

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский технологический
университет «МИСИС»

Крискович Сергей Михайлович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ПРОИЗВОДСТВА ПОЛЫХ ВАГОННЫХ ОСЕЙ ИЗ
ОСОБОТОЛСТОСТЕННЫХ ЗАГОТОВОК, ПОЛУЧЕННЫХ ВИНТОВОЙ
ПРОШИВКОЙ

Специальность 2.6.4 – «Обработка металлов давлением»

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

к.т.н., профессор В.П. Романенко

Москва, 2024

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В настоящее время большая часть подвижного состава пассажирских и грузовых поездов эксплуатируются с применением осей сплошного сечения. Полые вагонные оси с отверстием постоянного диаметра используются только на подвижном составе локомотивов и высокоскоростных пассажирских поездов. Это обусловлено тем, что полая конструкция вагонных осей позволяет регулярно проводить дефектоскопию методом УЗК без разборки буксового узла и демонтажа колесной пары. Однако для полых осей, в связи с выполнением центрального отверстия методом глубокого сверления, характерны следующие существенные недостатки: более высокая стоимость в сравнении со сплошными осями, длительный производственный цикл изготовления. Эти особенности препятствуют широкому распространению полых вагонных осей на всём парке подвижного состава, а не только на локомотивах и высокоскоростных пассажирских поездах.

Актуальной задачей является разработка рациональной технологии производства полых вагонных осей, обладающих сравнимым коэффициентом усталостной прочности и уровнем механических свойств со сплошными, а также не имеющими основных недостатков, связанных с существующей технологией их изготовления.

Цель и задачи работы

Целью диссертационной работы является разработка технологического процесса производства полых вагонных осей с переменным сечением типа РУ1Ш из особотолстенной полый заготовки, полученной винтовой прошивкой.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Провести анализ существующих способов производства сплошных и полых вагонных осей, предъявляемых к ним требований в соответствии со стандартами и актуальных направлений исследований по данной тематике.

2. Выполнить экспериментальные исследования по получению особотолстостенных заготовок из осевой стали (ОС) методом винтовой прошивки на опытно-промышленном стане МИСиС-130Д при различных значениях параметров угла подачи и коэффициента вытяжки. Осуществить анализ полученных результатов и провести оценку геометрических параметров полученных заготовок.

3. Исследовать выходную сторону прошивного-раскатного стана ТПА 70-270 и деформацию оправочного стержня при расчётной нагрузке методом компьютерного моделирования с целью оценки возможности получения точных особотолстостенных осевых заготовок.

4. Провести компьютерное моделирование процесса винтовой прошивки для исследования влияния угла подачи на напряженно-деформированное состояние заготовки при помощи программного комплекса Qform, оценить влияние винтовой прошивки на проработку структуры заготовки и выработать рекомендации по настройке очага деформации для апробации технологии.

5. Разработать технологический процесс производства полых вагонных осей радиальной ковкой из прошивной на стане винтовой прокатки заготовки и осуществить его апробацию в промышленных условиях. Провести исследование свойств полученных полых вагонных осей.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Определена последовательность технологических операций для изготовления полых вагонных осей с применением методов винтовой прошивки и радиальнойковки.

2. Установлено влияние значений угла подачи и коэффициента вытяжки на параметр разностенности особотолстостенных заготовок.

3. Экспериментально показана возможность изготовления полых вагонных осей радиальной ковкой на дорне из особотолстостенных заготовок с соотношением $D/S=3.4$, прошитых в стане винтовой прокатки.

4. Показано положительное влияние использования прошитой особотолстостенной заготовки на проработку структуры и пластические свойства стали вагонных осей с сохранением уровня прочностных характеристик.

Практическая значимость работы

Результаты исследований по изготовлению особотолстостенных осевых заготовок позволили разработать и апробировать технологический процесс производства полых вагонных осей в условиях ПАО «Мотовилихинские заводы» из заготовок, полученных винтовой прокаткой на ТПА 70-270 АО ВМЗ. Полученные полые оси удовлетворяют требованиям ГОСТ для сплошных осей по всем параметрам.

Результаты работы использованы в процессе обучения студентов НИТУ МИСИС и ВФ НИТУ МИСИС по направлениям «Металлургия» и «Технологические машины и оборудование».

Методики и методы исследований

Создание модели валков, направляющих линеек, оправки, оправочного стержня, заготовки и сборка очага деформации проводилась при помощи программного комплекса SolidWorks. Исследование устойчивости оправочного стержня осуществлялось в модуле SolidWorks Simulation.

Компьютерное моделирование процесса прошивки заготовки и раскатки гильзы в двухвалковом стане осуществлялось методом конечно-элементного моделирования в программе QForm.

Экспериментальная прошивка проводилась на опытно-промышленном стане МИСИС-130Д и промышленном ТПА 70-270 АО ВМЗ по

разработанным настройкам очага деформации в соответствии с предлагаемой технологией.

Испытания на растяжение и ударную вязкость выполнены в соответствии с требованиями ГОСТ 1497-84, ГОСТ 9454-78.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных технических средств и оборудования, применением экспериментальных и теоретических методов исследования, математической обработкой данных с использованием вычислительной техники. Промышленное апробирование подтвердило адекватность полученных результатов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты экспериментальных исследований процесса прошивки на опытно-промышленном стане МИСиС-130Д заготовок из стали ОС диаметром 90 мм в особотолстостенные гильзы размером $D \times S = 85 \times 28$ мм, 85×25 мм и 85×22 мм.
2. Технологические режимы прошивки особотолстостенных заготовок $D \times S = 237 \times 70$ мм на стане винтовой прокатки ТПА 70-270.
3. Технологический процесс изготовления полых вагонных осей в условиях ПАО «Мотовилихинские заводы» из особотолстостенных заготовок, полученных винтовой прокаткой на ТПА 70-270 АО ВМЗ.

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах: студенческая научно-техническая конференция «70-е дни науки студентов НИТУ «МИСиС» (Москва: НИТУ «МИСиС», 2015), конкурс У.М.Н.И.К. (г.Москва, 2015), IX научно-практическая конференция молодых специалистов АО "ОМК" им. С.З. Афонина (Выкса, 2016 г.), IV

Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы в машиностроении» (Новосибирск, 2017), Magnitogorsk Rolling Practice 2018 (Магнитогорск, 2018).

Соответствие диссертации паспорту специальности. Диссертация по своей тематике целям, задачам, научной новизне теоретической и практической значимости, методологии и методам исследования, положениям, выносимым на защиту, соответствует паспорту специальности 2.6.4 – Обработка металлов давлением по п.1-3, 6.

Публикации

Основное содержание диссертационной работы отражено в 11 печатных работах, в том числе в 4 изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 3 в базе цитирования WoS/Scopus.

Структура и объём работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка использованных источников. Основное содержание работы изложено на 123 страницах машинописного текста, содержит 63 рисунка, 34 таблицы, список литературы включает 104 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертационной работы, научная и практическая значимость, сформулированы цели и задачи.

В первой главе представлены основные тенденции развития железнодорожного транспорта и дана оценка потребности РФ в производстве вагонных осей (рис. 1) для всех видов подвижного состава.

Проведён анализ технологических способов производства вагонных осей, приведены основные их преимущества и недостатки.

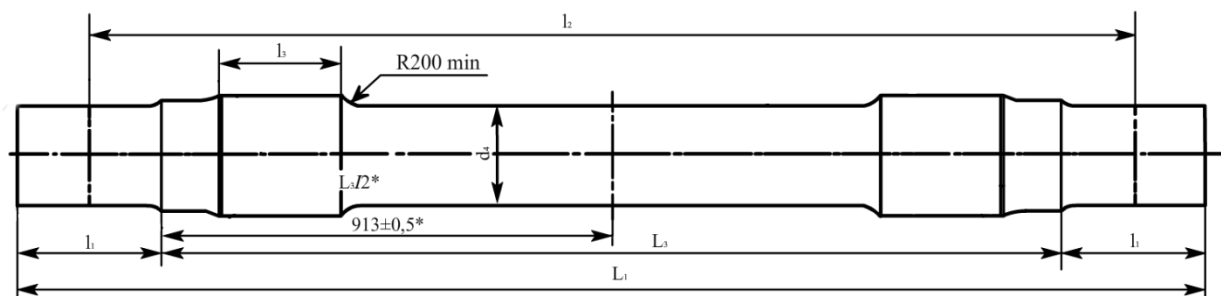


Рисунок 1 - Вагонная ось РУ1Ш

К основным способам производства вагонных осей можно отнести следующие:

Свободная ковка – отличается простотой реализации и требует малого объёма оборудования. Однако качество и точность получаемых поковок невысокие, как и производительность данного метода;

Штамповка – способ, позволяющий получить более точную поковку в сравнении со свободной ковкой, однако для каждого типоразмера производимых осей требуется индивидуальный рабочий инструмент, а также предъявляются высокие требования к используемым штампам, требуется регулярный контроль их износа;

Винтовая прокатка в трехвалковом стане – перспективный способ изготовления сплошных осей, позволяющий получать точные профилированные черновые заготовки. Узким местом является необходимость тонкой настройки стана для создания необходимого осевого натяжения при прокатке, а также очень высокие требования к качеству исходных заготовок. Так, например, при наличии поверхностных дефектов на заготовке, они могут раскатываются в плены, что приведёт к увеличению отходов при механической обработке.

Радиальная ковка – наиболее технологичный способ изготовления черновых вагонных осей по причине универсального деформирующего инструмента для всех типоразмеров получаемых поковок. Отличается

высокой степенью автоматизации, производительностью и качеством получаемой продукции.

Проведён анализ требований к стали вагонных осей по химическому составу и уровню механических свойств в отечественных и зарубежных стандартах.

Представлены пути повышения эксплуатационных свойств вагонных осей и подробно рассмотрен вариант внедрения полый конструкции подобных изделий. Способы изготовления полых вагонных осей были разделены на две группы в зависимости от того, на каком этапе было сформировано центральное отверстие – при получении исходной заготовки, или в процессе её обработки методами ОМД.

В первой группе представлены методы литья, которые позволяют получить необходимую геометрию полый заготовки. Однако подобные изделия имеют характерную литую структуру, и по этой причине отливки должны быть обработаны методами ОМД с целью проработки структуры и её измельчения. Использование литых полых заготовок без предварительной обработки нерационально, так как механические и эксплуатационные свойства конечных изделий будут ниже, чем у изготовленных традиционным способом.

Во второй группе представлены варианты получения центрального отверстия прошивкой на прессе и на стане винтовой прокатки. Наиболее рациональным вариантом является прошивка сплошной заготовки способом винтовой прокатки, которая обеспечивает возможность получения заготовок длиной более 2000 мм, обладающих достаточно точными геометрическими параметрами, а также более интенсивной дополнительной проработкой структуры металла полый заготовки в её центральной части и на периферии.

Во второй главе представлены данные по экспериментальному получению особотолстостенных заготовок в лабораторных условиях на

кафедре ОМД НИТУ МИСИС на опытно-промышленном двухвалковом стане винтовой прокатки МИСиС-130Д.

Полые заготовки для машиностроения, в частности особотолстостенные осевые заготовки, должны обладать как можно меньшей разностенностью. Для проведения экспериментальных исследований были выбраны два основных параметра, которые могут оказывать влияние на точность получаемых заготовок – угол подачи β и коэффициент вытяжки μ . Каждый из указанных параметров варьировался в определённом диапазоне – угол подачи β принимали равным 10° , 13° и 16° , а коэффициент вытяжки μ равнялся 1.24, 1.33 и 1.4. Всего получено девять различных комбинаций указанных факторов, по каждому из вариантов произвели прошивку трёх заготовок для получения статистически значимых результатов.

После прошивки заготовок из стали ОС диаметром 90 мм в гильзы размером $D \times S = 85 \times 28$ мм, 85×25 мм и 85×22 мм (рис. 2) провели исследование их геометрических параметров (рис. 3). Особое внимание уделили разностенности, так как данный параметр влияет на возможность введения дорна при профилировании черновой оси.



Рисунок 2 - Внешний вид заготовок после прошивки.

Было выявлено, что при увеличении коэффициента вытяжки μ разностенность уменьшается, что связано с увеличением поперечного сечения стержня и, соответственно, его жёсткости (рис. 4). Также наблюдается зависимость увеличения разностенности при увеличении угла подачи, что связано с повышением осевых усилий, действующих на оправку и оправочный стержень. Отмечено, что прошивка с углами подачи 13° и 16° увеличивает разностенность от начала к концу заготовки. При угле подачи 10° разностенность по длине заготовки остаётся практически неизменной, а к концу заготовки уменьшается (рис. 5). Это может быть связано с эффектом самоцентрирования оправки, который наблюдается при угле подачи в 10° , а при углах подачи 13° и 16° из-за увеличения осевых усилий, действующих на стержень, его эффект незначителен.

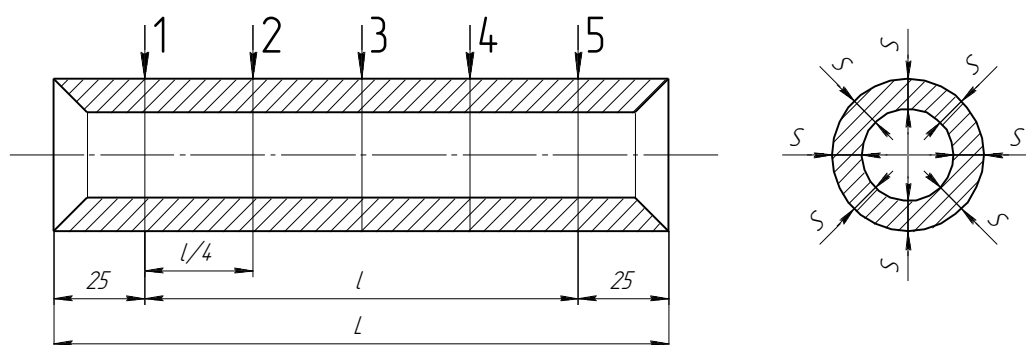


Рисунок 3 - Схема проведения измерений

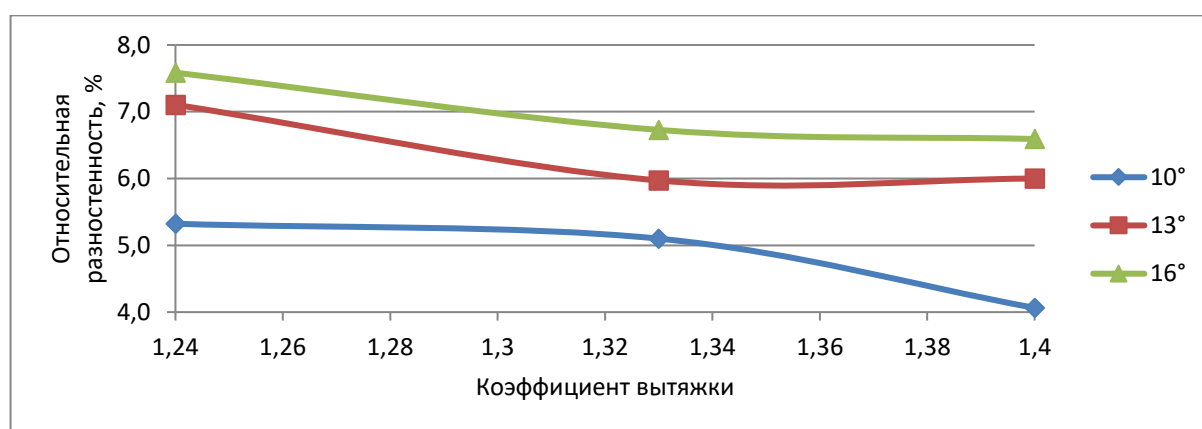


Рисунок 4 - Изменение разностенности гильз в зависимости от коэффициента вытяжки при различных углах подачи

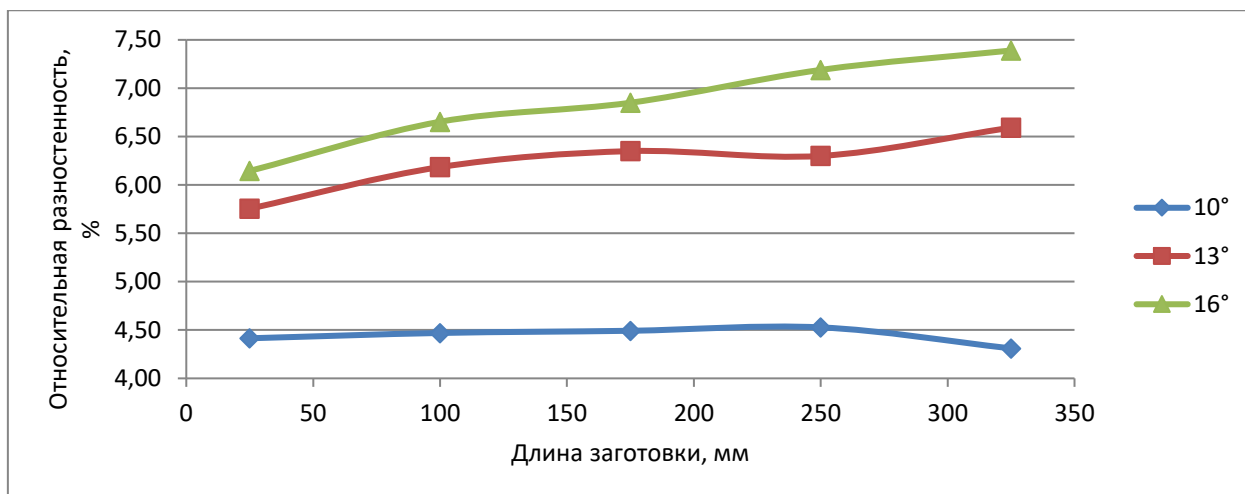


Рисунок 5 - Изменение разностенности по длине гильзы при различных углах подачи

Третья глава посвящена исследованию изгиба оправочного стержня при прошивке и моделированию процесса получения особотолстенной осевой заготовки на стане винтовой прокатки.

После проведения экспериментальных исследований процесса прошивки на стане МИСиС-130Д был рассмотрен вопрос устойчивости стержня промышленного прошивного-раскатного стана ТПА 70-270 АО ВМЗ с учётом существующего расположения трёхроликовых центрователей на выходной стороне. В результате моделирования деформации оправочного стержня при нагрузке 458 кН рассчитан изгиб стержня и его коэффициент устойчивости, которые находились в пределах требуемых значений (рис. 6).

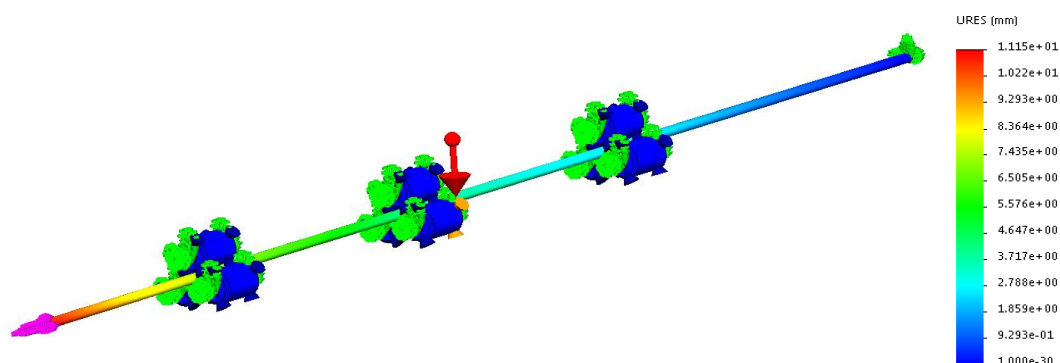
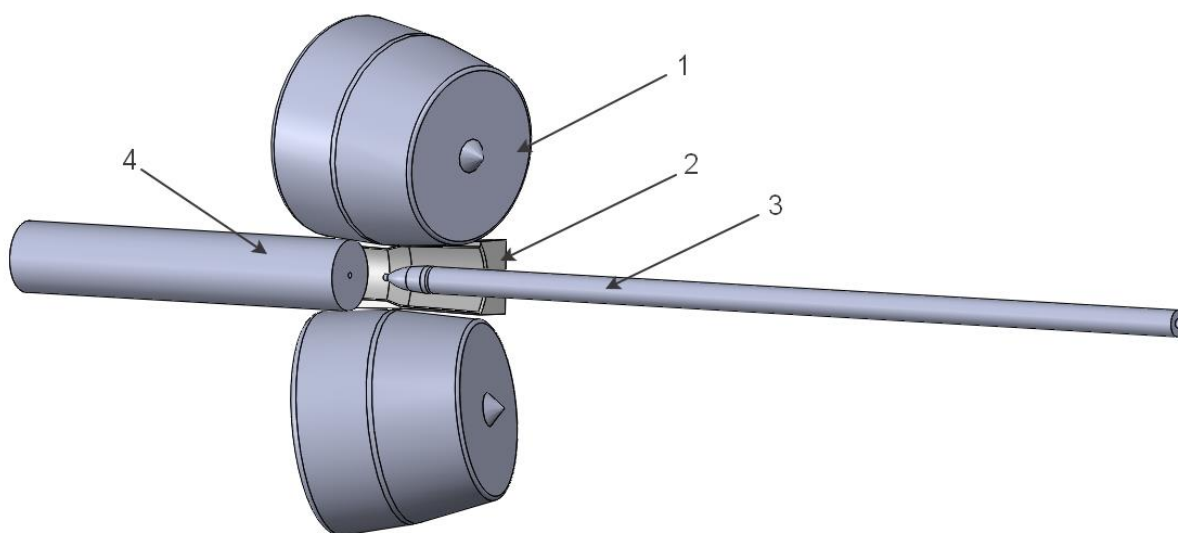


Рисунок 6 - Модель нагрузки оправочного стержня.

С целью моделирования процесса прошивки была рассчитана таблица прокатки для получения из исходной заготовки диаметром 250 мм особотолстостенной осевой заготовки с размерами $D \times S = 237 \times 70$ мм. ($D/S=3,4$). На основе полученных данных построен очаг деформации стана ТПА 70-270 (рис. 7) и заданы основные параметры моделирования процесса прошивки в Qform. Для определения оптимальных параметров прошивки моделирование проводилось при двух углах подачи – 6° и 12° . Большинство эксплуатируемых прошивных агрегатов работают в диапазоне углов подачи $4-15^\circ$.

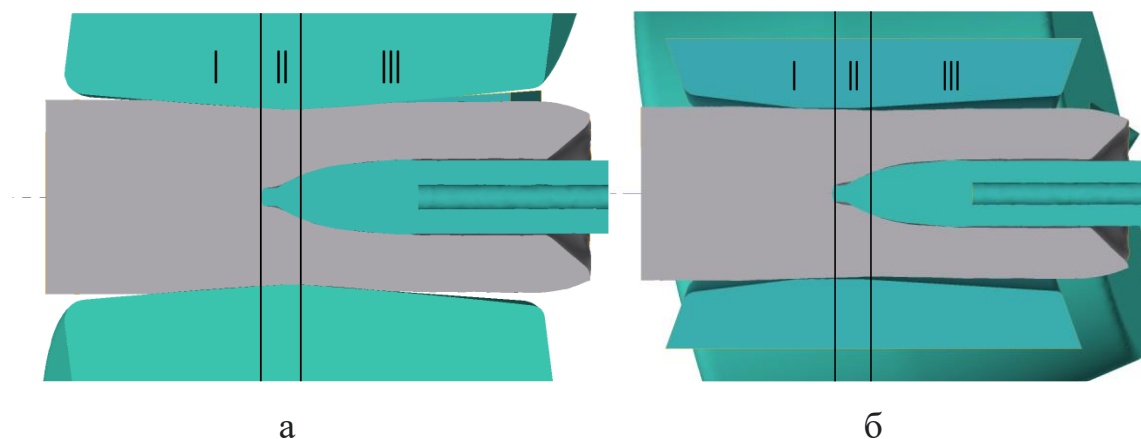


1 – рабочий валок, 2 – направляющая линейка, 3 – прошивная оправка,
4 – заготовка

Рисунок 7 - Модель очага деформации прошивного стана

После проведения моделирования выполнен анализ параметров напряжённого и деформированного состояний заготовки с целью оценки возможности проработки её структуры. Анализ проводился в трёх характерных поперечных сечениях очага деформации – перед носком оправки, в пережиме и на калибрующем участке, а также в двух продольных сечениях – по валкам и по линейкам (рис. 8).

Качественная оценка главных напряжений показала существование в очаге деформации объёмной разноимённой схемы действия главных напряжений, что соответствует современным представлениям о процессе винтовой прошивки.



I – контакт с носком оправки, II – пережим очага деформации,
III – сход гильзы с рабочих валков

Рисунок 8 - Расположение характерных сечений в очаге деформации по валкам (а) и по линейкам (б)

Анализ распределения по указанным сечениям таких параметров как интенсивность напряжений, интенсивность скоростей деформаций и интенсивность конечных деформаций для обеих настроек очага деформации и в углах подачи 6 и 12 градусов показало качественно схожую картину, отличающуюся преимущественно числовыми значениями оцениваемых параметров.

В качестве критерия проработки структуры заготовки была выбрана интенсивность конечных деформаций (ИКД). При угле подачи 12° отмечены высокие значения вблизи внутренней поверхности заготовки, а также выявлена промежуточная область с более низкими значениями, вероятность проработки которой ниже. Однако при угле подачи 6°, ИКД распределена более равномерно, а область с меньшей степенью проработки отсутствует

(рис. 9). Это может быть связано с большим количеством циклов деформации заготовки, которым она подвергается в очаге деформации.

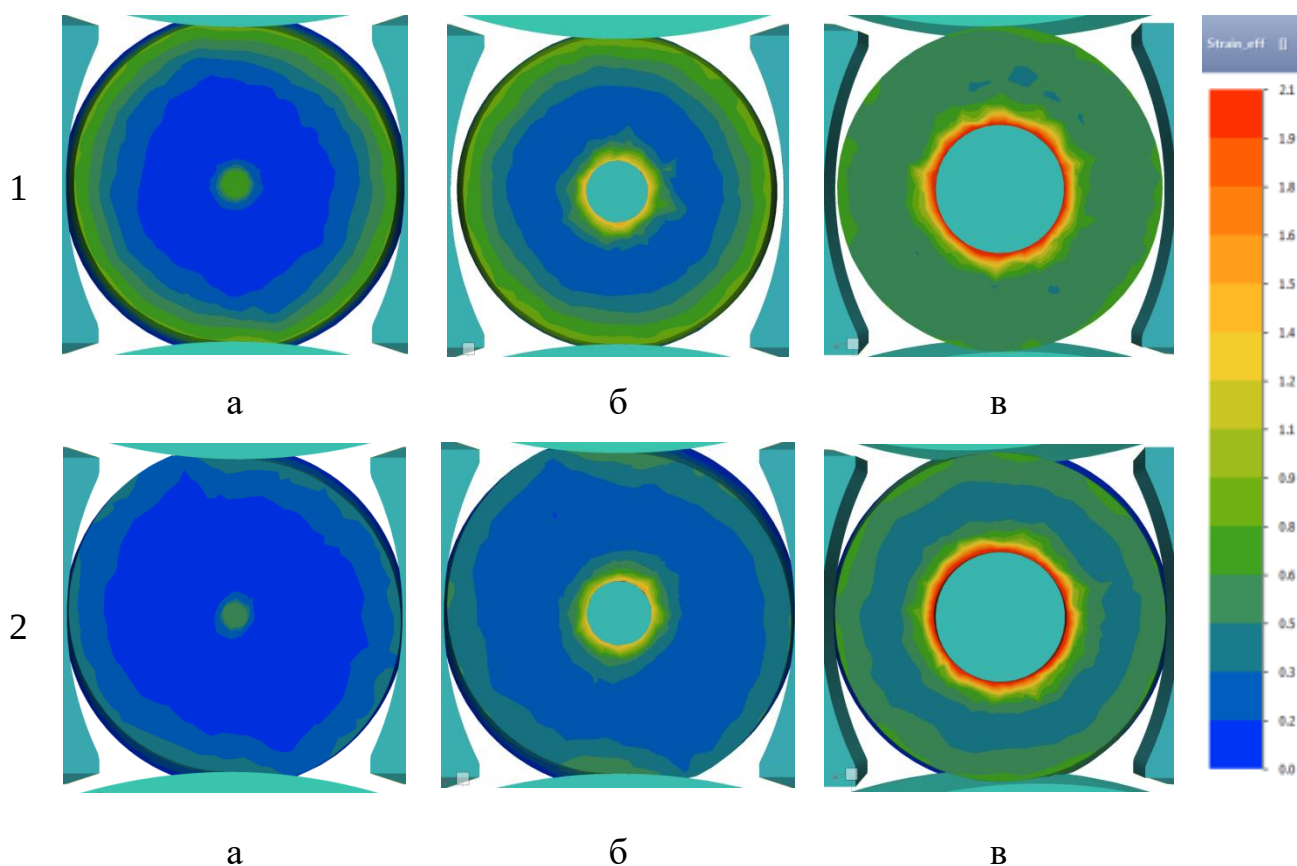


Рисунок 9 - Распределение поля ИКД перед носком оправки (а), в пережиме рабочих валков (б) и на калибрующем участке (в) для угла подачи 6° (1) и 12° (2)

В четвёртой главе представлены основные этапы технологического процесса получения полых вагонных осей на ПАО «Мотовилихинские заводы» из особотостостенных полых заготовок, произведённых на АО ВМЗ.

Рассмотрен процесс изготовления исходных НЛЗ размером 540x480 мм и их предварительнойковки на круг $\varnothing 250$ мм на РКМ SXP-55, приведены данные по химическому составу полученных заготовок (табл. 1), их механическим свойствам (табл. 2), макро и микроструктуре.

Таблица 1 – Химический состав стали ОС по ГОСТ 33200-2014 и в состоянии поставки.

	Массовая доля химических элементов, %									
	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Cu	Mo	Ni
ГОСТ	0,42 -0,5	0,15 - 0,35	0,6- 0,9	<0,03 5	<0,03 5	-	<0,3	<0,25	-	<0,3
Постав ка	0,44	0,21	0,67	0,008	0,006	0,015	0,08	0,17	—	0,11

Таблица 2 – Механические свойства стали ОС по ГОСТ 33200-2014 и в состоянии поставки.

	Сопротивле ние при растяжении σ_B , Н/мм ²	Предел текучест и σ_T , Н/мм ²	Относительн ое удлинение δ , %	Относительн ое сужение Ψ , %	Ударная вязкость КСУ при 20° С, Дж/см ²	
					средня я	Минимальна я
ГОСТ	650 и более	-	18	-	34	29
Поста вка	650	365	26,0	51	67,3	66

Приведены материалы по изготовлению полых осевых заготовок в условиях АО «Выксунский металлургический завод». Представлена базовая технология производства бесшовных труб на ТПА 70-270, в соответствии с которой были изготовлены особотолстостенные осевые заготовки. Указаны настройки очага деформации, использовавшиеся при прошивке, а также схема осуществления измерений и результаты контроля геометрических параметров полученных осевых заготовок (рис. 10).



а



б

Рисунок 10 - Заготовки после прокатки (а) и охлаждения (б) на ТПА 70-270

В дальнейшем получали полулю ось РУ1Ш (предлагаемая конструкция оси представлена на рис. 11). Заготовки профилировали на РКМ SXP-55 ПАО «Мотовилихинские заводы» с применением дорна. В соответствии с разработанным технологическим процессом приведены карты ковки, а также результаты контроля механических свойств, макро- и микроструктуры черновых осей. В дальнейшем половину черновых осей подвергли механической обработке и изготовили чистовые полые вагонные оси (рис. 12).

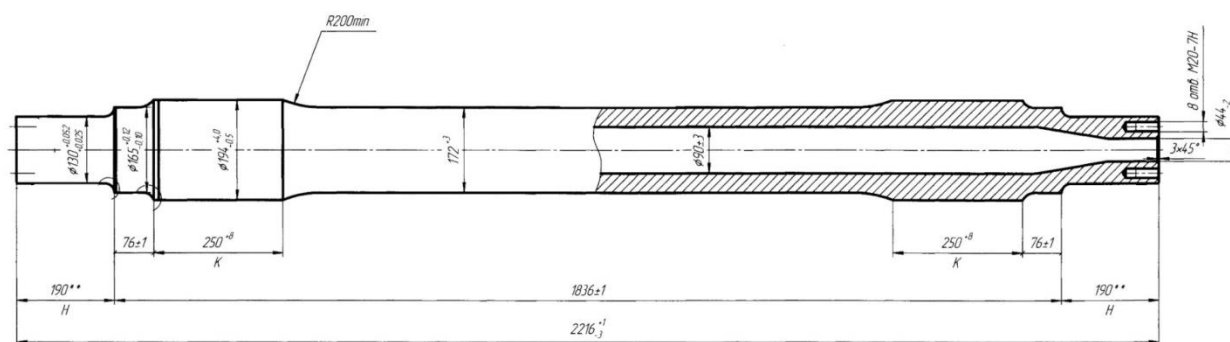


Рисунок 11 - Конструкция полый вагонной оси РУ1Ш



Рисунок 12 - Изготовленные черновые и чистовые оси

После поставки готовых вагонных осей дополнительно проведён контроль механических свойств на каждом этапе технологической цепочки. Для этого производили вырезку образцов для механических испытаний из исходной заготовки, полый осевой заготовки, а также из подступичной части черновой вагонной оси (рис. 13).

Результаты испытаний на растяжение и ударную вязкость подтвердили качество исходной заготовки, пластические свойства которой превышают требования ГОСТ 33200-2014. Операция прошивки положительно повлияла как на прочностные, так и на пластические свойства, уровень которых вырос на 8-12%. После операции профилирования уровень прочностных свойств увеличился на 5-12%, а пластических снизился на 15-16%, что может быть связано с особенностями термической обработки. Уровень механических свойств черновой оси также полностью удовлетворял требованиям стандартов (табл. 3-5).

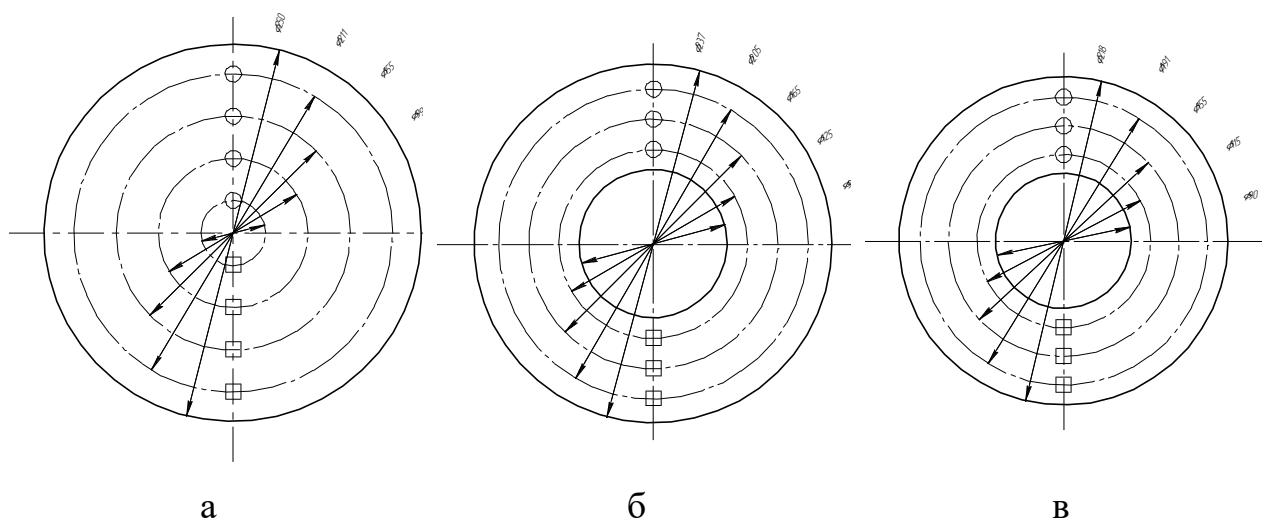


Рисунок 13 - Схема вырезки образцов для механических испытаний из исходной заготовки (а), прошитої заготовки (б), черновой оси (в)

Таблица 3 - Результаты испытаний. Исходная заготовка.

	Предел текучести σ_T , Н/мм ²	Сопротивление при растяжении и σ_B , Н/мм ²	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость КСЧ при 20° С, Дж/см ²		
				Испытание	среднее	минимальное
Наружн.	283,08	558,67	39,9	66	63,33	61
Средн.	284,73	564,57	36,82	61		
Центр.	279,86	570,2	40,17	63		
Σ	282,56	564,48	38,96			

Таблица 4 - Результаты испытаний. Прошитої заготовка.

	Предел текучести σ_T , Н/мм ²	Сопротивление при растяжении и σ_B , Н/мм ²	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость КСЧ при 20° С, Дж/см ²		
				Испытание	среднее	минимальное
Наружн.	313,35	615,58	42,08	72	72	71
Средн.	295,92	607,22	43,43	73		
Центр.	324,63	636,22	40,36	71		
Σ	313,3	619,66	41,96			

Таблица 5 - Результаты испытаний. Черновая ось.

	Предел текучести σ_T , Н/мм ²	Сопротивление при растяжении σ_B , Н/мм ²	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость КСЧ при 20° С, Дж/см ²		
				Испытание	среднее	минимальное
Наружн.	354,48	649,17	35,69	62	61	57
Средн.	351,28	650,14	34,33	64		
Центр.	353,99	655,31	35,19	57		
Σ	353,25	651,54	35,07			

Основные результаты и выводы:

1. Проведён анализ литературы и актуальных направлений исследований по теме диссертации. Представлены методы обработки металлов давлением, применяемые при производстве вагонных осей. Приведена классификация способов получения центрального отверстия в заготовке. Предложена следующая последовательность технологических операций для производства полых вагонных осей: ковка НЛЗ с уклоном не менее 3, получение центрального отверстия методом винтовой прошивки, профилирование полый осевой заготовки, выполнение термической и механической обработки.

2. Экспериментальные исследования процесса прошивки заготовок из стали ОС диаметром 90 мм в гильзы размером $D \times S = 85 \times 28$ мм, 85×25 мм и 85×22 мм на опытно-промышленном стане МИСиС-130Д показали возможность получения особотолстостенных полых заготовок с разностенностью менее 8-10%; при этом установлены наиболее значимые факторы – угол подачи рабочих валков и коэффициент вытяжки, определяющие точность полученных заготовок.

3. Рассчитана нагрузка на оправочный стержень при прошивке особотолстостенных заготовок по методике предложенной НИТУ МИСИС. Проведено моделирование деформации оправочного стержня прошивного-раскатного стана ТПА 70-270 при расчётной нагрузке 458 кН для прошивки осевых заготовок и показана возможность получения особотолстостенных

полых заготовок при существующей компоновке оборудования выходной стороны.

4. Анализ результатов компьютерного моделирования прошивки осевых заготовок позволил выявить влияние угла подачи на напряжённо-деформированное состояние заготовки в очаге деформации. На основе анализа параметра интенсивности конечных деформаций установлено, что проработка структуры заготовки при углах подачи 6° и 12° отличается незначительно, однако распределение параметров интенсивности напряжений, интенсивности скоростей деформаций и интенсивности конечных деформаций более равномерно при угле подачи в 6° , что, предположительно, позволяет получить более однородную проработку заготовки.

5. Осуществлено апробирование технологического процесса производства полых вагонных осей на основе РУ1Ш в условиях ПАО «Мотовилихинские заводы», состоящего из следующих этапов: ковка исходной непрерывнолитой заготовки 540x480 мм на РКМ SXP-55 до диаметра 250 мм для винтовой прокатки; изготовление особотолстостенных осевых полых заготовок с $D \times S = 237 \times 70$ мм прошивкой на ТПА 70-270 АО ВМЗ; ковка полых осевых заготовок на ПАО «Мотовилихинские заводы» по разработанным картам ковки. Режимы термической и механической обработки не корректировались в сравнении с технологией производства сплошных осей. Показано, что оси, полученные из полых заготовок, прошитых на стане винтовой прокатки вместо сверления, имеют высокие механические свойства, удовлетворяющие требованиям стандартов.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. **Kriskovich, S.M.**, Romanenko, V.P., Vavilkin, N.M., Fortunatov, A.N. Features of the stress-strain state of screw piercing of extra-thick-walled hollow billets for mechanical engineering Chernye Metally [this link is disabled](#), 2022, 2022(6), pp. 55–59 [**Scopus**]

2. **Крискович С. М.,** Романенко В. П., Вавилкин Н. М., Фортунатов А. Н. Особенности напряженно-деформированного состояния при винтовой прошивке особотолстостенных полых заготовок для машиностроения Черные металлы. – 2022. – № 6. С. 55–59 [**Рекомендован ВАК**]
3. Vavilkin, N.M., **Kriskovich, S.M.** Features of the stress state of screw piercing of especially thick-walled hollow billets for mechanical engineering Chernye Metallythis link is disabled, 2021, (10), pp. 44–48 [**Scopus**]
4. Вавилкин Н. М., **Крискович С. М.** Особенности напряженного состояния винтовой прошивки особотолстостенных полых заготовок для машиностроения Черные металлы. – 2021. – № 10. С. 44-48 [**Рекомендован ВАК**]
5. Романенко В.П., Степанов П.П., **Крискович С.М.** Получение полых вагонных осей для железнодорожного транспорта с использованием винтовой прошивки. Международный конгресс прокатчиков 8-10 октября 2019, г.Выкса с.343–349
6. Romanenko, V.P., Stepanov, P.P., **Kriskovich, S.M.** Production of Hollow Railroad Axles by Screw Piercing and Radial Forging Metallurgistthis link is disabled, 2018, 61(9-10), pp. 873–877 [**Scopus**]
7. **Крискович С.М.,** Романенко В.П. Инновационный технологический процесс изготовления полой вагонной оси Magnitogorsk Rolling Practice 2018. Материалы III молодежной научно-практической конференции. Под редакцией А.Г. Корчунова. 2018. С. 65-66.
8. Романенко В.П., Манько А.И., Степанов П.П., Перминова О.Н., **Крискович С.М.** Перспективная технология получения полых вагонных осей на основе винтовой прошивки // Актуальные проблемы в машиностроении. 2017. Т. 4. № 2. С. 28 - 34.
9. Романенко В.П., Степанов П.П., **Крискович С.М.** Производство полых вагонных осей методами винтовой прошивки и радиальнойковки. Metallurg. 2017. No. 10. С. 44-48 [**Рекомендован ВАК**]

10. Романенко В.П., Степанов П.П., Гончарук А.В., **Крискович С.М.**, Илларионов Г.П., Никулин А.Н., Филиппов Г.А. Перспективная технология производства полых вагонных осей из полых заготовки // Проблемы черной металлургии и материаловедения 2016. № 2. С. 27-34. **[Рекомендован ВАК]**