2596519 РФ, МПК B21B19/06. Способ винтовой прокатки полых заготовок с дном / Романцев Б.А., Гончарук А.В., Гамин Ю.В. и др. – заявл. 17.04.2015 г., опубл. 10.09.2016 г.

5. Пат. № 2600594 РФ, МПК B21K21/06. Способ изготовления заготовок в форме стакана из прутка / Свободов А.Н., Чижевский О.Т., Липченко Ю.Н., Гамин Ю.В. и др. – заявл. 03.02.2015 г., опубл. 03.10.2016 г.

6. Пат. № 2595182 РФ, МПК B21B19/04. Устройство для изготовления цилиндрических заготовок формы стакан / Чижевский О.Т., Свободов А.Н., Заглада В.И., Гамин Ю.В. и др. – заявл. 03.02.2015 г., опубл. 20.08.2016 г.