

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

На правах рукописи

ФОМИН АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЗАГОТОВКИ,
ПОЛУЧЕННОЙ ВИНТОВОЙ ПРОШИВКОЙ, ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС**

Специальность 05.16.05 –«Обработка металлов давлением»

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
проф., к.т.н.

В. П. Романенко

Москва – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. Литературный обзор.....	6
1.1 Современное состояние производства железнодорожных колес в России и за рубежом.....	6
1.2 Технологии производства железнодорожных колес.....	8
1.3 Исходные заготовки и материалы, применяемые для производства железнодорожных колес.....	16
1.4 Совершенствование технологии производства железнодорожных колес для повышения эксплуатационных свойств.....	20
Глава 2. Экспериментальное исследование формоизменения полых заготовок.....	27
2.1. Выбор геометрических параметров исходных полых заготовок.....	27
2.2. Методика проведения экспериментальных исследований.....	30
Глава 3. Компьютерное моделирование операций свободной осадки, осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки с применением сплошной и полый заготовок.....	40
3.1 Выбор программных средств для моделирования.....	40
3.2 Моделирование операций свободной осадки, осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки.....	41
3.3 Формоизменение при осадке полых заготовок.....	49
3.4 Течение металла при деформации сплошной и полый заготовок на прессах.....	53
3.5 Анализ распределения накопленной деформации.....	58
Глава 4. Исследование влияния сочетания деформационной обработки методом винтовой прошивки и свободной осадки на механические свойства колесной стали.....	63
4.1 Методика проведения экспериментального исследования.....	63

4.2	Механические свойства колесной стали в исходном литом состоянии и после прошивки в стане винтовой прокатки.....	71
4.3	Механические свойства колесной стали после свободной осадки сплошных литых заготовок и прошитых в стане винтовой прокатки..	77
4.4	Механические свойства колесной стали после деформации на прессе сплошной и прошитой заготовки и термообработки.....	81
Глава 5	Промышленное апробирование технологического процесса производства железнодорожных колес диаметром 957 мм с использованием полых заготовок.....	88
5.1	Винтовая прошивка слитков колесной стали.....	88
5.2	Получение железнодорожных колес диаметром 957 мм на прессо-прокатной линии АО «ВМЗ» из прошитой заготовки.....	92
	Выводы.....	99
	Библиографический список.....	100

Введение

«Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года», предусматривается введение в эксплуатацию подвижных составов с повышенными скоростями движения и большей грузоподъемностью, что обуславливает необходимость совершенствования существующих и создания новых технологий производства железнодорожных колес, с более высоким уровнем эксплуатационных свойств, качества и надежности.

Повышения качества и эксплуатационных характеристик, ресурса работоспособности железнодорожных колес возможно осуществить за счет изменения химического состава колесной стали, режимов термообработки, а также улучшением качества заготовки за счет предварительной деформационной проработки исходной литой структуры методами обработки металлов давлением.

Эффективным способом деформационной проработки литой структуры за счет интенсивных сдвиговых деформаций металла является винтовая прошивка, обеспечивающая проработку структуры в особенности в периферийных частях заготовки для колесопрокатного производства.

В связи с этим, исследование возможности использования поллой заготовки, полученной прошивкой в стане винтовой прокатки, для производства железнодорожных колес является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является исследование возможности применения поллой заготовки, полученной винтовой прошивкой, для производства железнодорожных колес с повышенными эксплуатационными свойствами.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать процесс формоизменения поллой заготовки при свободной осадке и определить ее рациональные геометрические размеры;

– на основе компьютерного моделирования исследовать процесс формоизменения полых заготовок при операциях осадки, осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки. Провести сравнительный анализ течения металла и накопленной степени деформации при использовании сплошной и полый заготовок;

– исследовать влияние сочетания процесса винтовой прошивки и свободной осадки полый заготовки на механические свойства колесной стали;

– провести апробирование технологического процесса получения железнодорожных колес из полых заготовок, полученных винтовой прошивкой, в условиях прессо- прокатной линии АО «ВМЗ».

Научная новизна работы:

1. Установлено, что механические свойства железнодорожных колес, изготовленных из прошитых колесных заготовок, имеют более высокие значения пластических свойств и ударной вязкости в диске, ободе колеса, по сравнению со свойствами железнодорожных колес, изготовленных по традиционной технологии.

2. Выявлено, что винтовая прошивка с коэффициентом вытяжки $\mu=1,48$ существенно повышает пластические свойства и значения ударной вязкости колесной стали в заготовках, подвергнутых осадке на прессе.

3. Теоретическими и экспериментальными исследованиями показана возможность производства железнодорожных колес из полых заготовок с отношением $D/S=3,1$ и отношением $H/D= 1$, полученных прошивкой слитка колесной стали в стане винтовой прокатки.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, изложена на 112 страницах машинописного текста, включающего 53 рисунка, 21 таблицу, библиографический список из 98 наименований отечественных и зарубежных авторов.

Глава 1. Литературный обзор

1.1. Современное состояние производства железнодорожных колес в России и за рубежом

Железнодорожные колеса относятся к изделиям ответственного назначения, к которым предъявляются повышенные требования по эксплуатационной надежности и ресурсу работоспособности. Постоянное стремление к повышению рентабельности железнодорожного транспорта, которое достигается в основном за счет увеличения грузоподъемности вагонов и скорости движения поездов, создают очень жесткие условия эксплуатации для транспортных тележек вагонов и железнодорожного пути. Об увеличении интенсивности эксплуатации железнодорожных колес за последнее время можно судить по росту осевой нагрузки грузового вагона на рельс. Так, например, величина осевых нагрузок основного парка грузовых вагонов увеличилась в течении 1970-80-х годов с 205 до 235 кН. В вагонах нового поколения осевая нагрузка доведена до 250кН, и в ближайшей перспективе планируется ее увеличить, а рост осевой нагрузки грузовых вагонов на 10 кН ведет к сокращению срока службы колес на 5 % [1].

По форме железнодорожное колесо представляет трехэлементную конструкцию, состоящую из ступицы, диска и обода. В зависимости от климатических и эксплуатационных условий подвижного состава железнодорожные колеса имеют конструктивные отличия, существенно влияющие на прочность и надежность при эксплуатации [2, 3].

Общий объем производства железнодорожных колес в мире составляет порядка 5,2 млн. шт. в год, при этом за счет интенсивного износа большая часть производимых колес предназначена для ремонта и технического содержания подвижного состава и составляет порядка 66 % для грузовых составов и 56 %- для пассажирских [2, 4].

В зависимости от протяженности пути и развития железнодорожного транспорта распределение объемов производства железнодорожных колес относительно регионов мира неравномерно (Таблица 1.1) [5].

Таблица 1.1 Поставки колес для железнодорожного подвижного состава (тыс. шт.)

Регион-получатель	Регион – поставщик							
	Европа	Северная Америка	Южная Америка	Африка	Австралия	Азия	СНГ	Всего
Африка	40	-	-	28	-	-	39	107
Азия	7	-	-	-	-	1426	32	1465
Австралия	7	-	-	-	61	-	-	68
СНГ	5	-	-	-	-	-	1760	1765
Европа	453	-	-	-	-	-	40	493
Северная Америка	77	1210	-	-	-	-	45	1332
Южная Америка	38	-	124	-	-	-	-	162
Всего	627	1210	124	28	61	1426	1916	5392

Заводы в России производят порядка 1916 тыс. шт., что составляет более 35% от общего объема производства колес в мире [4, 5], и главным образом используют свою продукцию для обеспечения потребностей внутреннего рынка, с долей экспорта не более 10 %.

Характерной особенностью данных заводов является высокая производительность пресси- прокатных линий, которая составляет для ОАО «ВМЗ»- ≈ 800 тыс. шт. в год, ОАО «НТМК»- ≈ 500 тыс. шт..

Европейские предприятия, к которым относятся: Surahammar Bruks AB (Швеция), K LW- Weelco (Швейцария), GHH– Valdunes (Оберхаузен, Германия), BVV (Bohumer Verein Verkehrstechnik, Бохум, Германия), Rafil (Radsatzfabrik Pilsenбurg, Германия), Lucchini Sidermeccanica, входящая в состав

промышленной группы Lucchini (Италия), CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles (Испания), Bonatrans (Чехия), Taylor Bros and Co (Великобритания) производят порядка 627 тыс. шт., что составляет около 12 %. За счет значительного опыта разработок и проектирования деталей подвижного состава (в частности колес, осей и колесных пар) данные предприятия поставляют продукцию более чем в 80 стран мира, при общей доле экспортируемых колес порядка 27 % от объема производства в целом [5]. Особенностью европейских компаний, занимающихся производством железнодорожных колес, является наличие сборочных цехов, обеспечивающих сборку колес и осей, и выпускающих на рынок готовые колесные пары, что эффективно отражается на показателях производства, а также незначительный штат сотрудников до 1000 человек.

Например, компания Bonatrans, при численности чуть менее 1000 человек выпускает 200 тыс. колес в год, что эквивалентно 140 млн. евро. К 2006 году компания поставила потребителям более 2 млн. колесных пар [4].

В мировом масштабе самым крупным единичным поставщиком колесных пар является группа Griffin Wheel (США), выпускающая ежегодно около 1 млн. колес в год, в основном для грузовых подвижных составов [5].

1.2 Технологии производства железнодорожных колес

Компании, специализирующиеся на выпуске железнодорожных колес, использует два принципиально отличающихся способа производства: литьем и методами обработки металлов давлением, в частности штамповкой, штамповкой и прокаткой [2,3].

Основной объем литых колес главным образом производится в странах Северной Америки, крупнейшим производителем которых является компания Griffin Wheel (США) [5].

Технология производства литых колес заключается в выплавке колесной стали в электродуговых печах и ее разливки в графитовые формы,

соответствующие геометрической форме чернового железнодорожного колеса [6]. Далее колеса подвергают термической и механической обработке, контролю качества продукции и испытаниям. Узким местом данной технологии является сложность изготовления и невысокая стойкость графитовых форм, которая составляет порядка 4000 отливок [2]. Аналогичную технологию производства для производства железнодорожных колес используют также в Канаде, ЮАР, Италии [3].

Литые железнодорожные колеса используют в основном для грузовых вагонов, однако они менее надежны по сравнению со штампованными и цельнокатаными [7].

Технологические схемы горячего деформирования при производстве колёс, используемые на различных зарубежных и отечественных предприятиях, отличаются, как правило, рядом особенностей, связанных со специфическими условиями, присущими каждому из этих предприятий. Вместе с тем можно выделить и общие элементы технологических схем, которые нашли применение в практике производства колёс методами обработки давлением. Принципиально в производстве колёс существуют два способа, использующих либо штамповку и прокатку, либо только штамповку [2].

Технология производства железнодорожных колес методом толькоковки или штамповки позволяет снизить расходный коэффициент металла, устранить ряд дефектов, присущих технологии производства цельнокатаных колес: эксцентриситет ступицы относительно обода колеса, снизить дисбаланс колеса, исключить такие дефекты как закаты и плены на поверхности изделия, упростить технологический процесс за счет уменьшения количества агрегатов и, соответственно операций (рисунок 1.1). Колеса, полученные такими методами, отличаются более равномерной структурой и имеют более высокие механические свойства по сравнению с литыми и цельнокатаными железнодорожными колесами [2, 8-12].

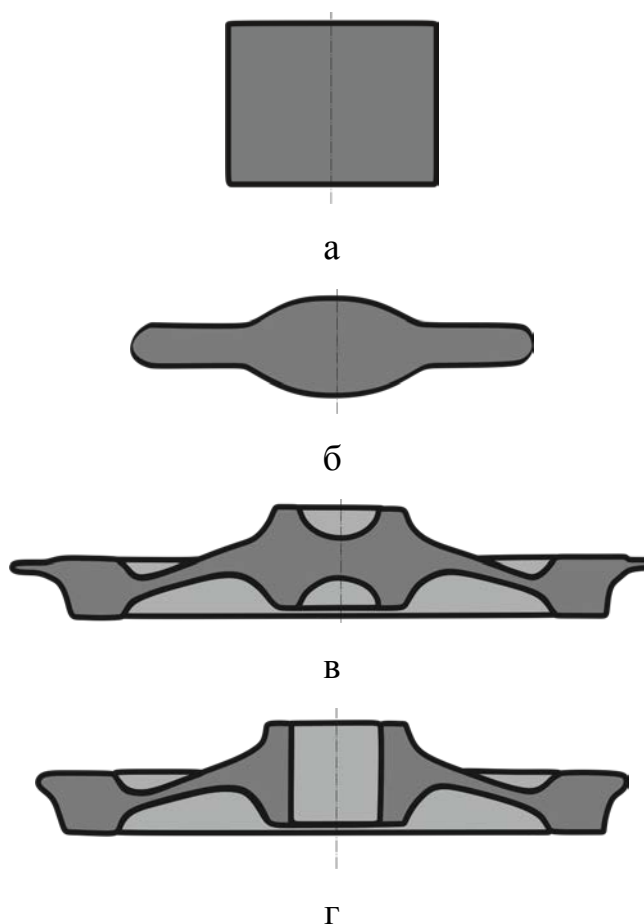


Рисунок 1.1 – Схема производства штампованных колес на заводе фирмы «Chambersburg» США: а – заготовка, б – осадка и раздача на молоте 11,34 тс., в – формовка на молоте 15,87 тс., г – прошивка отверстия и обрезка

Однако, данной технологии присущи недостатки, основным из которых относится использование оборудования, способного развивать большие усилия для формирования геометрических параметров железнодорожных колес, а также низкая стойкость деформирующего инструмента, что связано с высокими контактными давлениями на рабочих поверхностях штампов.

В связи с отсутствием оборудования необходимой мощности, такие технологии производства железнодорожных колес не реализованы в промышленных масштабах.

Реализация технологии производства железнодорожных колес без использования в технологической цепочки колесопрокатного стана такими методами как последовательная и секционная штамповка, сферодвижная штамповка, прокатка в станах системы Слика, торцевая раскатка, прокатка в

штампах, процесс AGW, поэлементная штамповка, осадки с кручением находятся на стадии исследований и разработок и не применяются в массовом производстве железнодорожных колес, что в первую очередь связано с низкой производительностью технологических линий, основанных на применении перечисленных методов [2, 8-11, 13-18] (рисунок 1.2).

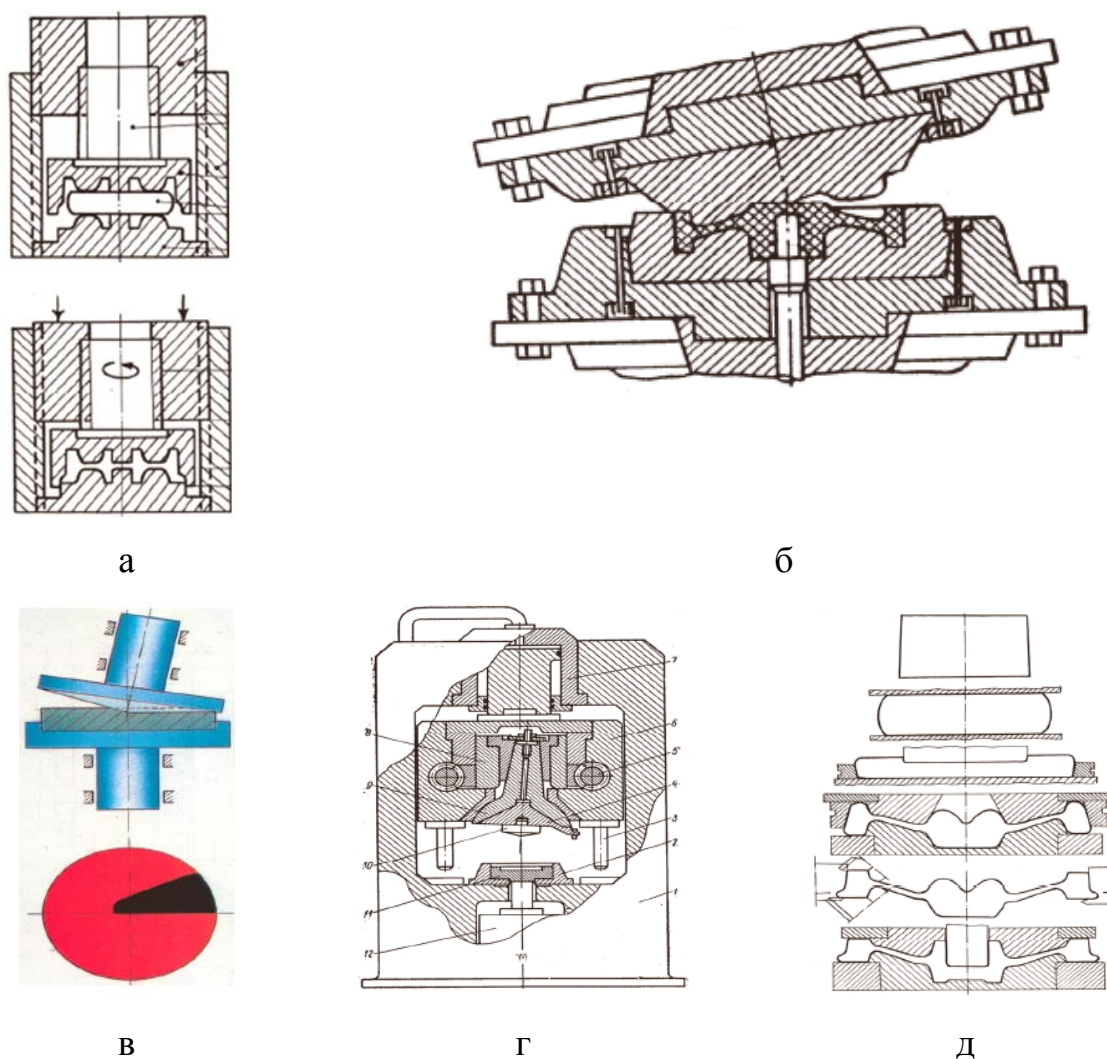


Рисунок 1.2 – Методы ОМД используемые для производства железнодорожных колес:, а- осадка с кручением (начальный момент штамповки и окончание штамповки), б- прокатка колёсных центров в штампах, в- схема деформирования и конфигурация очага деформации при раскатке на машинах AGW, г- конструктивная схема сферодвижного прессователя, д- схема поэлементной деформации колёс

Наиболее распространённой технологией производство железнодорожных колес в мире является технология с применением процессов штамповки и прокатки в колесопрокатном стане.

Срок службы таких колес главным образом зависит от условий эксплуатации подвижного состава, состояния железнодорожного пути, развития инфраструктуры и составляет порядка 300 тыс. км. для грузовых и пассажирских вагонов, работающих в сложных эксплуатационных условиях, а для высокоскоростных вагонов эксплуатируемых на линиях, с высокими требованиями содержания пути (например, французские высокоскоростные линии LGV, Сапсан), срок службы колес составляет порядка 2, 0 млн. км и более [4]. Как правило цельнокатанные колеса при износе рабочей поверхности подвергают ремонту и перетачивают 5-6 раз за все время эксплуатации [2,4].

В настоящее время цельнокатанные железнодорожные колеса для грузовых и пассажирских подвижных составов, выпускают в более 25 странах мира: Surahammar Bruks AB (Швеция), K LW- Weelco (Швейцария), GHH-Valdunes (Оберхаузен, Германия), BVV (Bohumer Verein Verkehrstechnik, Бохум, Германия), Rafil (Radsatzfabrik Ilsenburg, Германия), Lucchini Sidermeccanica, (Италия), CAF (Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles (Испания), Bonatrans (Чехия), Taylor Bros and Co (Великобритания), Sumitomo Metals (Япония), Masteel (Китай), Canadien Steel Wheel (Канада), металлургический завод в Дургапуре (Индия), Carnegy Steel, United States Steel (США), компания ИНТЕРПАЙП, ОАО «НТМК», АО «ВМЗ» (Россия), и др. [2-5, 19-21].

Принципиальная схема формообразования цельнокатаного железнодорожного колеса состоит из следующих операций: штамповка исходной заготовки на прессах, обеспечивающая полное формирование ступицы и прилегающей части диска; раскатка диска и обода колеса в колесопрокатном стане, с полным формированием диска и обода колеса; выгибка диска и калибровка обода колеса.

Отличия различных производств состоят, прежде всего, в количестве прессов и их мощности, в степени распределения операций между ними, а также в выборе момента, когда прошивается центральное отверстие в ступице, и типе применяемого колесопрокатного стана [2, 8].

Технологические схемы деформирования заготовки на прессо- прокатной линии отечественных предприятий представлены на рисунках 1.3, 1.4.

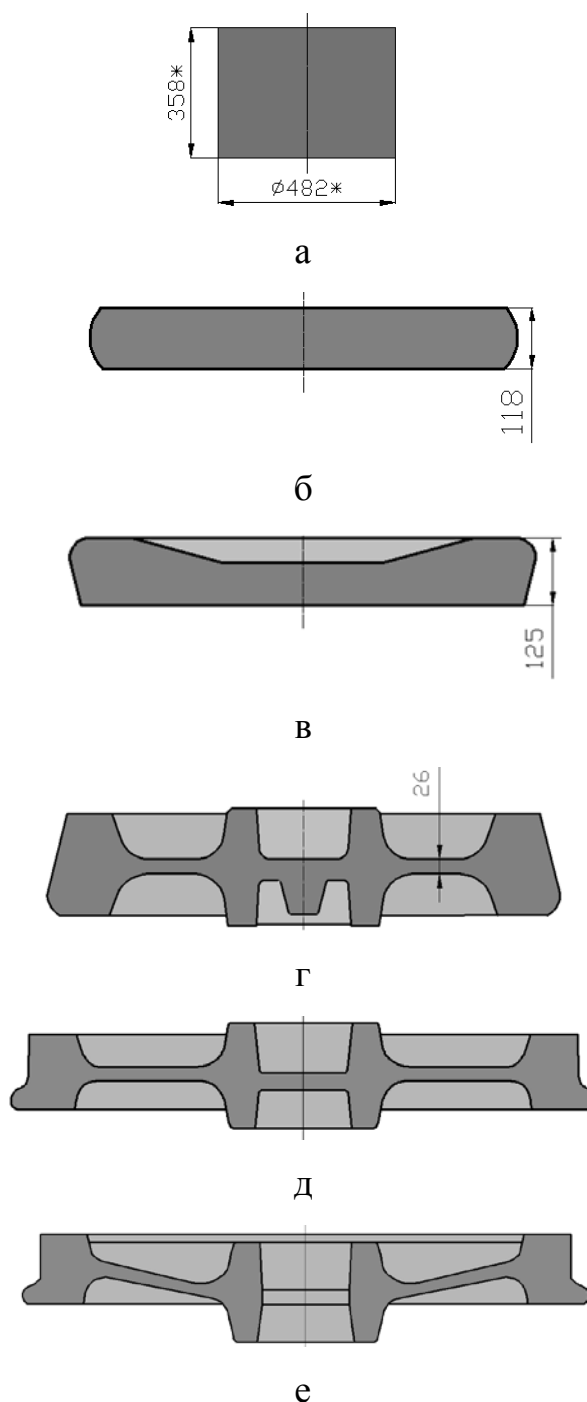


Рисунок 1.3 – Схема деформации заготовки на прессо- прокатной линии АО «ВМЗ»: а - исходная заготовка, б- свободная осадка (пресс 19,6 МН), в-

осадка и разгонка в технологическом кольце (прессе 49 МН), г-формовка (пресс 98 МН), д- раскатка на колесопркатном стане, е- выгибка диска, калибровка обода, прошивка отверстия ступицы (пресс 34,3 МН). (*-размеры исходной заготовки в горячем состоянии)

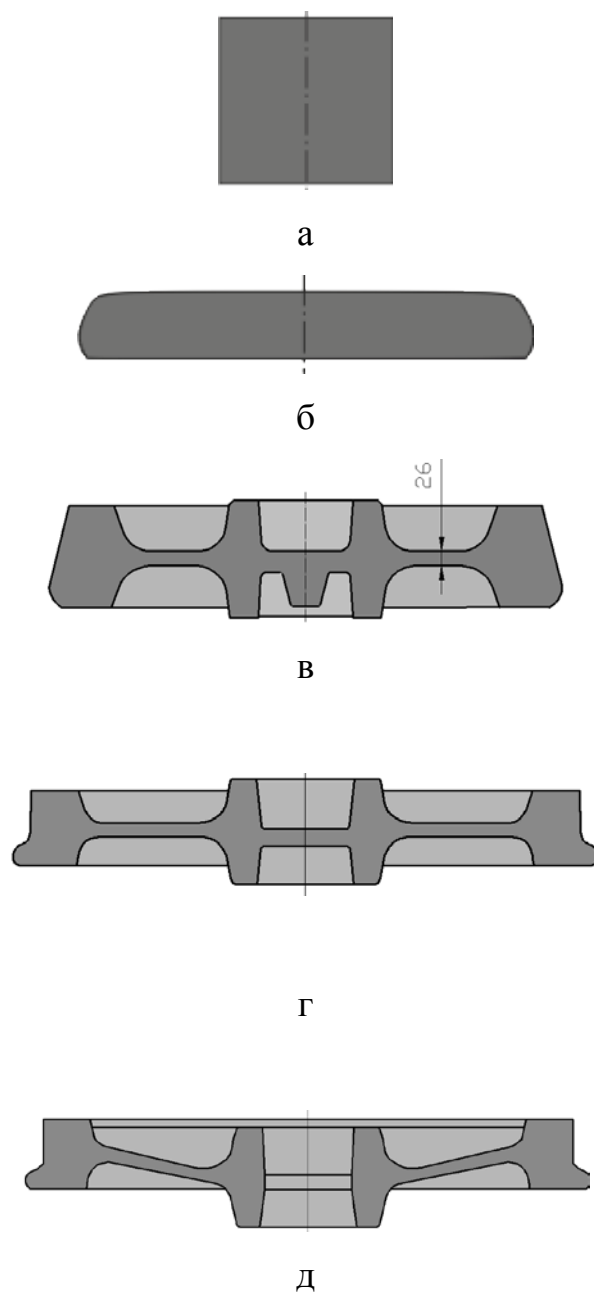


Рисунок 1.4 – Схема деформации заготовки на прессо- прокатной линии ОАО «НТМК»: а – исходная заготовка, б – обжатие заготовки в кольце на прессе 50 МН, в – формовка на прессе 90 МН, г –раскатка на колесопркатном стане, д – выгибка диска, калибровка обода и прошивка отверстия в ступице колеса на прессе 50 МН

Применение колесопрокатного стана при производстве железнодорожных колес обеспечивает значительные преимущества, в частности, позволяет не только сформировать заданный профиль на наружной поверхности обода, но и в 3–4 раза снизить требуемое усилие [2, 8].

Количество и мощность прессов в линии по производству колёс влияет, прежде всего, на её производительность. Наличие отдельных прессов для предварительной осадки заготовки и для её формовки позволяет распределить операции между агрегатами и, тем самым, существенно повысить часовую производительность линии [2, 8].

Применение колесопрокатного стана в технологической схеме производства колёс расширяет технологические возможности производственной линии, однако чревато появлением таких дефектов, как несоосность ступицы и обода, резкий переход от штампованной к прокатанной части диска колеса, плёны, закаты и т.д. [2].

Отличительная особенность технологических схем производства железнодорожных колес на АО «ВМЗ» и ОАО «НТМК» является количество прессов и тип колесопрокатного стана: на АО «ВМЗ» – горизонтального типа, ОАО «НТМК»- вертикального.

Технологические линии производства цельнокатаных железнодорожных колес в России основаны на использовании литой заготовки, получаемой разрезкой слитка или непрерывнолитой заготовки на части. Недостатки присущие заготовкам с литой структурой обуславливают в дальнейшем уровень эксплуатационных характеристик и надежности готового изделия.

При производстве железнодорожных колес особое внимание уделяется получению не только необходимой геометрической формы колеса, но и механических свойств, формирующихся при деформации исходной заготовки.

Проработка литой структуры металла по существующим технологическим схемам производства достигается в процессе формоизменения заготовки на прессо- прокатной линии.

Учитывая, что по своей геометрической форме железнодорожное колесо представляет трехэлементную конструкцию, то при изготовлении его элементы подвергаются различной величине деформации. Наибольший вклад в формирование механических свойств железнодорожных колес вносит операция осадки. Как показано в работе [22], дальнейшее деформирование на прессо-прокатной линии не оказывает существенного воздействия.

В связи с тем, что операция свободной осадки характеризуется значительной неравномерностью распределения деформации по сечению [23, 24], объемы металла, примыкающие к боковой поверхности, являются наименее деформированными, однако из них при последующих операциях формируется наиболее ответственная часть колеса – обод.

1.3 Исходные заготовки и материалы, применяемые для производства железнодорожных колес

Уровень физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик железнодорожных колес определяется химическим составом колесной стали, который оговорен техническими условиями Международного союза железных дорог (UIC) и Международной организацией по стандартизации (ISO).

В качестве исходного материала для производства цельнокатаных железнодорожных колес применяют углеродистые стали, содержание углерода в которых находится в широком интервале от 0,4 до 0,8% С, что связано с работой колес в различных эксплуатационных условиях и их назначением [2, 8].

Для тяжело нагруженных грузовых подвижных составов используют колеса, изготовленные из высокоуглеродистых марок стали. Увеличение содержания углерода в стали повышает прочность, износостойкость, способствует повышению усталостной выносливости колес и контактной прочности, однако ухудшает стойкость против образования термических

повреждений. Учитывая повышение скоростей подвижных составов и увеличение в связи с этим термических повреждений, содержание углерода в стали для колес, работающих в условиях с тяжелыми режимами торможения, в частности для скоростных и высокоскоростных поездов, снижают [2, 8].

В настоящее время в России цельнокатаные железнодорожные колеса изготавливают из стали четырех марок (таблица 1. 2) для грузовых подвижных составов с осевой нагрузкой до 30 КН, для пассажирских подвижных составов, с различной скоростью движения (свыше 200 км/ч) и низкими осевыми нагрузками [26].

Таблица 1.2 Химический состав стали, используемой для производства железнодорожных колес

Марка стали	Массовая доля химических элементов, %								
	углерод	марганец	кремний	ванадий	сера	фосфор	хром	никель	медь
1	0,44- 0,52	0,8-1,2	0,4-0,65	0,08- 0,15	≤0,02	≤0,03	≤0,3	≤0,3	≤0,3
2	0,55- 0,63	0,5-0,9	0,22- 0,45	≤0,1	≤0,025	≤0,03	≤0,3	≤0,3	0,3≤
Т	0,62-0,7	0,5-1,0	0,22- 0,65	≤0,15	0,005- 0,025	≤0,03	≤0,4	≤0,3	≤0,3
Л	0,48- 0,54	0,8-1,2	0,45- 0,65	0,08- 0,15	≤0,02	≤0,03	≤0,25	≤0,25	≤0,25
Примечание- массовая доля молибдена не должна превышать 0,08%, титана - 0,03 %, ниобия-0,05 %.									

В практике производства цельнокатаных железнодорожных колес в качестве исходной заготовки используют как литые заготовки (слиток, НЛЗ, индивидуальные литые заготовки), так и предварительно деформированные (катанные круглые заготовки, предварительно прокованные слитки) [2].

На отечественных предприятия выплавку колесной стали производят по схеме (таблицы 1.3) [27]. Выплавку стали производят в кислородных конверторах, электропечах и мартеновских печах [2].

На ОАО «НТМК» проведена реконструкция, предусматривающая переход на качественно новый уровень технологии [28]: выплавку стали конвертерным способом, внепечную обработку в ковше-печи, вакуумирование и разливку на МНЛЗ. Такая технология обеспечивает получение стали со стабильным химическим составом от плавки к плавке [9].

Таблица 1.3 Технология производства стали

Предприятие	Плавильный агрегат	Внепечная обработка стали		Раскисление стали		Разливка стали	Продувка стали
		Ковш-печь	Ваку-уматор	Al	SiCa		
ОАО «НТМК»	Конвертер	+	+	На ковше печи (прово-лока)	На ковше печи (прово-лока)	МНЛЗ Ø430мм	На ковше-печи
АО «ВМЗ»	Мартеновская печь	+	+	На ковше печи (прово-лока)	На ковше печи (провол-ока)	Слитки (3,5т) (сифон)	На ковше-печи

Для получения более чистой стали в условиях мартеновского цеха АО «ВМЗ» разработана технология выплавки, раскисления и разливки, предусматривающая продувку плавки аргоном, применение твердых шлакообразующих смесей, использование сталеплавильных ковшей с нейтральной или основной футеровкой, рациональное двухстадийное

раскисление, отсечку печного шлака и др. Внепечную обработку осуществляют на установке ковш- печь и вакууматоре. Разработанная технология обработки колесной стали на установке ковш- печь, заключающаяся в подготовке в мартеновской печи полупродукта, выпуске и доведении его до требуемого химического состава. Это позволяет получать сталь с узким диапазоном содержания химических элементов [29-30].

Особое внимание при выплавке стали транспортного назначения уделяется неметаллическим включениям, являющимися концентраторами напряжений [31].

Загрязненность стали ободьев колес неметаллическими включениями не должна превышать значений, указанных в таблице 1.4 [26].

Таблица 1.4 Загрязненность стали ободьев колес неметаллическими включениями

Тип включений	Условные обозначения включений	Средний балл, не более, для колес категории	
		А	В
Оксиды строчечные	ОС	1	1
Оксиды точечные	ОТ	1,5	2,5
Силикаты хрупкие	СХ	1,5	2
Силикаты пластичные	СП	1,5	2
Силикаты недеформирующиеся	СН	2,0	2,5
Сульфиды	С	1,5	2

Отличительной особенностью производства железнодорожных колес отечественных прессо- прокатных линий является высокий расходный коэффициент металла. Это связано с большим разновесом исходных колесных заготовок, который может достигать 40 кг. [32]. Поэтому эффективность технологий производства цельнокатаных железнодорожных колес определяется также точностью и стабильностью размеров колесных заготовок [33, 34].

На предприятиях ведущих мировых производителей колес, таких как «Bochumer Verein», «Valdunes», ОАО «НТМК» и некоторых других, используют непрерывнолитые заготовки. При этом заготовки имеют стабильные геометрические размеры, а их отклонения по массе составляет 0,3-0,5% [34]. На ОАО «НТМК» разновес колесных заготовок составляет $\pm 1,5$ кг. [9].

Проведенные мероприятия на АО «ВМЗ» (применение проточенных изложниц, деление заготовок дисковыми пилами) позволили снизить разновес до $\pm 4,5$ кг. [10].

Для повышения точности геометрических размеров черновых колес используют различные калибровки рабочего инструмента [36].

В настоящее время для повышения эксплуатационных характеристик железнодорожных колес предъявляют высокие требования как по прочности, твердости, так и пластическим свойствам, сопротивлению ударным нагрузкам [37-39].

Одним из важных параметров повышения эксплуатационной стойкости колес, является увеличение уровня твердости обода колеса, что достигается за счет применения эффективных режимов термообработки [40, 41].

1.4 Совершенствование технологии производства железнодорожных колес для повышения эксплуатационных свойств

Повышение механических и эксплуатационных свойств железнодорожных колес, возможно, осуществить несколькими способами: изменением химического состава стали, термообработкой, а также за счет деформационной проработки литой структуры металла заготовок как на этапе подготовки исходной заготовки перед деформацией на прессо- прокатной линии, так и за счет применения калибровок рабочего инструмента и режимов деформирования обеспечивающих проработку литой структуры металла.

Увеличение содержания углерода в металле способствует повышению усталостной выносливости колес, но до определенного предела, превышение которого ухудшает работоспособность колес. Для изготовления колес грузовых вагонов оптимальной считается сталь с 0,65-0,70 % C, такое содержание углерода обеспечивает наибольшее содержание карбидной фазы в металле. При большей массовой доле углерода ухудшаются пластичность и сопротивляемость металла хрупкому разрушению, возрастает вероятность развития на поверхности катания колес поперечных трещин вследствие термомеханического воздействия [42].

Повышение прочности стали и эксплуатационных характеристик, при ограничении содержания углерода, достигается также путем легирования и микролегирования различными элементами (марганцем, хромом, азотом, ванадием, титаном, молибденом, бором, алюминием, ниобием и др.), либо их сочетанием [43- 46].

Современные исследования влияния легирующих элементов на эксплуатационные свойства колесной стали, показывают, что наиболее эффективным элементом можно считать ванадий, применением которого обеспечивается как повышение вязкости металла (в том числе и при отрицательных температурах), так и высокое сопротивление термическим повреждением, что увеличивает износостойкость и контактную выносливость слоев обода колеса [47, 48].

Однако, улучшение потребительских свойств колесной стали легированием не производят. Считается малоэффективным влияние легирования на эксплуатационные характеристики металла колес с содержанием углерода более 0,5% [42].

Увеличение износостойкости и сопротивления к термическим повреждениям обеспечивается при использовании эффективной термической обработки [49]. В странах с высокоскоростным движением используют колеса с бейнитной структурой в ободке колеса, которая значительно повышает износостойкость.

Повышение качества и механических свойств железнодорожных колес можно осуществить за счет предварительной проработки литой структуры металла методами обработки металлов давлением. Известно, что деформированные заготовки с предварительно проработанной литой макроструктурой по сравнению с литыми заготовками обладают более высокими прочностными и пластическими свойствами. Их использование для производства транспортной металлопродукции позволяет существенно повысить надежность и эксплуатационные характеристики железнодорожных колес. Помимо повышения надежности колес производственная практика показала, что использование исходной деформированной заготовки имеет ряд преимуществ по сравнению с литой заготовкой. Использование катаной заготовки в качестве исходной для производства железнодорожных колес позволило снизить отбраковку железнодорожных колес по неметаллическим включениям, газовым пузырям и другим дефектам металлургического происхождения. Также за счет стабильных геометрических размеров исходной катаной заготовки была повышена стабильность размеров и массы черновых колес, что позволило снизить припуски на их механическую обработку и, как следствие, увеличить выход годного [2].

Улучшения качества исходной заготовки, возможно достичь прошивкой литой заготовки в стане винтовой прокатки, которая за счет интенсивных сдвиговых деформаций обеспечивает проработку литой структуры как на периферии, так и в центральной части заготовки (рисунок 1.5) [50].

Основной деформационный эффект проработки структуры металла достигается за счет макросдвиговых процессов в обжимаемой заготовке. Чем значительнее их развитие, тем при меньшей вытяжке металл может достичь необходимого уровня механических свойств [51, 52].

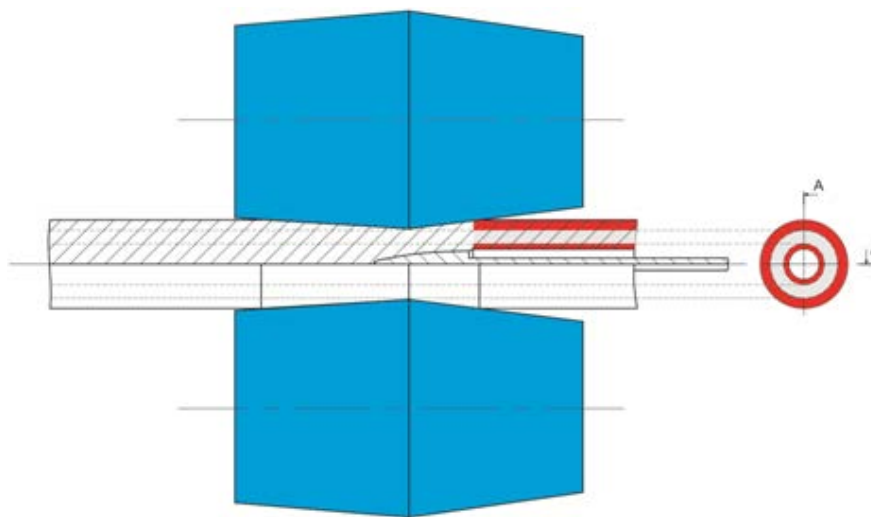


Рисунок 1.5 – Зоны деформации при прошивке на стане винтовой прокатки (от рабочих валков и оправки)

Для винтовой прокатки в силу специфических особенностей процесса одной и той же величины обжатия за пропуск можно достичь при различных углах подачи. Угол подачи влияет на траекторию тангенциального сдвига и глубину проникновения сдвиговой деформации во внутренние объемы металла заготовки. С увеличением угла подачи глубина проникновения сдвиговой деформации и крутизна траектории сдвига возрастают, т.е. имеется возможность влияния на величину проработки структуры металла по сечению заготовки [50- 52].

Сдвиговые смещения металла и соответствующее формирование слоев текучести, образующих волокнистую макроструктуру изделия, при прокатке осуществляются по траектории логарифмической спирали. При винтовой прокатке в поперечном сечении заготовки формируется полосчатая спиральная макроструктура (рисунок 1.6, 1.7) [53, 54].

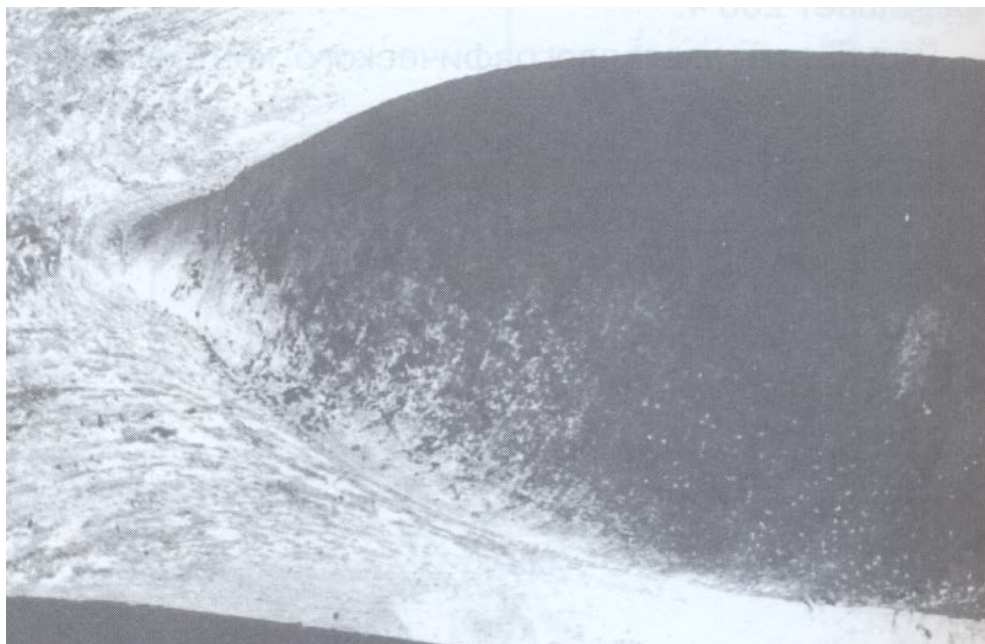


Рисунок 1.6 – Макроструктура заготовки в очаге деформации при прошивке в гильзу (продольное сечение)

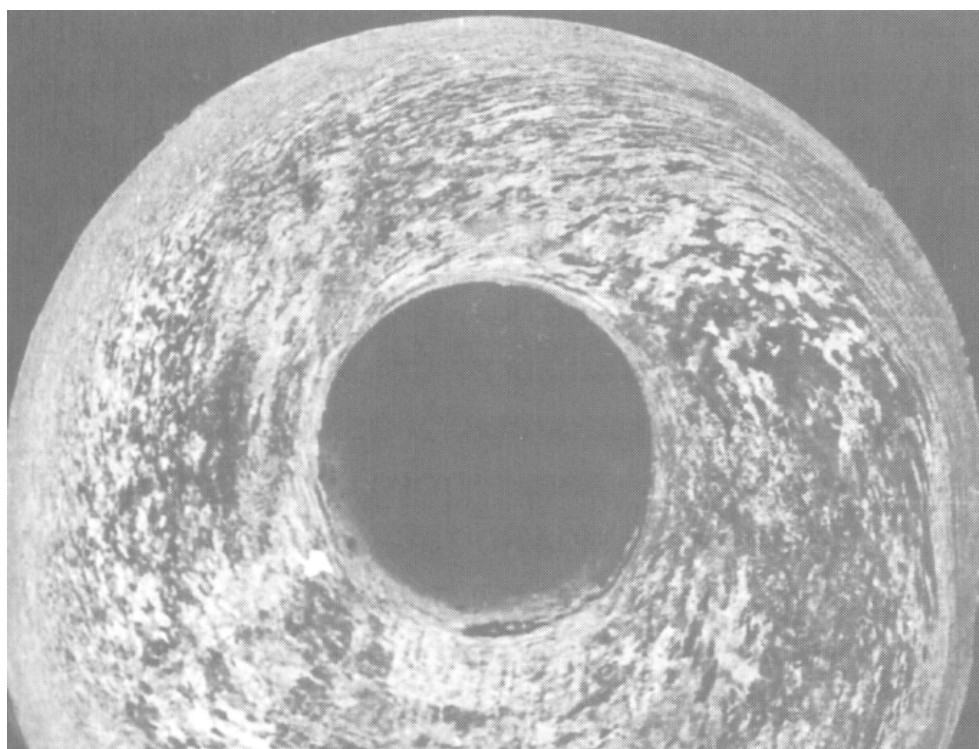


Рисунок 1.7 – Макроструктура заготовки в плоскости пережима валков (поперечное сечение)

В дальнейшем при изготовлении колес полосчатая макроструктура заготовок, сформированная этими способами прокатки, может иметь разную

ориентировку на круге катания обода. При изготовлении из заготовки продольной прокатки полосчатая макроструктура на круге катания будет располагаться в виде параллельных полос по периметру колеса.

Полосчатая спиральная макроструктура заготовки винтовой прокатки вблизи рабочей поверхности обода приобретает практически кольцообразный вид, и при выходе на круг катания будет формировать полосы параллельные образующей колеса. Подобное расположение волокон материала в ободке колеса придаст изделию более высокую выносливость при циклических и ударных нагрузках по сравнению с другой их ориентацией [55].

По этой причине использование заготовки, полученной способом винтовой прокатки, для производства металлопродукции позволит повысить эксплуатационный ресурс железнодорожных колес по сравнению с исходными литыми заготовками (слиток, НЛЗ). К тому же при винтовой прокатке в результате развития значительных макросдвиговых процессов в объеме заготовки по сравнению с другими способами деформации (ковка, продольная прокатка) будет достигаться лучшая проработка литой структуры даже при относительно небольших величинах обжатия [56-58].

Ранее проведенные экспериментальные исследования в НИТУ «МИСиС» показали эффективность процесса винтовой прокатки для повышения механических свойств изделий различного назначения [59, 60].

На основе исследования влияния винтовой прокатки на механические свойства металлов и сплавов было показано, что винтовая прокатка значительно повышает пластические свойства металла изделия [61], значений ударной вязкости без снижения прочностных характеристик [61, 62].

Изменение технологического процесса производства железнодорожных колес для повышения качества продукции и выхода годного на действующих предприятиях РФ при определенном наборе оборудования и соответствующей технологии является всегда крайне сложной задачей. В то же время улучшение каких-либо характеристик продукции или показателей деятельности

предприятия без существенных изменений в технологии изготовления изделий, как правило, малоэффективно.

В связи с этим, наиболее возможный и эффективный способ снижения себестоимости продукции и повышения ее качества и эксплуатационных свойств заключается в изменении технологии получения исходной заготовки для производства колес[63], который может быть реализован путем использования полой заготовки, прошитой в стане винтовой прокатки.

Сочетание винтовой прокатки с традиционными технологиямиковки, штамповки, прокатки, прессования в комплексных технологических процессах способствует достижению чрезвычайно высоких значений интенсивности деформаций, обеспечивает глубокую проработку литой структуры и создает условия для формирования ультра мелкого зерна и структур наноразмера с градиентным распределением по сечению[64].

Это направление исследований является одним из наиболее инновационных путей решения проблем интенсификации производства изделий ответственного назначения; резкого повышения качества металлопродукции при одновременном снижении материалоемкости.

Глава 2. Экспериментальное исследование формоизменения полых заготовок

Из теории и практики ОМД известно, что в зависимости от условий контактного трения, реологических свойств материала, термомеханических режимов, исходных геометрических параметров полых заготовок характер течения материала в процессе формоизменения осажённой полый заготовки может существенно изменяться. Формоизменение «высоких» полых заготовок может сопровождаться зажимом металла в средней части высоты поковки и как следствие привести к отбраковке изделия.

2.1 Выбор геометрических параметров исходных полых заготовок

Замена исходной сплошной колесной заготовки на полую, такого же объема, приводит к увеличению высоты последней.

Известно, что с увеличением отношения высоты полый заготовки к внешнему диаметру (H/D) и отношением внутреннего диаметра к наружному диаметру (d/D) формоизменение полый заготовки при свободной осадке в условиях контактного трения может протекать с образованием зажима металла.

Одним из показателей геометрической формы исходной заготовки при условии деформирования полых заготовок без смазки, определяющим характер течения металла, является отношение толщины стенки к высоте заготовки (S/H) [65].

При свободной осадке заготовок с отношением $S/H \geq 0,5$, металл течет в сторону периферии и к оси заготовки, либо только в сторону периферии без изменения диаметра внутренней полости. При $S/H < 0,5$ формоизменение сопровождается изгибом внутренней стенки полости в сторону периферии, что при последующей деформации может привести к зажиму металла внутри отверстия (рисунок 2.1).

Также, на основе экспериментальных исследований свободной осадки полых заготовок определены критические геометрические параметры полых заготовок [66]. Осадка заготовок, геометрические параметры которых укладываются в область, ограниченную осями координат и кривыми графиками, протекает без образования зажима. (рисунок 2.2).

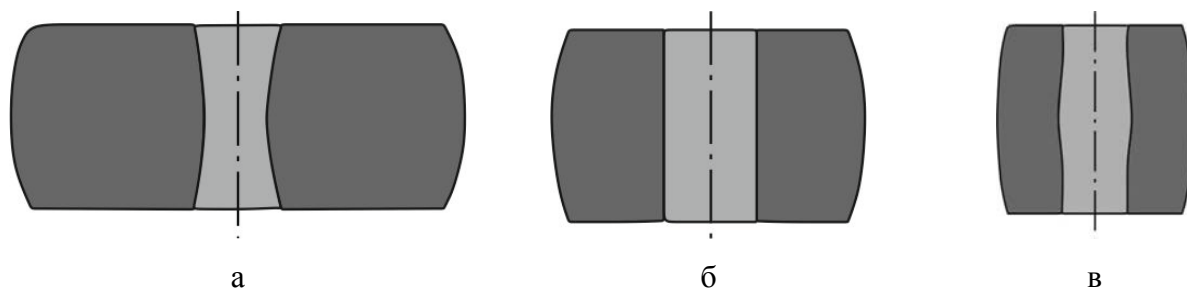
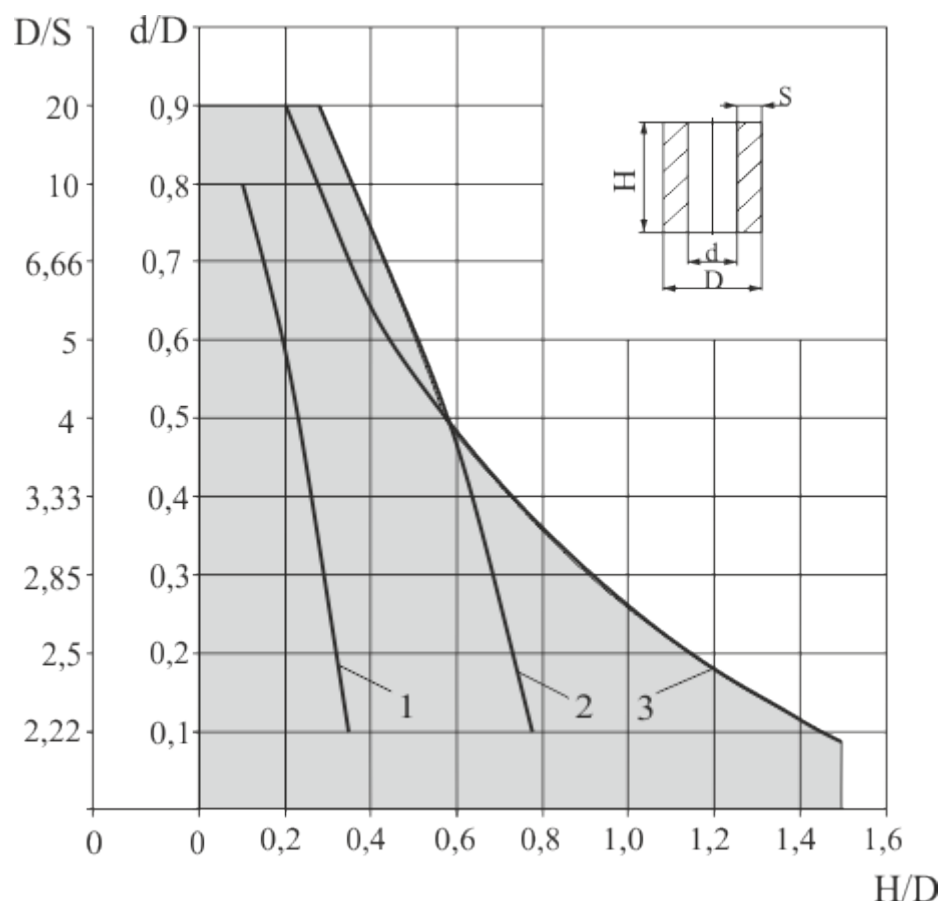


Рисунок 2.1 – Формоизменение металла при свободной осадке полых заготовок: а, б – при отношении толщины стенки к высоте заготовке $S/H \geq 0,5$, в- при $S/H < 0,5$

Для стабильного ведения процесса прошивки в стане винтовой прокатки рекомендуют получать гильзы с отношением наружного диаметра к толщине стенки D/S не меньше 3 [67].



■ - область размеров полых заготовок, при свободной осадке которых не образуется зажим.

Рисунок 2.2 – Критические размеры свободно осаживаемых цилиндрических полых заготовок: 1- Л. Г. Степанского; 2- И. Я. Тарновского и А. А. Поздеева; 3- А. В. Алтыкиса

При получении толстостенных гильз с отношением $D/S > 3$, прошивкой исходного слитка колесной стали диаметром 474 мм в стане винтовой прокатки, геометрические размеры исходной колесной заготовки будут находится за пределами области рекомендуемых параметров полых заготовок, при осадке которых не образуется зажима металла [66, 68, 69].

Например, для производства железнодорожных колес диаметром 957 мм используют заготовку с размерами $D=482$ мм, $H=358$ мм (геометрические размеры колесной заготовки в горячем состоянии). Для этого случая выбираем полую заготовку с $D/S=3,12$ ($D=445$ мм, $d=160$ мм) и на основе постоянства

объема высота такой заготовки будет равна $H = 482,4$ мм, $d/D = 0,36$, $H/D = 1,08$, $S/H = 0,30$.

В то же время, на основе результатов экспериментальных исследований было показано, что при осадке полых заготовок с отношением $d/D = 0,32$ и $H/D = 1$, $D/S = 2,94$, не образуется зажима металла и формоизменение протекает с закрытием полости отверстия [70].

Для возможности получения железнодорожных колес из заготовок, прошитых в стане винтовой прокати, проведено исследование формоизменения полых заготовок с отношением $D/S > 3$, на основе физического и компьютерного моделирования технологических операций прессо- прокатной линии АО «ВМЗ»: свободной осадки, осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки.

Исследование проводилось в два этапа. На первом этапе проводился качественный физический анализ формоизменения полых заготовок на модельных образцах.

На втором этапе выполняли компьютерное моделирование формоизменения полых заготовок по стадиям технологического процесса.

Для определения рациональных геометрических размеров заготовок моделирование технологических операций осуществлено в соответствии со схемой производства железнодорожных колес диаметром 957мм (см. рисунок 1.3).

2.2. Методика проведения экспериментальных исследований

В качестве исходной заготовки на предварительном этапе проведения исследования свободной осадки полых заготовок была выбрана заготовка с наружным диаметром 450 мм, внутренним 160 мм, отношение наружного диаметра к толщине стенки $D/S = 3,1$.

Высота заготовки для моделирования равна 470,16 мм, отношение внутреннего диаметра к наружному $d/D \approx 0,355$, отношение высоты к наружному диаметру $H/D = 1,04$.

Исследования формоизменения металла при свободной осадке, осадке и разгонки в технологическом кольце, формовки проведено на основе метода физического моделирования на образцах из свинца марки СЗС и стали 60, которая по химическому составу наиболее близка к колесной стали марки Т (таблица 2.1, 2.2).

Основное преимущество свинца для применения в исследованиях процессов обработки металлов давлением- это его реологические свойства. При комнатной температуре они соответствуют вязкопластическому состоянию, что можно принять для моделирования среднелегированных конструкционных сталей при горячей деформации.

Для получения свинцовых моделей хорошего качества, выплавленные слитки для измельчения структуры, повышения плотности отливки и выравнивания механических свойств, были отпрессованы с рекомендованным коэффициентом вытяжки $\mu = 2,3$ [71].

Таблица 2.1 Химический состав образцов из свинца СЗС

Марка свинца	Массовая доля элементов, %								
	Pb	Ag	Cu	Zn	Bi	As	Sn	Sb	Fe
СЗС	99,5	0,01	0,09	0,07	0,15	0,05	0,1	0,2	0,1

Таблица 2.2 Химический состав исследовательских образцов из стали 60

Марка стали	Массовая доля элементов, %							
	C	Mn	Si	Cu	Cr	Ni	P	S
Сталь 60	0,57-0,65	0,5-0,8	0,17-0,37	до 0,25	до 0,25	до 0,25	до 0,035	до 0,035

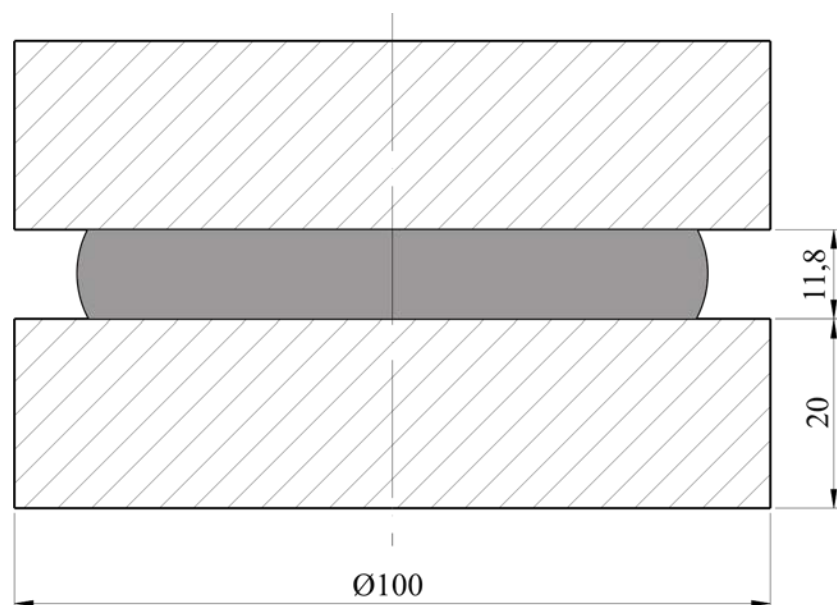
Эксперимент по моделированию технологических операций с применением полой заготовки выполнили на образцах с отношением $d/D=0,355$, $H/D=1$ (масштаб геометрического подобия $m=10$): наружный диаметр $D=45$ мм, внутренний диаметр $d=16$ мм, высота $h=45$ мм.

Деформацию образцов осуществляли на гидравлическом прессе усилием 2,50 МН (рисунок 2.3). Стальные заготовки перед деформацией предварительно нагревали в камерной печи электросопротивления до температуры $T=1200$ °С.

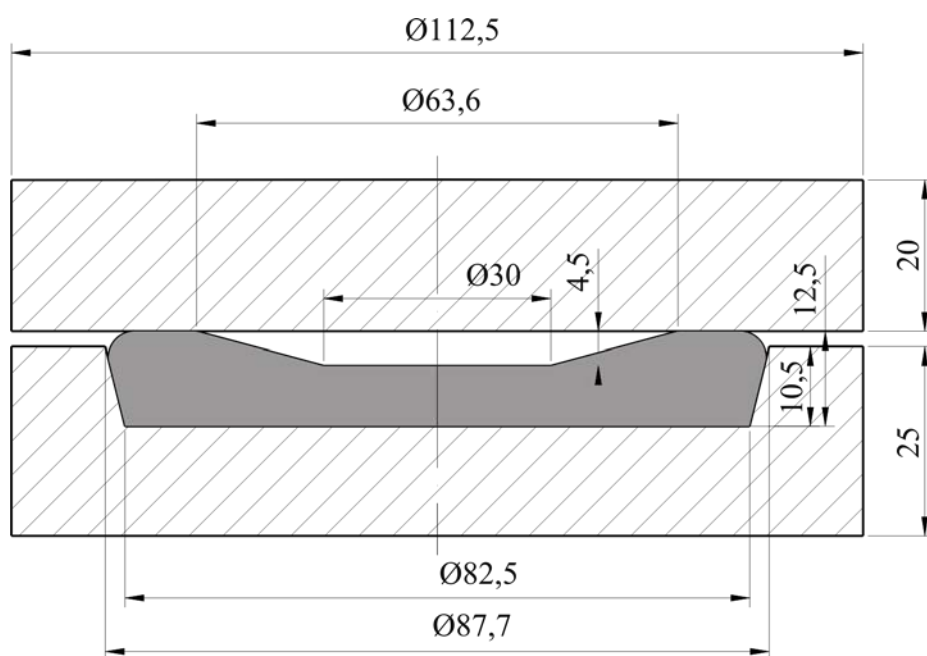


Рисунок 2.3 – Гидравлический пресс П-250

Для моделирования операций свободной осадки использовали плоскопараллельные шероховатые плиты. Моделирование операций свободной осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки проведено с использованием инструмента, изготовленного с масштабом геометрического подобия $m=10$ (рисунок 2.4- 2.6).

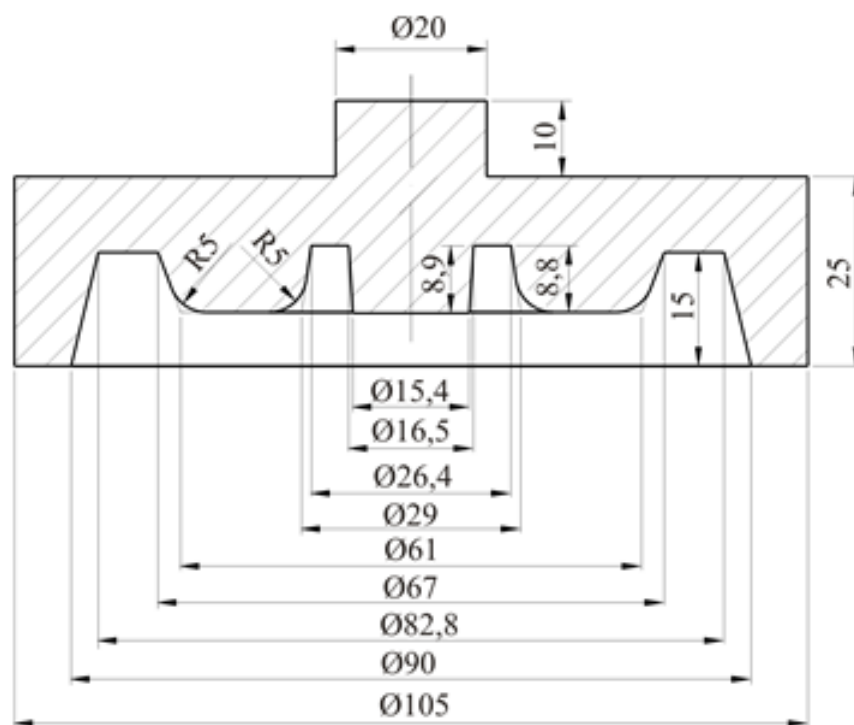


а

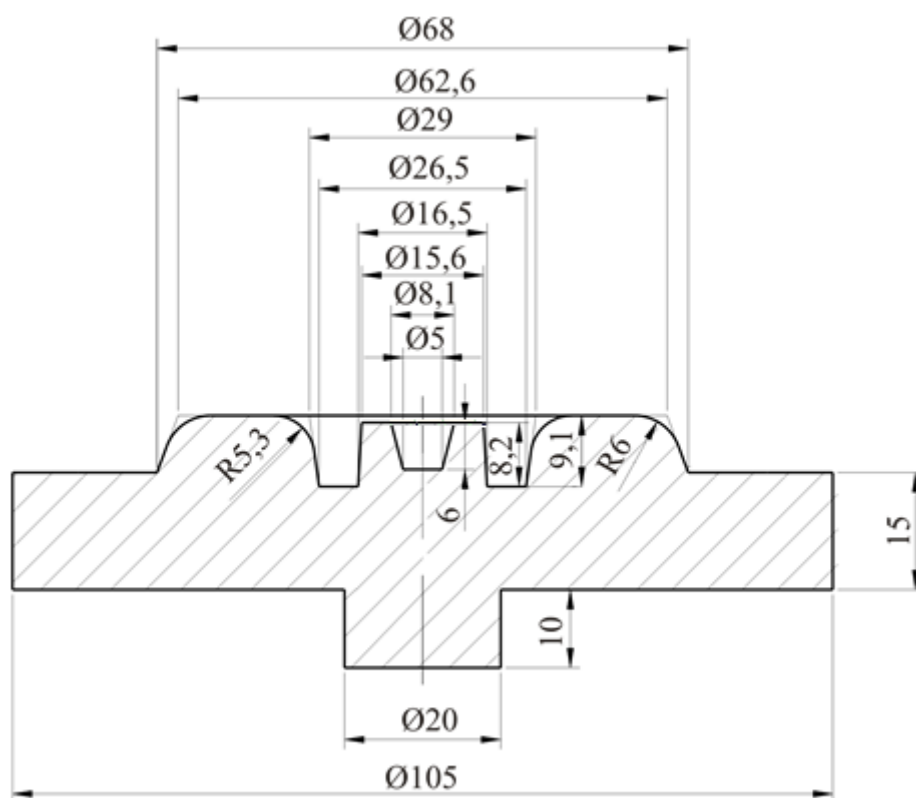


б

Рисунок 2.4 – Схема инструмента для моделирования осадки (а) и осадки и разгонки в технологическом кольце (б)



а



б

Рисунок 2.5 – Штамп формовочный верхний (а) и нижний (б)



Рисунок 2.6 – Установка заготовки перед операцией формовки

При производстве железнодорожных колес осадку сплошной заготовки проводят до высоты 118 мм, поэтому для соблюдения геометрического подобия в процессе деформации осадку полых модельных заготовок проводили до конечной высоты 11,8 мм. Последующее моделирование операций свободной осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки проводили в соответствии с масштабом геометрического подобия. Деформирование в штампах при операции формовки проведено до толщины полотна диска 2,6 мм.

После разрезки осажённых заготовок по диаметральной плоскости было установлено, что формоизменение полых свинцовых и стальных образцов различно (рисунок 2. 7).

При свободной осадке свинцовых образцов с относительной степенью деформации $\epsilon \approx 20\%$, формоизменение протекает с расширением полости заготовки. При дальнейшем деформировании $\epsilon \approx 40\%$, течение металла осуществляется как в сторону периферии, так и к оси заготовки. Происходит выравнивание внутренней стенки отверстия. При $\epsilon = 72\%$ отверстие закрывается практически полностью.

Осадка стальных образцов на начальных стадиях деформации протекает без изменения диаметра внутренней полости, а с увеличением ε течение металла сопровождается двухсторонним истечением: в сторону периферии и к оси заготовки.

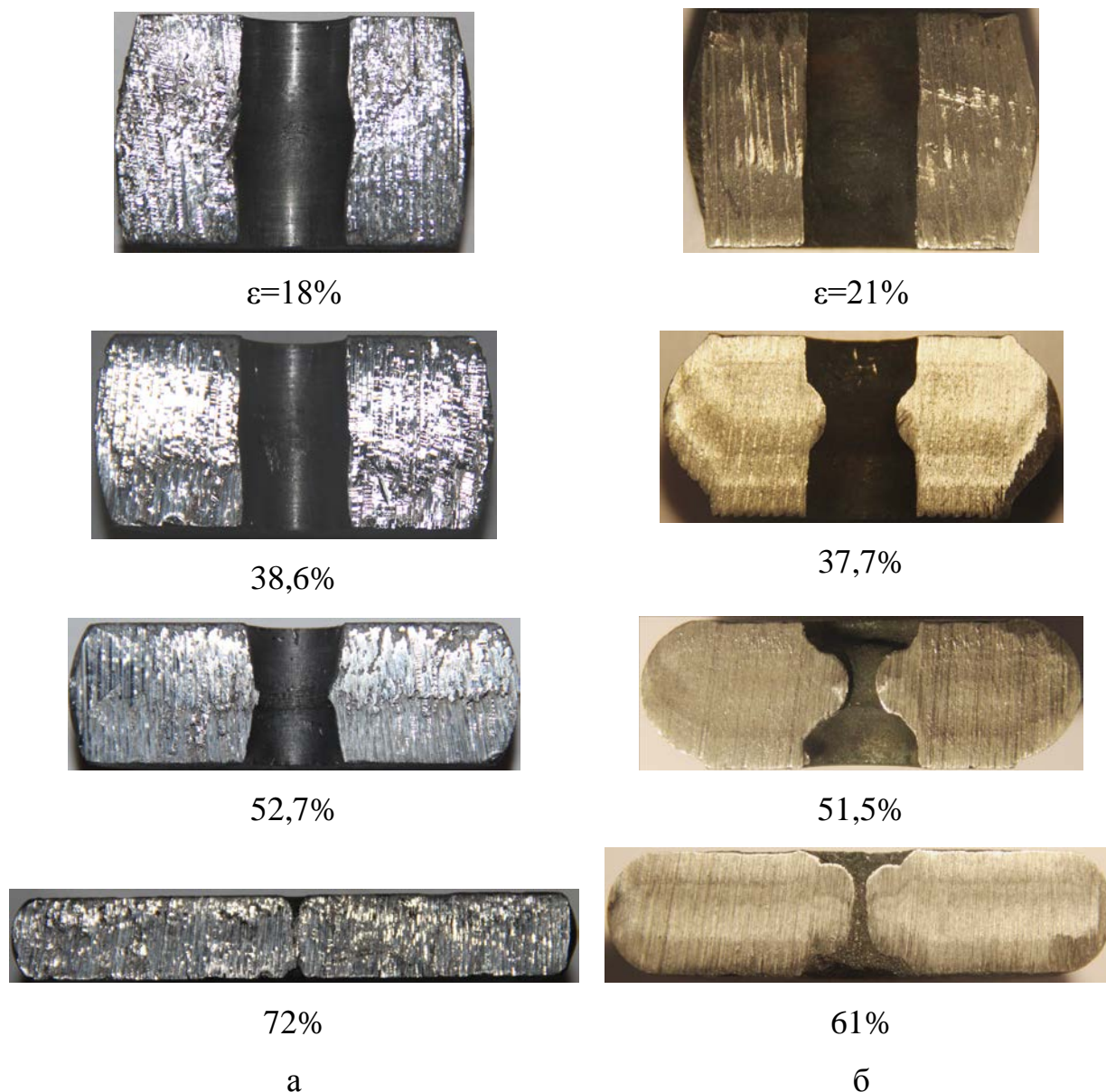


Рисунок 2.7 – Формоизменение полых заготовок при свободной осадке: а- свинцовые образцы ($D=46$ мм, $d=16$ мм, $H=44$ мм), б- образцы из стали 60 ($D=45$ мм, $d=16$ мм, $H=45$ мм)

Различное формоизменение свинцовых и стальных образцов при относительной степени деформации $\varepsilon \approx 18-40\%$ объясняется, вероятно, влиянием подстуживания контактных поверхностей заготовки, о чем

свидетельствует внутренняя и наружная боковая поверхности осаженных стальных заготовок (рисунок 2.8). В результате взаимодействия рабочего инструмента и заготовки происходит образование жестких зон в области контактных поверхностей, что способствует вытеснению металла в средней части высоты заготовки.



Рисунок 2.8 – Свободная осадка образца из стали 60

Геометрические размеры осаженных свинцовых и стальных заготовок представлены в таблице 2.3, 2.4.

Таблица 2.3 Геометрические размеры полый свинцовой заготовки после осадки, мм.

№	D_k	D_6	d_k	d_b	H_k
1	48,3	52,5	15,5	18,3	35,8
2	53,5	59	15,5	17,5	27,0
3	60,5	66	14	10	20,8
4	79	82,8	2,5	-	11,9

Таблица 2.4 Геометрические размеры полый заготовки из стали 60 после осадки, мм

№	D _{к. н.}	D _{к. в.}	D _б	d _{к. н.}	d _{к. н.}	d _в	H _к
1	45	45	52	16	16	16	35,5
2	45	46	60	16	16	10,5	28
3	45	51	65	16	16	4	21,8
4	57	57	70,5	15	13	1,4	17,5

В связи с тем, что при осадке полых заготовок происходит значительное подстуживание контактной поверхности, моделирование операции свободной осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки проводили на свинцовых образцах. В результате было показано, что при свободной осадке и разгонки в технологическом кольце полость закрывается полностью.

При последующей операции формовки, получены поковки с полным оформлением ступицы и прилегающей части диска. Заготовки после осадки и разгонки в технологическом кольце и формовки представлены на рисунке 2.9, 2.10.

Таким образом, на основе моделирования операций свободной осадки, осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки с применением полый заготовки с отношением $H/D=1$ и $d/D=0,355$ показана возможность получения железнодорожных колес диаметром 957мм.



Рисунок 2.9 – Заготовка после осадки и разгонки в технологическом кольце



а



б



в

Рисунок 2.10 – Заготовки после формовки: а- внутренняя сторона поковки, б- наружная сторона поковки, в- разрез поковки

Глава 3. Компьютерное моделирование операций свободной осадки, осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки с применением сплошной и полый заготовок

3. 1 Выбор программных средств для моделирования

Современные методы моделирования процессов обработки металлов давлением позволяют значительно сокращать время на отработку новых технологий производства металлопродукции и анализа действующих, с целью их оптимизации.

Существующие программные комплексы Deform, Forge, Finel, Press Form, Splen-S (Press), Auto Forge и др. основанные на методах конечных и граничных элементов, широко используются для моделирования процессов обработки металлов давлением: ковка, свободная осадка, штамповка, прессование [72-81], а также сложные для моделирования процессы: винтовая прокатка, винтовая прошивка, раскатка дисков на станах [82-85].

В настоящее время применение программных комплексов позволяет моделировать полный технологический цикл производства металлопродукции: выплавку исходной заготовки, обработку давлением, термообработку и другие операции [86-89]. Достоинством компьютерного моделирования с использованием специализированных программ, основанных на методе конечных элементов, является высокая информативность, наглядность представления результатов и их обработки.

Наиболее популярной и доступной программой для моделирования процессов обработки металлов давлением является программа Deform 3D [91], используемая, в том числе, специалистами предприятий для моделирования технологических операций, применяемых при производстве железнодорожных колес[91-93].

Основой данной программы является математический аппарат, описывающий поставленную перед разработчиком задачу и носящий

уникальный характер. Блоки, выполняющие сервисные функции, такие как разбиение области, на конечные элементы, выполнение процедур перекладки заготовки из штампа в штамп, представление результатов и многие другие, выбираются из уже написанных и отлаженных библиотек.

Программа автоматически, с учетом геометрии инструмента, генерирует сетку конечных элементов, которую также автоматически пересматривает на каждом шаге деформирования. Графический постпроцессор позволяет анализировать формоизменение металла в течение всего процесса деформирования, включая:

- векторное поле течения металла;
- поля скоростей, напряжений, деформаций, скоростей деформаций и температуры в заготовке;
- распределение контактных давлений на поверхности инструмента;
- графики деформирующей силы и ее составляющих, работы деформирования;
- геометрические размеры заготовки и инструмента;

Постпроцессор обеспечивает просмотр всей информации на каждом из заданных этапов деформирования. Он позволяет также делать твердые копии результатов, отражаемых на мониторе, и просматривать расчетную информацию в режиме мультипликации.

Для моделирования процесса свободной осадки, осадки и разгонки в технологическом кольце, формовке, использовали программный комплекс Deform 3D V10.

3.2 Моделирование операций свободной осадки, осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки

Целью моделирования технологических операций, свободной осадки, осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки было определение геометрических размеров заготовок, которые могут быть применены в качестве

исходных для производства железнодорожных колес. Также были поставлены задачи:

- провести анализ распределения структурных зон слитка в объеме поковки после формовки;
- провести анализ распределения накопленной деформации в поперечном сечении поковки после операции формовки с применением сплошной и полый заготовок.

При моделировании технологических операций были использованы следующие параметры, введенные в препроцессор:

- температура нагрева заготовок 1240 °C;
- температура рабочего инструмента 350 °C (const);
- скорость движения рабочего инструмента прессов 60 мм/с,
- фактор трения соответствующий трению сталь по стали 0,3.

В качестве материала заготовок для моделирования из библиотеки программного комплекса была выбрана сталь AISI-1060, наиболее близкая по химическому составу и механическим свойствам к колесной стали марки Т [26] ГОСТ 10791-2011.

При моделировании каждой последующей операции были использованы результаты расчета предыдущей операции.

Моделирование технологических операций проводили в соответствии со схемой деформации заготовок, применяемой для производства железнодорожных колес (глава 2, см .рисунок 1.3).

Проектирование рабочего инструмента, в связи с удобством адаптации и импортирования в необходимый для моделирования формат данных, осуществлено с применением системы автоматизированного проектирования SolidWorks.

Для моделирования операции осадки использовали две плиты диаметром 1000 мм и высотой 200 мм.

Построенные модели рабочего инструмента представлены на рисунке 3.1.

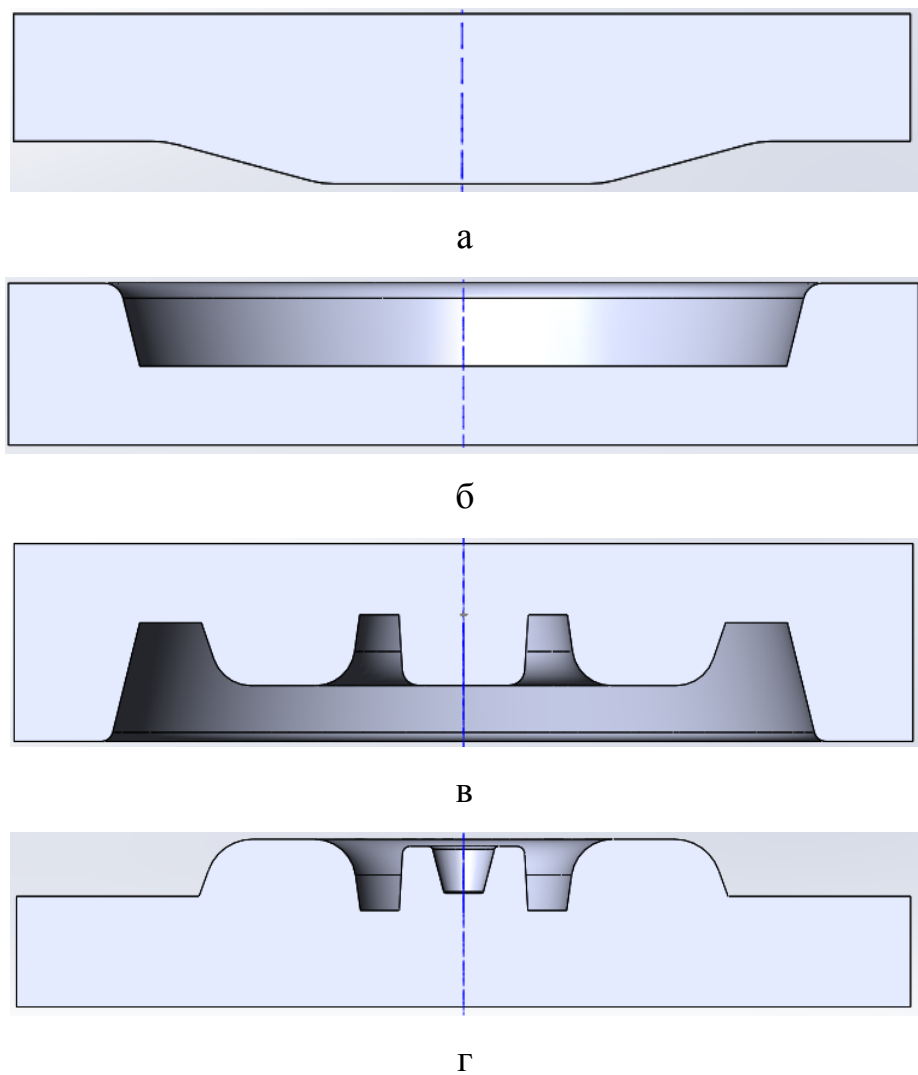


Рисунок 3.1– Инструмент для моделирования: а- плита конусная, б- кольцо технологическое, в- штамп формовочный верхний, г- штамп формовочный нижний

Для исследований формоизменения полых заготовок были выбраны заготовки с отношением наружного диаметра к толщине стенки D/S : 3,07; 3,12; 3,17; 3,19; 3,24; 3,29; 3,31; 3,36; 3,44. На основе постоянства объема были (исходная сплошная заготовка $D=482$ мм, высота $H=358$ мм) рассчитаны высоты заготовок, отношение высоты к наружному диаметру которых находится в пределах $H/D=0,97-1,27$ (таблица 3.1).

Таблица 3.1 Геометрические размеры полых заготовок.

Наружный диаметр D, мм	Внутренний диаметр d, мм	Высота H, мм	S, мм	D/S	H/D	d/D	S/H
430	160	522,11	135	3,19	1,21	0,37	0,26
	170	533,15	130	3,31	1,24	0,40	0,24
	180	545,39	125	3,44	1,27	0,42	0,23
445	160	482,37	142,5	3,12	1,08	0,36	0,30
	170	491,78	137,5	3,24	1,11	0,38	0,28
	180	502,17	132,5	3,36	1,13	0,40	0,26
460	160	447,16	150	3,07	0,97	0,35	0,34
	170	455,24	145	3,17	0,99	0,37	0,32
	180	464,13	140	3,29	1,01	0,39	0,30

Оценка адекватности компьютерного моделирования была проведена на основе сравнения схем течения металла, полученных при проведении экспериментальных исследований (данные АО «ВМЗ») и при моделировании в Deform 3d.

Для проведения исследования в производственных условиях использовали заготовку диаметром Ø425 мм и высотой 425 мм, изготовленную из составных цилиндров диаметром Ø40 мм, Ø 60 мм, Ø 80 мм, Ø 100 мм, Ø 120 мм, Ø 140 мм, Ø 425 мм.

Исходная заготовка из составных цилиндров показана на рисунке 3.2.

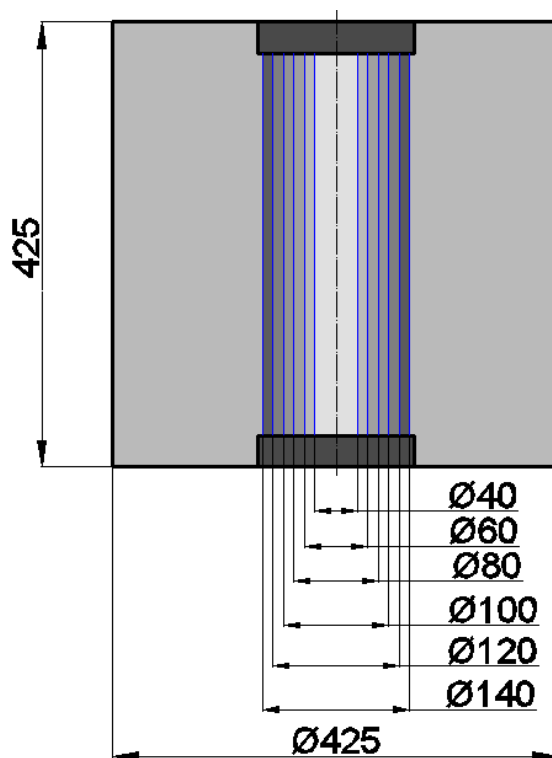


Рисунок 3.2 – Исходная заготовка (из составных цилиндров)

Деформирование заготовки было осуществлено на прессах усилием 19,8 МН, 49 МН, 98 МН, в соответствии со схемой деформации представленной на рисунке 3.3 [10].

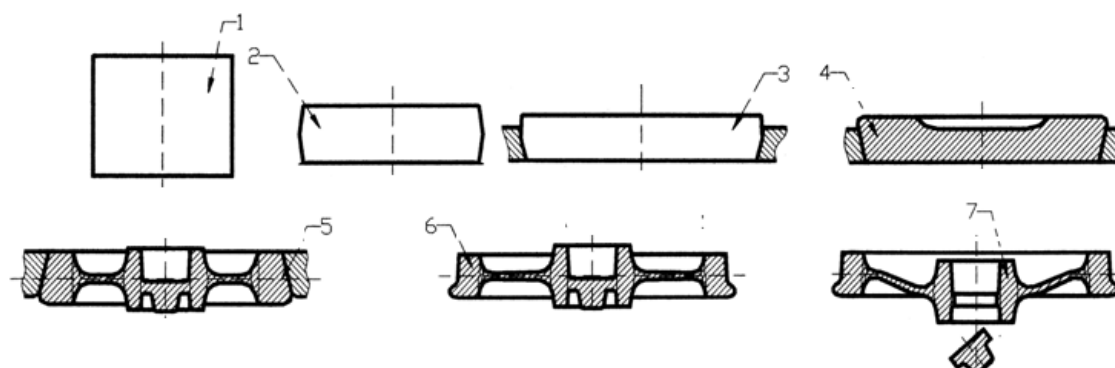


Рисунок 3.3 – Технологическая схема деформирования колесной заготовки: 1 – исходная заготовка, 2 – предварительная осадка, 3 – осадка в технологическом кольце, 4– разгонка металла пуансоном, 5 – формовка заготовки, 6 – раскатка колеса по диаметру, 7 – выгибка диска, калибровка обода, прошивка отверстия и клеймение

При такой схеме деформации осадка заготовки была осуществлена до конечной высоты 160 мм. Далее на прессе 49 МН проводилась осадка в кольцо и разгонка металла пуансоном. После проводилась формовка заготовки на прессе 98 МН.

Распределение слоев в заготовке после операции формовки представлено на рисунке 3.4.

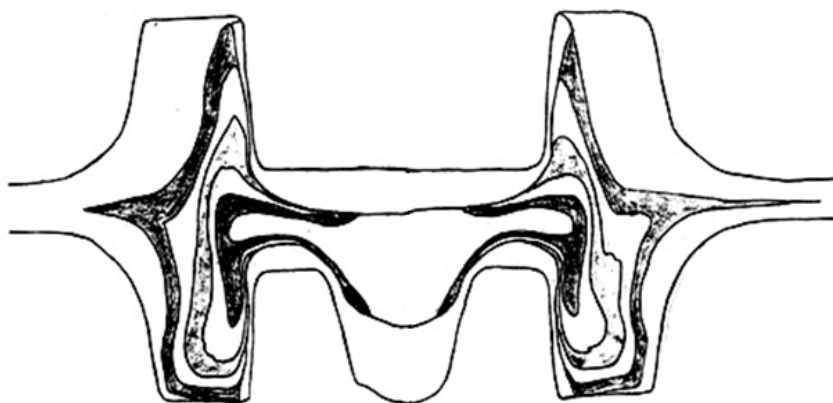
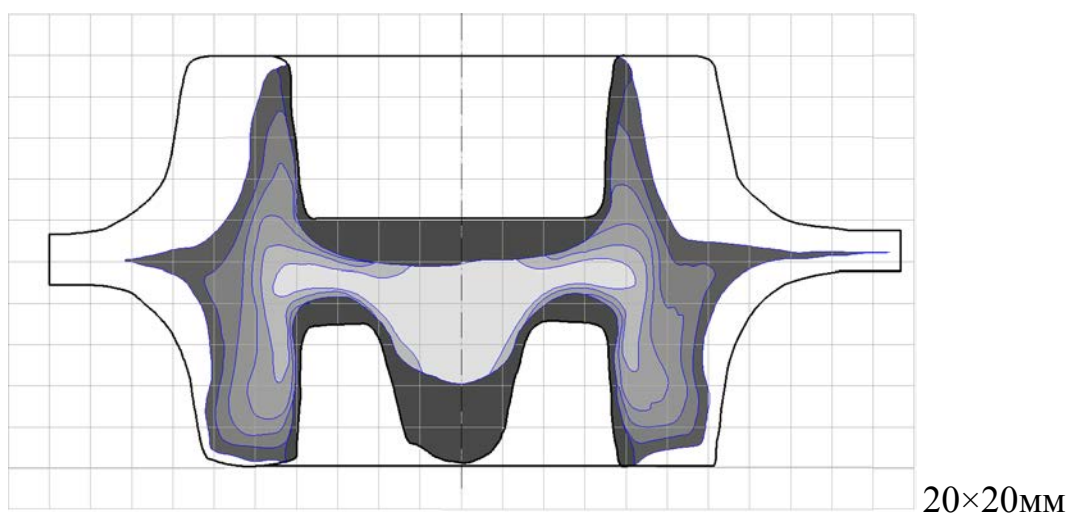


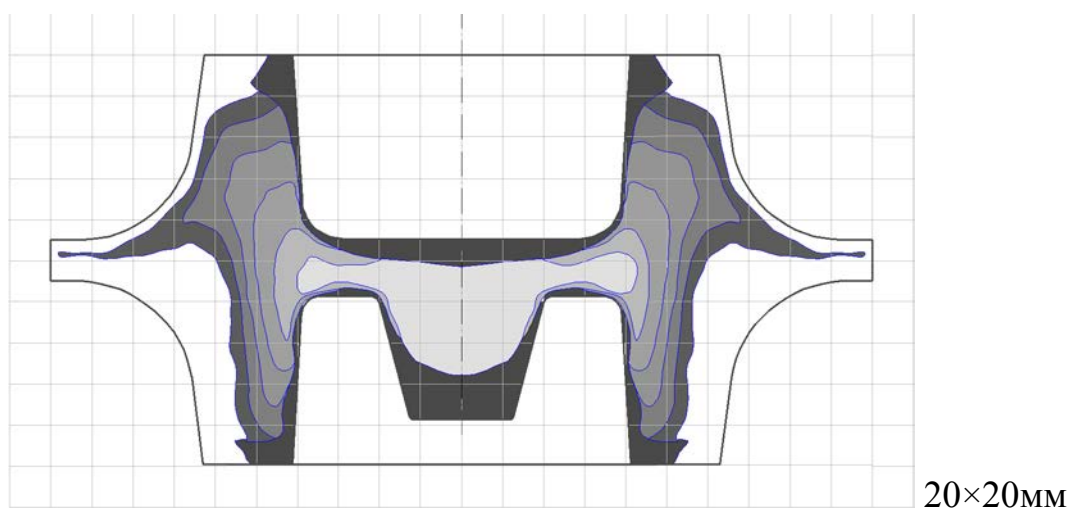
Рисунок 3.4 – Распределение слоев в заготовке после операции формовки

Для возможности проведения сопоставительного анализа результатов течения металла, полученных при проведении экспериментальных исследований и полученных в Deform 3D, исходное изображение схемы течения металла было обработано в графическом редакторе. Схема течения металла, полученная при проведении экспериментальных исследований, представлена на рисунке 3.5 (а).

Схема течения металла, полученная при моделировании, показана на рисунке 3.5 (б).



а



б

Рисунок 3.5 – Схема распределения слоев заготовки после операции формовки: а- экспериментальные результаты, б- результаты, полученные в Deform 3D

Сопоставительный анализ полученных результатов проводили по максимальному значению смещения слоев заготовки в радиальном направлении.

В связи с тем что, расположение слоев экспериментальной заготовки после операции формовки несимметрично относительно оси заготовки, оценку

проводили по среднему значению радиального истечения металла левой (R_1) и правой части (R_2) относительно оси заготовки.

Сравнение результатов течения металла в радиальном направлении, проводили по относительному значению Δ , рассчитываемому по формуле:

$$\Delta = \left(\frac{R_{cp} - R_M}{R_{cp}} \right) \times 100\%, \quad (1)$$

где: R_{cp} - значение смещения слоя в радиальном направлении, полученные при проведении экспериментальных исследований,

R_M - значение смещения слоя в радиальном направлении, полученные при моделирование в Deform 3d.

Значения радиального течения слоев заготовки, полученные при проведении экспериментальных исследований и при моделировании в Deform 3D, показаны в таблице 3.2.

Таблица 3.2 Течение слоев заготовки в радиальном направлении.

Исходный диаметр слоя $D_{исх.}$, мм	Результаты эксперимента			Моделирование в Deform 3D	Δ , %
	R_1 , мм	R_2 , мм	$R_{сред}$, мм	R_M , мм	
40	95,3	88,2	91,7	82,9	9,5
60	101,2	94	97,6	91,3	6,4
80	108,2	104,7	106,4	101,2	4,9
100	117,6	114,4	115,9	115,4	0,46
120	129,7	128,4	129,1	135,7	-5,1
140	169,7	216,5	193,1	196,3	-1,6

На основе полученных данных построен график течения слоев заготовки в радиальном направлении, представленный на рисунке 3.6.

Сходимость результатов, полученных при проведении экспериментальных исследований и при моделировании в Deform 3D, находится в пределах 10 %.

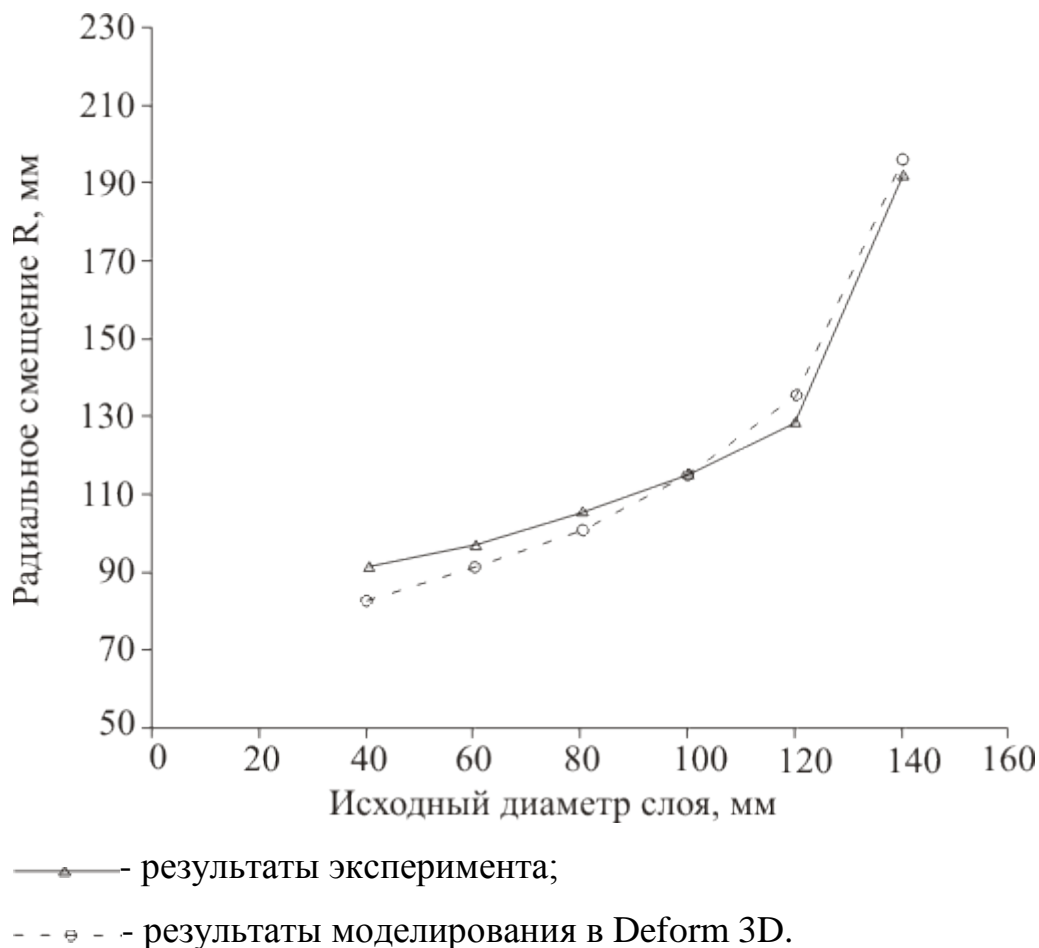


Рисунок 3.6 – График радиального течения металла исходных слоев заготовки после операции формовки

3.3 Формоизменение при осадке полых заготовок

В результате компьютерного моделирования процесса осадки полых заготовок выявлена закономерность течения металла (рисунок 3.7):

- на начальных стадиях осадки металл течет от оси заготовки с изгибом внутренней стенки в сторону периферии в средней части высоты заготовки;
- при последующей деформации металл течет в сторону периферии без изменения внутреннего диаметра отверстия;

- при $\varepsilon < 50\%$ течение металла происходит как в сторону периферии, так и к оси заготовки.

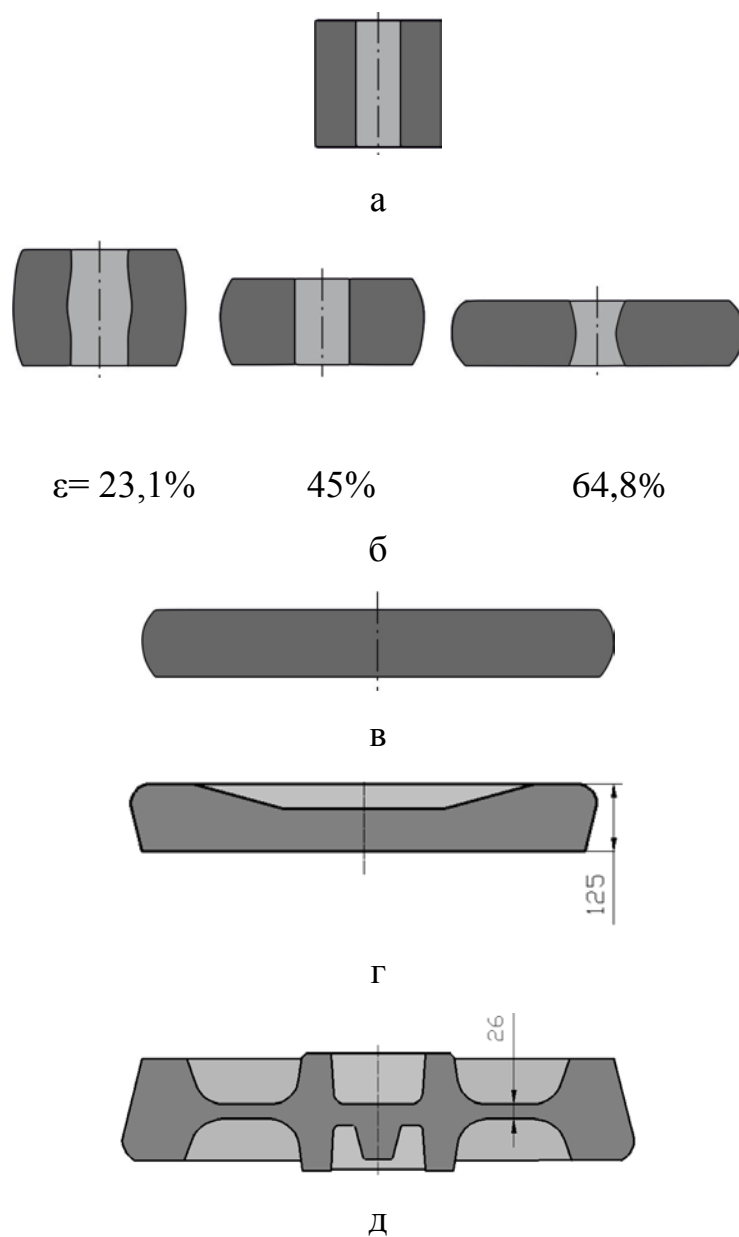


Рисунок 3.7 – Формоизменение металла при деформировании полый заготовки на прессах ($D=460$ мм, $H= 447$ мм, $d= 160$ мм): а- исходная полая заготовка, б, в – свободная осадка, г- осадка и разгонка в технологическом кольце, д- формовка

Моделированием в Deform 3D при исследовании формоизменения было показано, что деформирование заготовок с размерами $\varnothing 460 \times 160$ мм,

$\varnothing 460 \times 170$ мм, $\varnothing 460 \times 180$ мм, $\varnothing 445 \times 160$ мм протекает без образования зажимов металла внутри отверстия (рисунок 3.8).

При свободной осадке формоизменение заготовок с размерами $\varnothing 445 \times 170$ мм, $\varnothing 445 \times 180$ мм, $\varnothing 430 \times 160$ мм, сопровождается образованием зажима металла. При деформации таких заготовок на прессе 98 МН происходит вытеснение зажима к оси заготовки, который находится в пределах внутреннего диаметра ступицы колеса, металл из которой на конечной технологической стадии изготовления удаляется при прошивке отверстия ступицы. Деформирование таких заготовок не приводит к браку колес (рисунок 3.8, 3.9).

При свободной осадке полых заготовок $\varnothing 430 \times 170$ мм, $\varnothing 430 \times 180$ мм образуется зажим металла, который при последующих операциях распространяется в тело ступицы колеса.

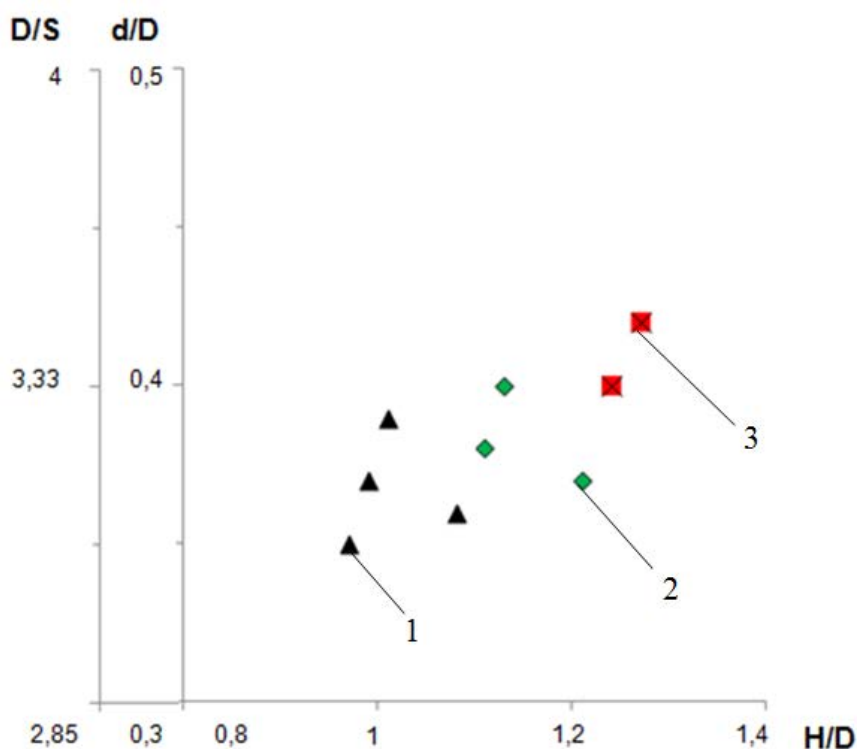


Рисунок 3.8 – Геометрические параметры полых заготовок: 1- без образования зажима, 2- с частичным образование зажима, 3- с зажимом металла

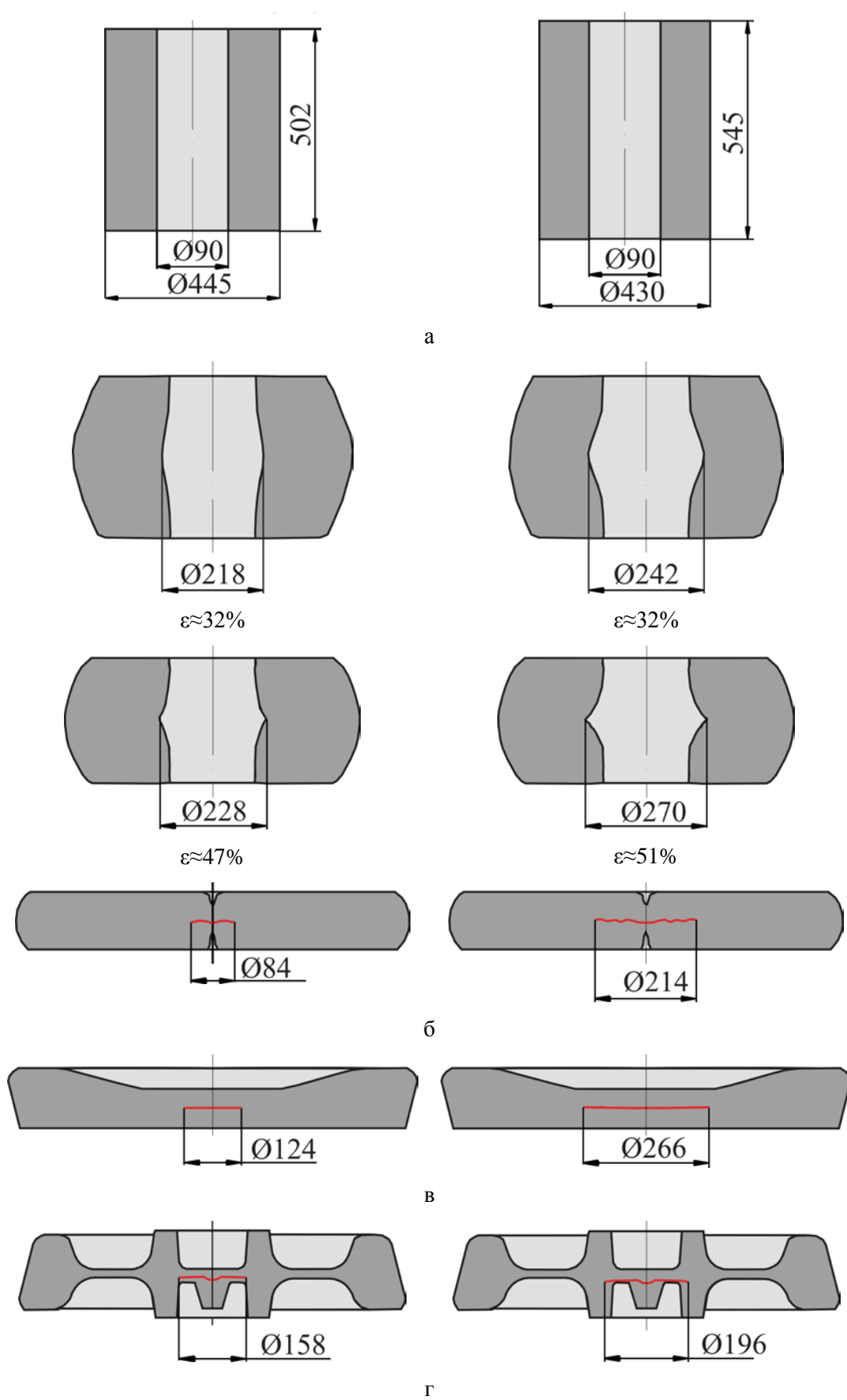


Рисунок 3.9 – Формоизменение полый заготовки: а- исходная заготовка, б- свободная осадка, осадка и разгонка в кольце, г-формовка

Для проведения сравнительной оценки истечения металла, накопленной деформации в объеме поковки в качестве исходных заготовок использовали сплошную (H=358 мм, D=482 мм) и полую (D=460 мм, d=160 мм, H=447 мм).

3.4 Течение металла при деформации сплошной и полый заготовок на прессах

Для проведения сравнительной оценки течения металла при деформации сплошной и полый заготовок на прессах с целью выявления различий, поперечное сечение заготовок было условно разделено на слои.

Для этого радиус сплошной заготовки с размерами, соответствующими заготовке применяемой для производства железнодорожных колес диаметром 957 мм (H=358 мм, D=482 мм) разделили на 10 равных частей. Распределения слоев металла в гильзе после прошивки заготовки в стане винтовой прокатки осуществили по методике проф. Галкина С.П. [94].

По данной методике распределение слоев металла по поперечному сечению гильзы после прошивки заготовки определяется по следующей формуле:

$$R_x = \sqrt{r_G^2 + \left(\frac{r_x}{R_0}\right)^2 (R_G^2 - r_G^2)}, \quad (2)$$

где R_x - искомый радиус, r_x - исходный радиус слоя (до прошивки), R_0 - исходный радиус заготовки, R_G - внешний радиус гильзы, r_G - внутренний радиус гильзы.

Рассчитанные радиусы слоев сплошной и полый заготовок представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 Слои металла сплошной и полый заготовки

Номер слоя	Радиусы слоев, мм	
	Сплошная заготовка ($R_0=241$ мм)	Прошитая заготовка ($R_I=230$ мм, $r_I=80$ мм)
1	0-24,1	80-82,9
2	24,1-48,2	82,9-90,9
3	48,2-72,3	90,9-102,9
4	72,3-96,4	102,9-117,6
5	96,4-120,5	117,6-134,3
6	120,5-144,6	134,3-152,1
7	144,6-168,7	152,1-170,8
8	168,7-192,8	170,8-190,2
9	192,8-216,9	190,2-209,9
10	216,9-241	209,9-230

Результаты исследования течения металла при деформации сплошной и полый заготовок выявили, что центральные слои металла полый заготовки, по сравнению со сплошной заготовкой, более интенсивно смещаются в радиальном направлении (рисунок 3.10).

В связи с неравномерностью распределения деформации в заготовке, обусловленной внешними силами трения и неравномерностью распределения температурного поля, препятствующих истечению металла вблизи контактных поверхностей в радиальном направлении, происходит перемещение металла из срединной части по высоте заготовки в сторону периферии (рисунок 3.10, а).

Свободная осадка полый заготовки характеризуется двусторонним течением металла, как в сторону периферии, так и к оси заготовки с уменьшением внутреннего диаметра отверстия (рисунок 3.10, г).

В связи с тем, что течение металла к оси заготовки происходит при относительной степени деформации $\varepsilon=35$ %, наблюдается перемещение

металла в срединной части по высоте заготовки в сторону периферии и только части металла к оси заготовки.

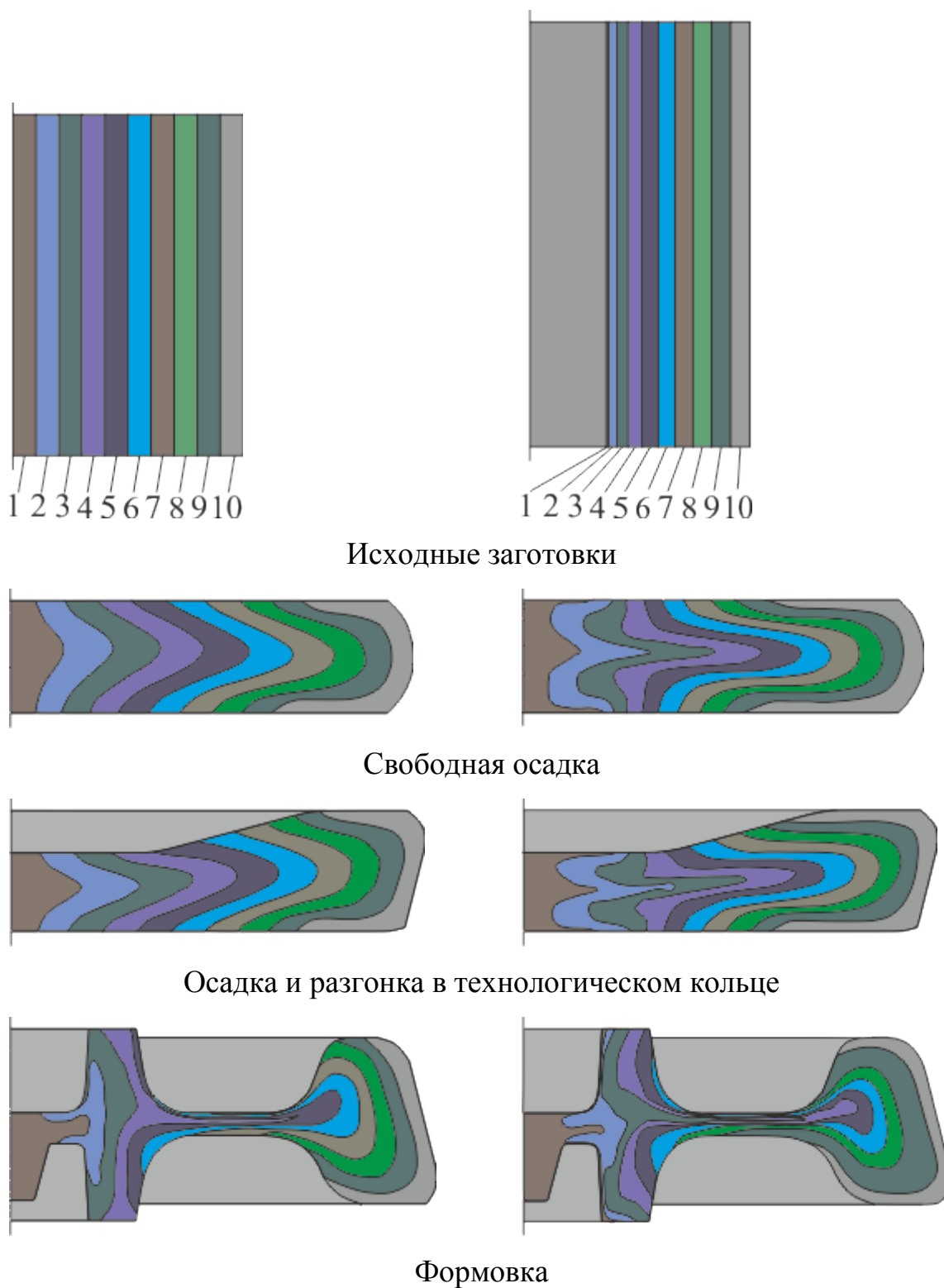


Рисунок 3.10 – Схема течения металла при деформировании сплошной ($D=482$ мм, $H=358$ мм) и полый ($D=460$ мм, $d=160$ мм, $H=447$ мм) заготовки

Для количественной оценки распределения исходного металла в объеме заготовки после формовки полученная поковка была разделена на три части : 1- ступица, 2- диск и зоны перехода (от ступицы к диску и от диска к ободу) поковки, 3- обод (рисунок 3. 11).

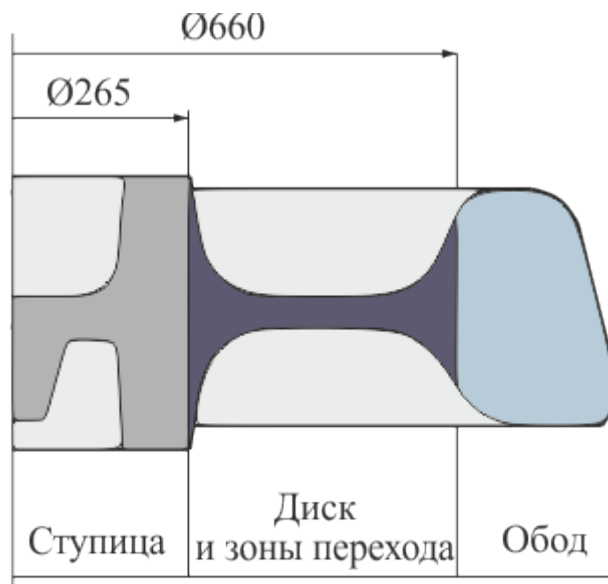


Рисунок 3.11 – Разделение поковки колеса на конструктивные элементы

Оценку распределения металла проводили по отношению части объема слоя к объему части поковки.

Для этого приняты коэффициенты, показывающие, какую часть объем i -ого слоя металла занимает в объеме части поковки после операции формовки:

$$K_i^{(1)} = V_i^{(I)} / V_i \cdot 100 \%, \quad (3)$$

$$K_i^{(2)} = V_i^{(II)} / V_i \cdot 100 \%, \quad (4)$$

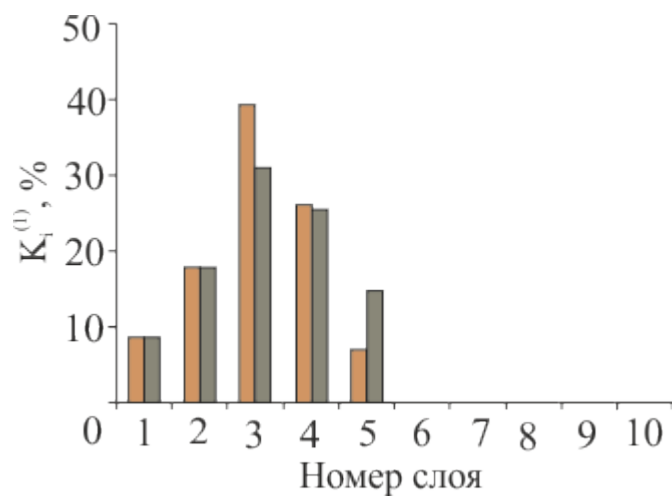
$$K_i^{(3)} = V_i^{(III)} / V_i \cdot 100 \%, \quad (5)$$

где $K_i^{(1)}$, $K_i^{(2)}$, $K_i^{(3)}$ - коэффициенты, показывающие нахождение части объема i -ого слоя в объеме части поковки ($K_i^{(1)}$ -ступица, $K_i^{(2)}$ - диск и зоны перехода, $K_i^{(3)}$ - обод.),

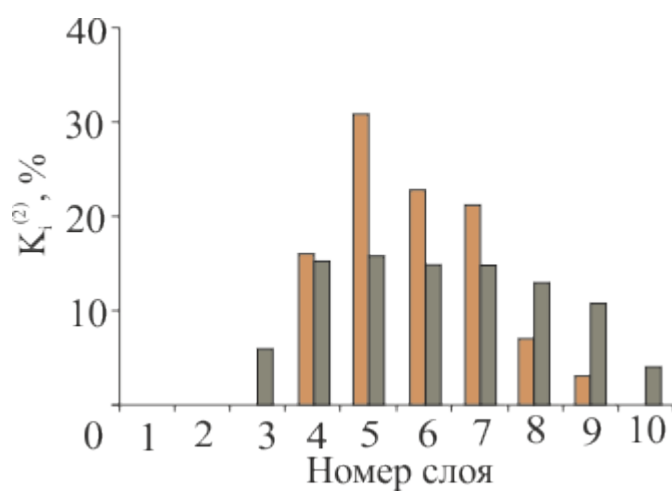
$V_i^{(I)}$ - объем i -ого слоя исходного металла, находящегося в части поковки,

V_i - полный объем части поковки.

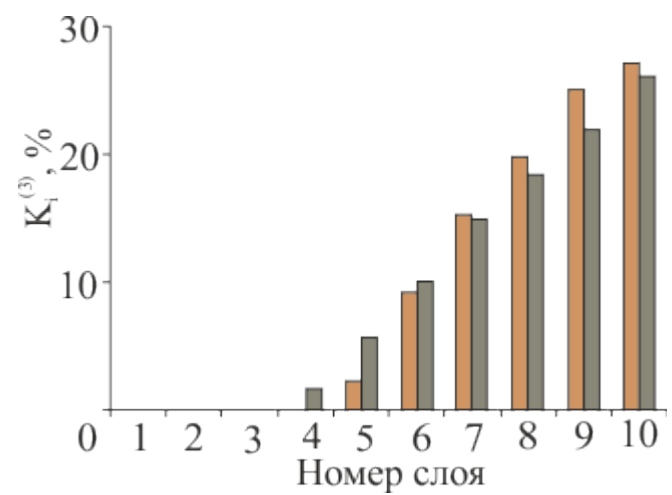
На основе полученных данных построены гистограммы распределения объемов слоев в заготовке после операции формовки (рисунок 3.12).



а



б



в

■ - исходная сплошная заготовка, ■ - полая.

Рисунок 3.12 – Распределение слоев металла в объеме заготовки после операции формовки: а – ступице, б- диске и зоны перехода, в- ободе

На графике показано, что формирование ступицы при деформации сплошной заготовки происходит из слоев металла 1, 2, 3, 4, 5 при этом слой 1 как при использовании сплошной, так и полый заготовки при последующих переходах согласно существующей технологической схеме деформации удаляется в выдру. (рисунок 3.12, а). Формирование ступицы при деформации полый заготовки, происходит также из слоев 1-4 и части слоя 5, занимающего более 15% тела ступицы, находящегося вблизи переходной зоны (от ступицы к диску).

Распределение слоев металла при формировании диска колеса при деформации сплошной и полый заготовок значительно отличается. Как можно видеть (рисунок 3.12, б), диск колеса, при использовании сплошной заготовки, формируется из слоев 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Формирование тела диска при деформации полый заготовки происходит из различных слоев металла 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 и слоя 3, объем которой в теле колеса менее 5%. При этом общий объем металла слоев 5, 6, 7 составляет более 50 % объема диска.

Основной объем обода колеса как при использовании сплошной, так и полый заготовки, формируется из периферийных слоев исходной заготовки (6, 7, 8, 9, 10), однако характер распределение слоев металла в диаметральной сечении несколько отличается (рисунок 3.12, в).

Подобное различие течения металла сплошной и полый заготовки вызвано разницей в высоте заготовок и степени их деформации, а также за счет предварительного обжатия сплошной заготовки при прошивке заготовки в стане винтовой прокатки.

3.5 Анализ распределения накопленной деформации

На основе результатов компьютерного моделирования операций свободной осадки, осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки с применением сплошной ($H=358$ мм, $D=482$ мм) и полый заготовок ($D=460$ мм,

d=160 мм, H=447 мм) проведен анализ распределения деформации в поперечном сечении.

Анализ проведен по значениям деформации (деформация по Мизесу), рассчитываемой в Deform по формуле:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}, \quad (6)$$

где ε_1 , ε_2 и ε_3 – главные деформации, а $\bar{\varepsilon}$ – деформация по Мизесу, или интенсивность деформации (используется термин effective strain, что означает накопленная деформация).

Сравнительный анализ проводили по значениям накопленной деформации, полученным в области ступицы, диска, переходной части из диска в обод колеса и на периферии обода (рисунок 3. 13).

Координаты трассируемых точек представлены в таблице 3.4.

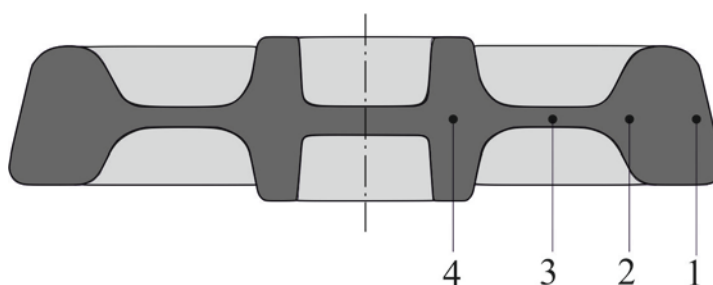


Рисунок 3.13 – Расположение трассируемых точек

Таблица 3.4 Координаты трассируемых точек.

№	X	Y	Z
1	0	422	13
2	0	330	13
3	0	220	13
4	0	120	13

Распределение деформации по поперечному сечению заготовок представлено на рисунке 3.14.

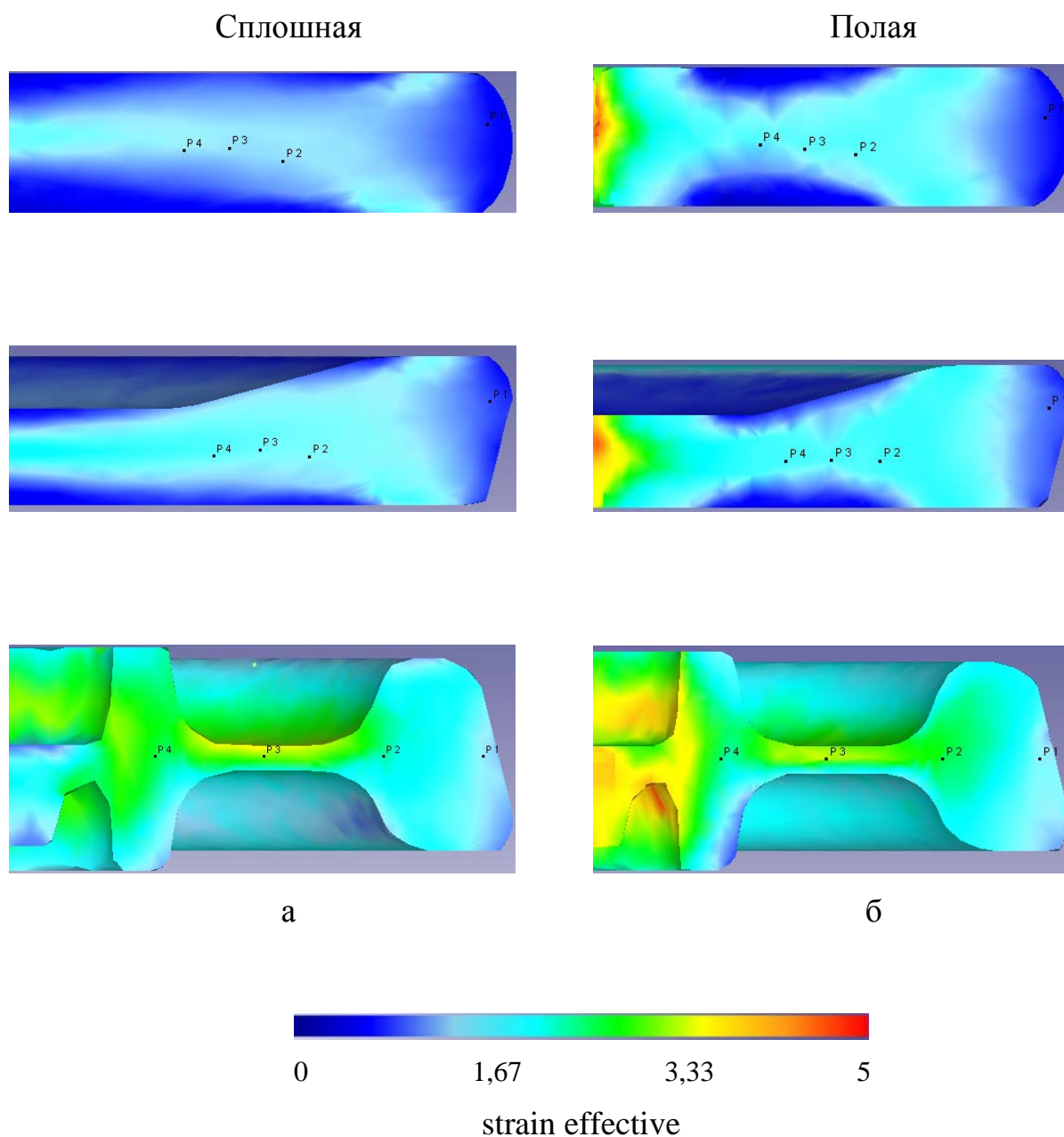


Рисунок 3.14 – Распределение накопленной деформации по сечению заготовок: а- исходная сплошная заготовка, б- полая

Полученные данные накопленной деформации в трассируемых точках представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 Значения накопленной деформации в трассируемых точках.

Операция	Тип заготовки	Накопленная степень деформации			
		Номер точки			
		1	2	3	4
Пресс 19,8 МН (осадка)	Сплошная	0,78	1,36	1,39	1,38
	Полая	0,82	1,72	1,88	1,97
Пресс 49 МН (осадка и разгонка)	Сплошная	0,95	1,56	1,65	1,7
	Полая	1,05	1,92	2,14	2,41
Пресс 98 МН (формовка)	Сплошная	1,5	2,57	3,35	2,76
	Полая	1,63	2,87	3,78	3,35

Максимальное значение накопленной деформации при деформировании сплошной и полой заготовок после операции формовки получено в зоне диска колеса. Значения накопленной деформации в этой части поковки при деформировании полой заготовки имеют значения 3,78, сплошной 3,35.

После операции формовки минимальная величина накопленной деформации отмечена в области обода колеса и составляет для полой заготовки – 1,63, сплошной- 1,5.

Значения накопленной деформации при деформировании полой заготовки на прессах в трассируемых точках выше соответствующих значений накопленной деформации при деформировании сплошной заготовки:

-после операции свободной осадки в точке №4, находящейся в области заготовки, из которой при последующем деформировании формируется ступица колеса, на $\approx 5\%$, в точке № 3, находящейся в области заготовки, из которой формируется диск колеса, на $\approx 26\%$, в точке № 1, находящейся в области, из которой формируется обод, на $\approx 30\%$;

-после осадки и разгонки в технологическом кольце в точке № 4 на $\approx 10\%$, в точке №3 на $\approx 23\%$, в точке № 1 на $\approx 30\%$;

-после операции формовки в точке № 4 на $\approx 8\%$, в точке № 3 на $\approx 11\%$, в точке №1 на 17% .

Проведенный анализ распределения накопленной степени деформации с применением сплошной и полый заготовки ($D=460$ мм, $d=160$ мм, $H=447$ мм) показывает, что применение полый заготовки способствует повышению накопленной степени деформации в области ступицы колеса на 17 %, диска на 11 % и обода на 8%.

Увеличение высоты заготовки способствует увеличению накопленной деформации, однако ее распределение неравномерно по сечению заготовки после операции формовки как при деформировании сплошной заготовки, так и полый. Значения накопленной деформации в области ступицы колеса выше соответствующих значений в области обода колеса в ≈ 2 раза.

Неравномерность распределения деформации при операции свободной осадки обуславливает уровень значений накопленной деформации в области обода колеса после операции формовки.

Глава 4. Исследование влияния сочетания деформационной обработки методом винтовой прошивки и свободной осадки на механические свойства колесной стали

4.1 Методика проведения экспериментального исследования

При исследовании влияния деформационного воздействия на механические свойства колесной стали для сопоставления были взяты механические свойства металла исходных литых заготовок.

Исследование деформационного воздействия на механические свойства металла литой заготовки было осуществлено для следующих схем деформации: прошивка заготовок на стане винтовой прокатки; осадка сплошной заготовки на прессе; комбинированная схема – прошивка заготовки на стане винтовой прокатки и последующая осадка на прессе (рисунок 4.1).

Исследование механических свойств колесной стали также проведены после термообработки осаженных литых и предварительно прошитых заготовок.

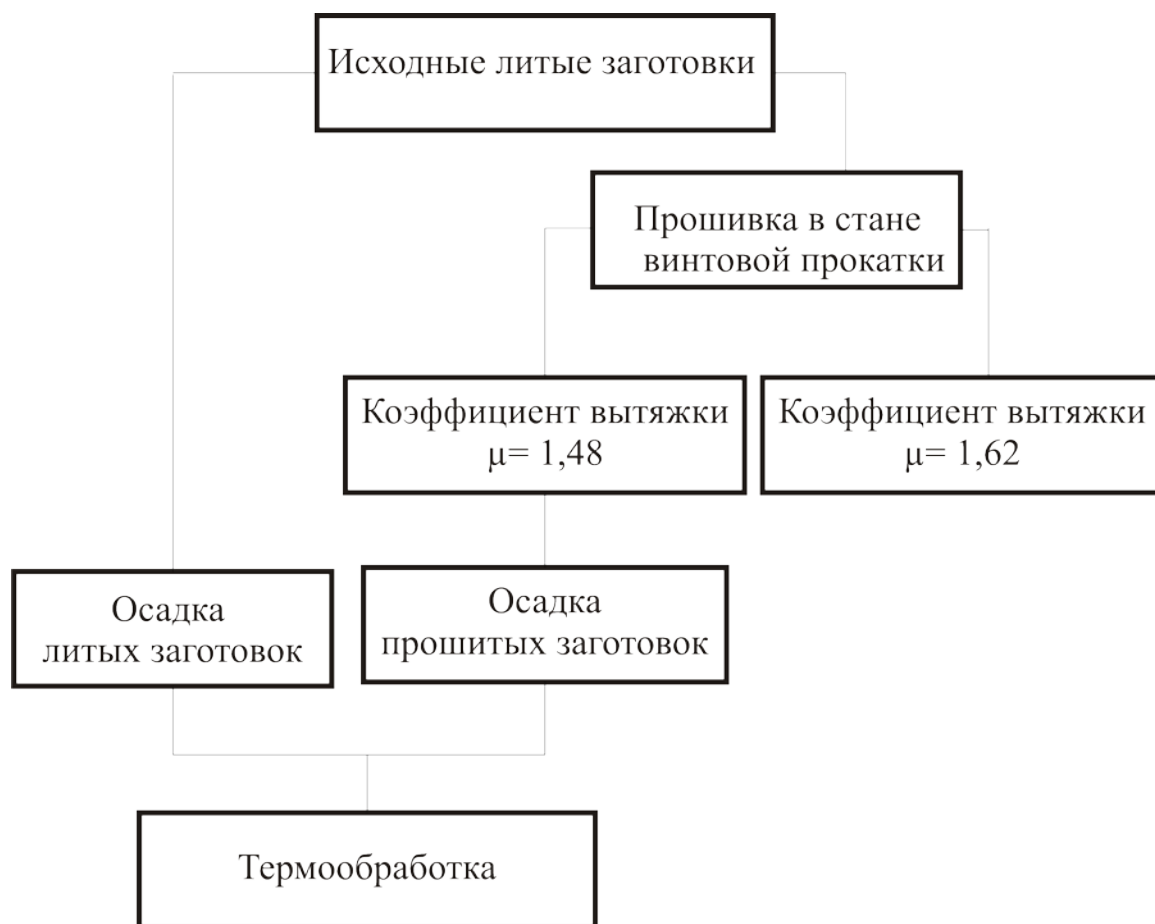


Рисунок 4.1– Схема проведения исследований механических свойств

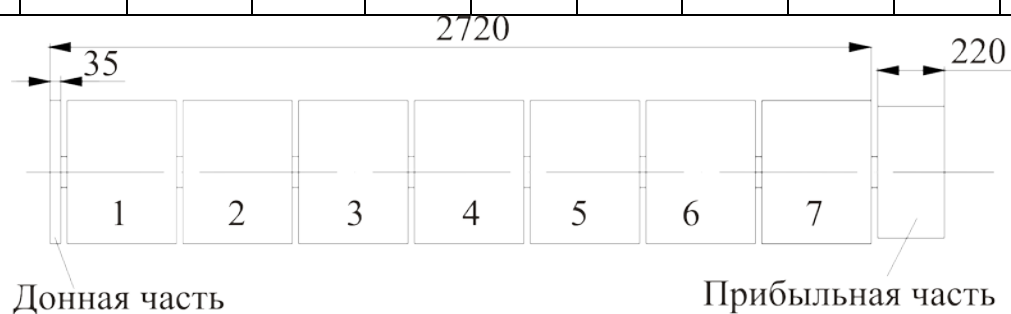
Для исследования были использованы образцы диаметром 100 мм и длиной 300 мм. Вырезка заготовки для изготовления образцов диаметром 100 мм осуществлялась из срединной части длины семи заготовочного слитка-заготовка №4 (рисунок 4.2, а). Далее заготовки диаметром 100 были вырезаны из периферийной и срединной частей колесных заготовок.

Схема вырезки образцов из слитка приведена на рисунке 4.2, б.

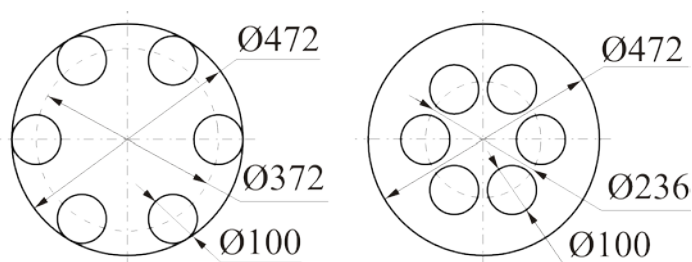
Материал- колесная сталь марки Т, выплавленная в условиях АО «ВМЗ» (таблица 4.1).

Таблица 4.1 Химический состав стали марки Т

Массовая доля элементов, %											
C	Mn	Si	S	P	V	Cr	Ni	Cu	Mo	Ti	Nb
				не более							
0,62- 0,70	0,50- 1,00	0,22- 0,65	0,005- 0,025	0,030	0,15	0,40	0,30	0,30	0,08	0,03	0,05



а



б

в

Рисунок 4.2 – Схема вырезки исходных заготовок из слитка колесной стали: а- исходный слиток, б-заготовки из периферийной части слитка, в- из срединной части

Для исследования влияния винтовой прошивки на уровень механических свойств колесной стали деформирование образцов проводили по двум режимам:

- прошивка заготовок в стане винтовой прокатки с коэффициентом вытяжки $\mu=1,48$;
- прошивка с коэффициентом вытяжки $\mu=1,62$.

Прошивка исходных заготовок выполнена на опытно- промышленном двухвалковом стане МИСиС- 130Д (рисунок 4.3).



а



б

Рисунок. 4.3 – Двухвалковый стан МИСиС 130Д: а- входная сторона, б- выходная

Прошивка была проведена при следующих настроечных параметрах:
-угол подачи $\beta=12^{\circ}$;

- коэффициент овализации $\zeta=1,1$;
- обжатие в пережиме $\varepsilon=12-15\%$;
- обжатие перед носком оправки $\varepsilon_{н.о.}=5-7\%$;
- частота вращения валков $n=60$ об/мин.;
- диаметр прошивной оправки $d=29$ мм.

Краткая техническая характеристика прошивного стана представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 Краткая техническая характеристика двухвалкового прошивного стана МИСиС- 130Д

Параметры:	
Тип рабочих валков:	бочковидные
диаметр в пережиме, мм	450
длина бочки, мм	330
частота вращения, об/мин	57/114
угол раскатки, град	0
угол подачи, град	6...28
Направляющий инструмент	линейки
Тип привода	индивидуальный
Мощность главного привода, кВт	2×200
крутящий момент на одном валке, кНм	25
Способ выдачи заготовки	боковая
Осевое усилие на оправку, кН	до 300
Длина оправочного стержня, мм	2000

Для снижения разностенности прошивка заготовок из колесной стали проводилась при температуре $T=1200^{\circ}\text{C}$ и повышенном времени выдержки в печи, для снижения температурного градиента [68]. Время выдержки в печи- 40-50 мин.

Осадка образцов проведена на гидравлическом прессе модели ПЗ234А усилием 2,5МН (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Гидравлический пресс модели П- 3234А

Перед операцией осадки заготовки нагревали в камерной печи электросопротивления до температуры $T=1200^{\circ}\text{C}$.

Образцы, полученные осадкой на прессе, подвергались термообработке по режиму, моделирующему прерывистую закалку обода железнодорожного колеса диаметром 957 мм, разработанному в ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина»:

- нагрев в печи до 870°C и последующая выдержка в течение 1 часа в вакууме;
- выдержка в соляной ванне с температурой расплава 570°C в течении 10 мин;
- охлаждение на воздухе;

- отпуск после закалки при температуре нагрева 500-520 °С, с выдержкой в печи в течение 2 часов.

Исследование механических свойств выполнено при испытаниях на растяжение, ударный изгиб, циклических испытаниях. Сравнительный анализ полученных результатов проведен по среднему значению показателей механических свойств для трех образцов.

Испытания на растяжение осуществлено на образцах с диаметром рабочей части $d_{\text{раб.}}=3\text{мм}$. [95]

Определение ударной вязкости- на призматических образцах размером 5×10×55 мм с U-образным надрезом глубиной 2мм, выполненным с расчетом распространения трещины разрушения при ударе к оси изделия [96].

Механические свойства и ударная вязкость металла образцов были определены при температуре +20 °С. Определение механических свойств металла при растяжении осуществили на испытательной машине модели “Instron”. Испытания на ударный изгиб образцов- на маятниковом копре модели РСВ-30.

Циклические испытания осажённых литых и прошитых заготовок после термообработки проводили на вибраторе на образцах размером 10×10×55 мм с V-образным надрезом (тип 11 по ГОСТ 9454-78) с частотой 985 циклов/ мин при напряжении соответствующем $K_i=27\text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$.

Проведены исследования макроструктуры и химической неоднородности исходных литых и полых заготовок. Контроль химической неоднородности проводили методом серного отпечатка (по Бауману) с поверхности шлифов.

Исследование макроструктуры проводили путем глубокого травления темплетов в 50%-ом растворе HCl при температуре 60 °С.

Исследовательские образцы для механических испытаний из исходной литой заготовки вырезали в радиальном, тангенциальном и осевом направлениях, прошитых заготовок- только в тангенциальном и осевом направлении. Радиальные образцы не были изготовлены из-за ограниченного размера гильз. Вырезку образцов для исследования механических свойств

металла в осевом направлении осуществляли на $1/2$ толщины стенки гильзы, литой – $1/2$ радиуса заготовки, в тангенциальном направлении – из участков, прилегающих к наружной поверхности гильз и литых заготовок. Вырезку образцов из осаженных заготовок для исследования механических свойств колесной стали осуществили в радиальном направлении, а также в тангенциальном направлении из участков, прилегающих к боковой поверхности деформированной заготовки.

Схема вырезки образцов для проведения механических испытаний из исходных литых заготовок показана на рисунке 4.5, прошитых заготовок – на рисунке 4.6, заготовок после осадки – на рисунке 4.7.

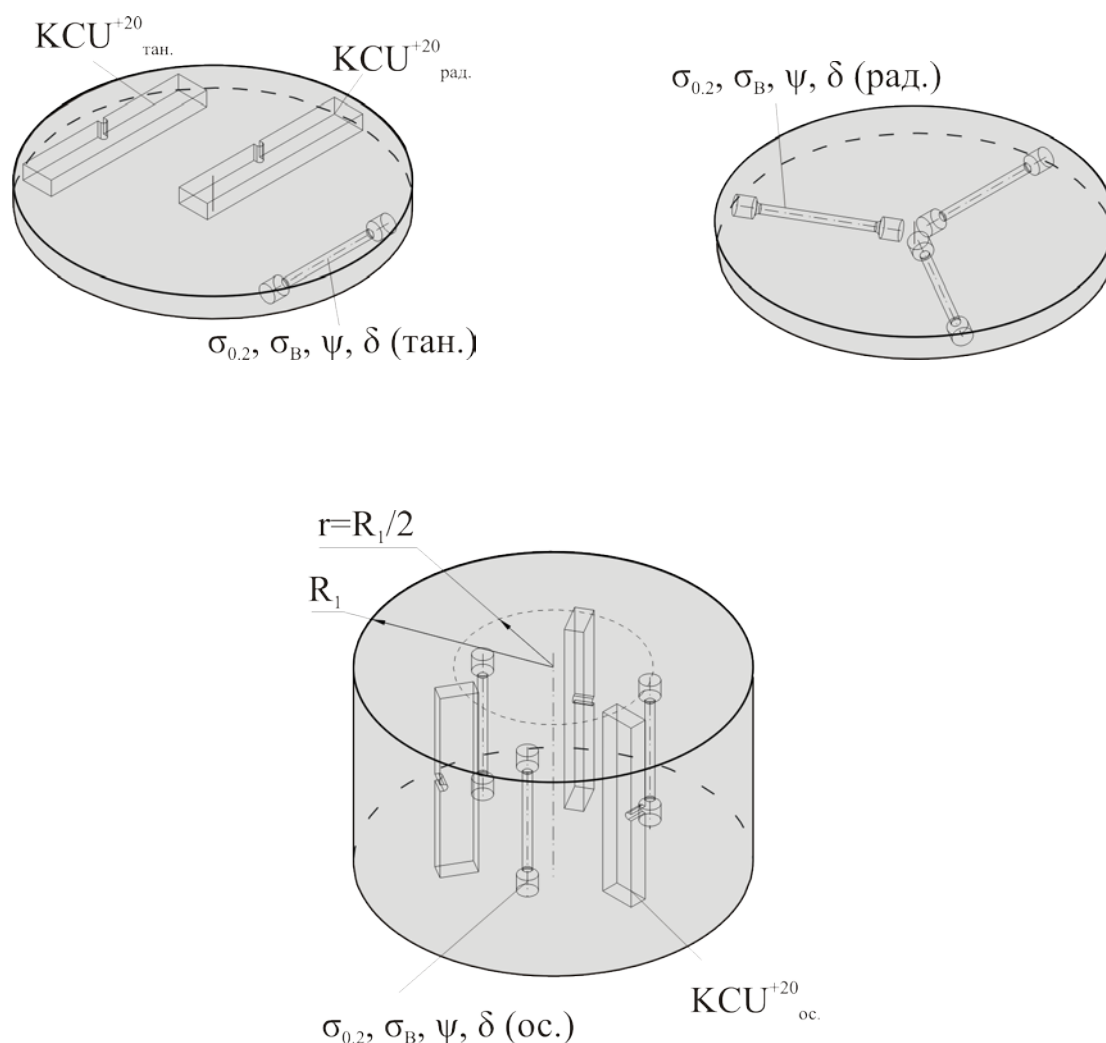


Рисунок 4.5 – Схема вырезки образцов для механических испытаний из литой заготовки

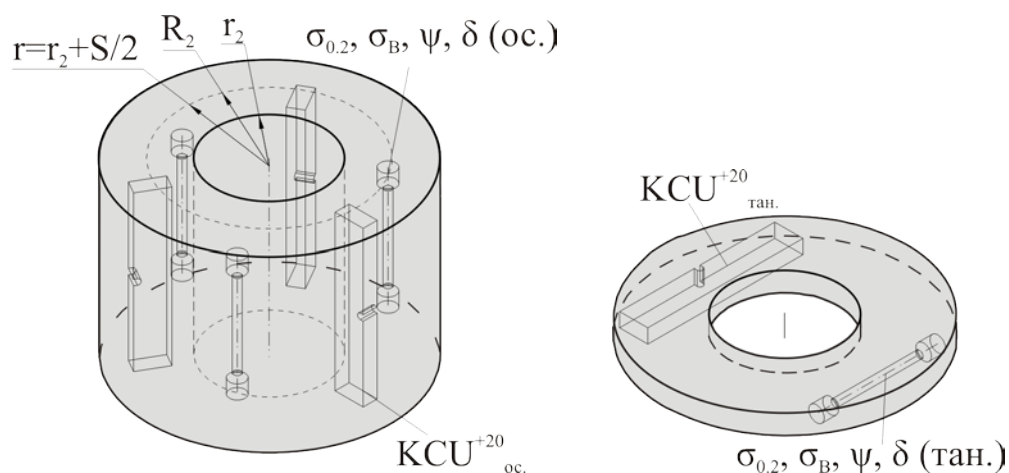


Рисунок 4.6 – Схема вырезки образцов для механических испытаний из проштампованной заготовки

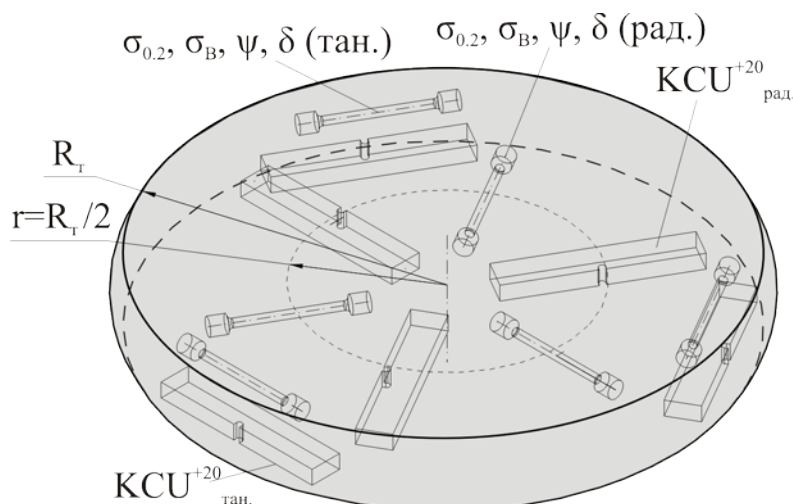


Рисунок 4.7 – Схема вырезки образцов для механических испытаний из кованой заготовки

4.2 Механические свойства колесной стали в исходном литом состоянии и после прошивки в стане винтовой прокатки

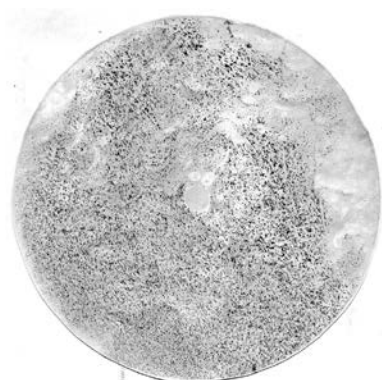
На основе контроля химической неоднородности показано, что распределение серы по сечению темплетов равномерно, не зависит от состояния металла и вида предшествующей операции обработки металла давлением (литое состояние, прошивка с разными степенями деформации). Также из данных серных отпечатков видно, что количество содержания серы у

темплета вырезанных из центра и периферии слитка практически не отличается.

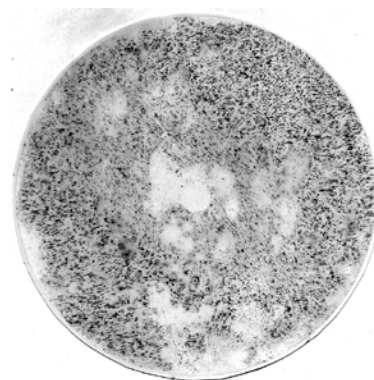
Серные отпечатки темплетов в исходном, прошитом с разной степенью деформации состояниях представлены на рисунках 4.8.

В результате исследования образцов литой заготовки выявлено, что её макроструктура типична для слитка (рисунок 4.9). На темплетах в исходном литом состоянии четко просматривается зона столбчатых кристаллов, особенно у темплета, вырезанного из периферийной зоны заготовки.

Макроструктура деформированного металла гильз существенно отличается от макроструктуры слитка. Макроструктура металла колесной стали после прошивки в стане винтовой прокатки плотная, однородная, при этом дефектов в виде трещин, пористости, расслоений при исследовании не обнаружено.

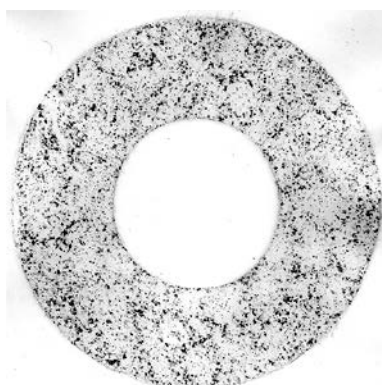


Периферия слитка

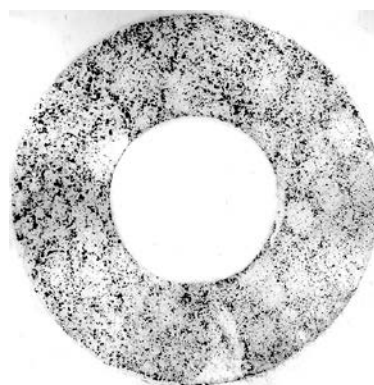


Срединная часть слитка

а

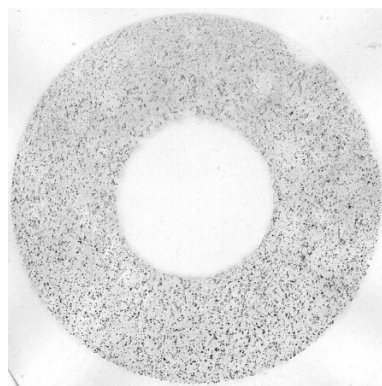


Периферия слитка

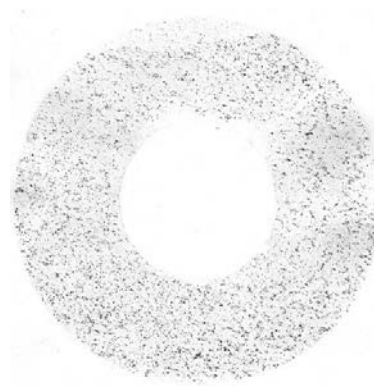


Срединная часть слитка

б



Периферия слитка



Срединная часть слитка

в

Рисунок 4.8 – Серные отпечатки: а- в исходном (литом) состоянии , б- после прошивки в стане винтовой прокатки с коэффициентом вытяжки $\mu = 1,48$, в- после прошивки с коэффициентом $\mu = 1,62$



Периферия слитка



Срединная часть слитка

а



Периферия слитка



Срединная часть слитка

б



Периферия слитка



Срединная часть слитка

в

Рисунок 4.9 – Макроструктура заготовок: а- в исходном (литом) состоянии , б- после прошивки в стане винтовой прокатки с коэффициентом вытяжки $\mu = 1,48$, в- после прошивки с коэффициентом $\mu = 1,62$

По результатам исследования механических свойств исходных образцов вырезанных из периферийной и срединной частей слитка было установлено, что для слитка характерна анизотропия механических свойств металла по его поперечному сечению (таблица 4.3), при этом механические свойства заготовок из периферийной части составляют: предел прочности $\sigma_B=933-947$ МПа, условный предел текучести $\sigma_{0,2}=582-620/537-557$ МПа, относительное удлинение $\delta=9,1-10,3$ %, относительное сужение $\psi=2,6-7,8$ %, ударная вязкость $KCU^{+20}=14,6-16,5$ Дж/см²; серединой: $\sigma_B=831-880$ МПа, $\sigma_{0,2}=537-557$ МПа, $\delta=5,9-7,8$ %, $\psi=4,1-7,5$ %, $KCU^{+20}=12-13,8$ Дж/см². Прочностные и пластические свойства металла периферийной части слитка выше по сравнению с его срединной частью, что обусловлено физико-кинетическими условиями кристаллизации жидкого металла при формировании слитка.

Таблица 4.3 Механических свойств колесной стали в исходном литом состоянии

Зона вырезки образцов	Направление вырезки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	KCU^{+20} , Дж/см ²
Периферия часть	Осевое	947	620	9,1	2,6	16,5
	Радиальное	933	583	10,2	7,8	14,6
	Тангенциальное	935	582	10,3	6,3	16,7
Срединная часть	Осевое	831	537	5,9	7,5	13,8
	Радиальное	861	540	6,8	4,1	13,3
	Тангенциальное	880	557	7,8	5,6	12

Деформационное воздействие методом винтовой прошивки способствует увеличению пластических свойств колесной стали, значительному повышению параметров ударной вязкости (таблица 4.4).

В результате прошивки сплошных заготовок получены толстостенные гильзы высокой точности: отклонение по наружному диаметру $\pm 1,0$ %,

отклонения по толщине стенки ± 5 %. Соответствующая точность гильз в два раза меньше допустимых значений отклонений для готовых горячекатаных труб [97].

Таблица 4.4 Механические свойства колесной стали после прошивки в стане винтовой прокатки

Коэфф. вытяжки	Зона вырезки образцов	Направление вырезки	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	KCU ⁺²⁰ , Дж/см ²
$\mu = 1,48$	Периферия слитка	Тангенциальное	924	497	12,3	18,4	22
		Осевое	932	511	12,5	22	21
	Срединная часть	Тангенциальное	938	503	11,9	17,7	19
		Осевое	930	512	13	20	18
$\mu = 1,62$	Периферия слитка	Тангенциальное	947	525	13,1	18,8	16
		Осевое	943	514	13,1	21,8	19
	Срединная часть	Тангенциальное	964	542	11,6	17,2	12
		Осевое	937	516	13,9	21,4	17

Анализ механических свойств полученных толстостенных гильз показал, что заготовки, прошитые с коэффициентом вытяжки $\mu = 1,48$ и $\mu = 1,62$, имеют примерно равные значения относительного удлинения $\delta = 12,3-12,5/11,9-13$ % (периферийная часть/срединная часть), относительного сужения $\psi = 18,4-22/17,7-20$ %, ударной вязкости KCU⁺²⁰ = 21-22/18-19 Дж/см². Отмечено, что гильзы, прошитые с коэффициентом вытяжки $\mu = 1,62$, имеют более высокие показатели предела прочности σ_B на 5-26 МПа, условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ на 3-28 МПа, чем заготовки, прошитые с коэффициентом вытяжки $\mu = 1,48$.

По показателям относительного сужения, относительного удлинения, ударной вязкости заготовки, прошитые в стане винтовой прокатки в обоих случаях, соответствуют требованиям для готовых железнодорожных колес по ГОСТ 10791 -2011.

4.3 Механические свойства колесной стали после свободной осадки сплошных литых заготовок и пролитых в стане винтовой прокатки

Проведение дальнейших исследований влияния предварительной деформации на механические свойства колесной стали проводили с использованием заготовок, деформированных с коэффициентом вытяжки $\mu=1,48$.

Для исследования влияния процесса осадки на механические свойства колесной стали были изготовлены образцы с размерами: сплошные – диаметр $\varnothing 100$ мм, высота 75 мм; полые, полученные прошивкой сплошных заготовок с коэффициентом вытяжки $\mu=1,48$ – наружный диаметр $\varnothing 88$ мм, внутренний диаметр $\varnothing 32$ мм, высота $H=96$ мм.

Образцы деформировали до конечной высоты 24 мм (относительная степень деформации литых заготовок- 68 %, полых – 75 %).

Механические свойства колесной стали после осадки сплошных и полых заготовок представлены в таблице 4.5.

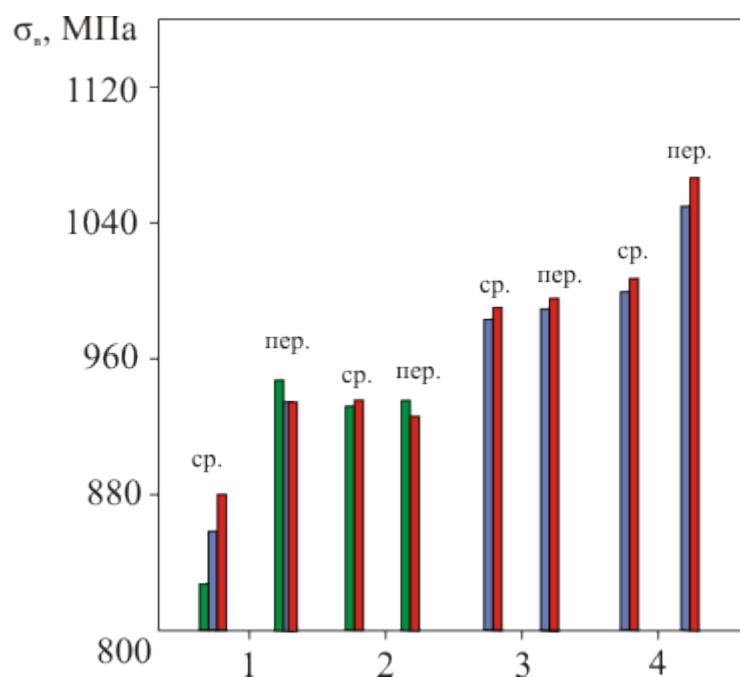
На основе анализа механических свойств колесной стали показано, что свободная осадка исходных литых заготовок способствует повышению свойств колесной стали по пределу прочности $\sigma_B=999-1002/989-998$ МПа, условному пределу текучести $\sigma_{0,2}=528-561/534-539$ МПа, относительному удлинению $\delta=14,1-14,2/15-16$ %, относительному сужению $\Psi=27,2-28,5/27,1-28,6$ %. Механические свойства колесной стали после осадки литых заготовок по этим показателям выше соответствующих свойств заготовок, пролитых в стане винтовой прокатки (таблица 4.5).

Таблица 4.5 Механические свойства колесной стали после осадки сплошной и полый заготовок

Тип заготовки	Зона вырезки образцов	Направление вырезки образцов	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	KCU^{+20} , Дж/см ²
Сплошная	Периферия слитка	Радиальное	1002	528	14,1	27,2	13,5
		Тангенциальное	999	561	14,2	28,5	18
	Срединная часть слитка	Радиальное	989	539	15	27,1	11,5
		Тангенциальное	998	534	16	28,6	9
Полая	Периферия слитка	Радиальное	1054	610	13,7	29,2	17,5
		Тангенциальное	1058	461	15,5	36,3	18
	Срединная часть слитка	Радиальное	1001	545	15,9	31,1	15
		Тангенциальное	1010	548	16,5	32,5	18

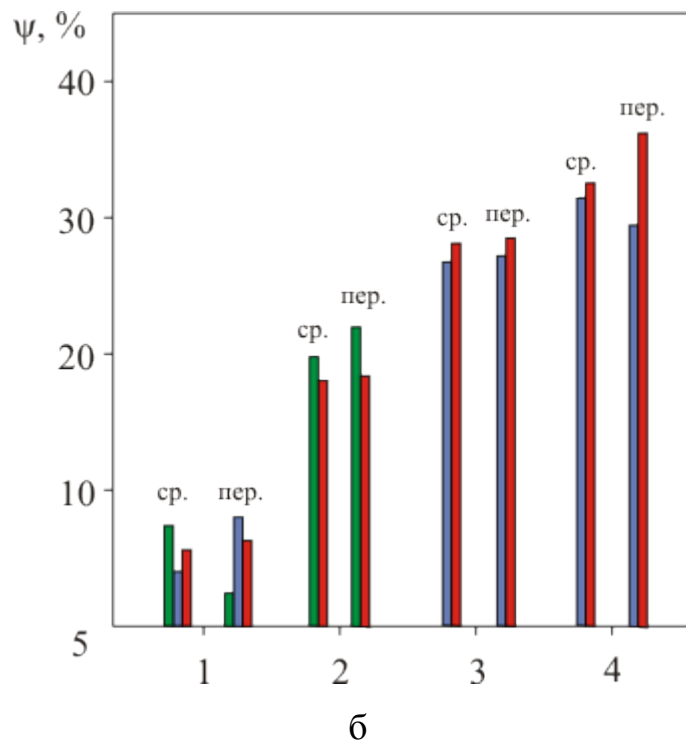
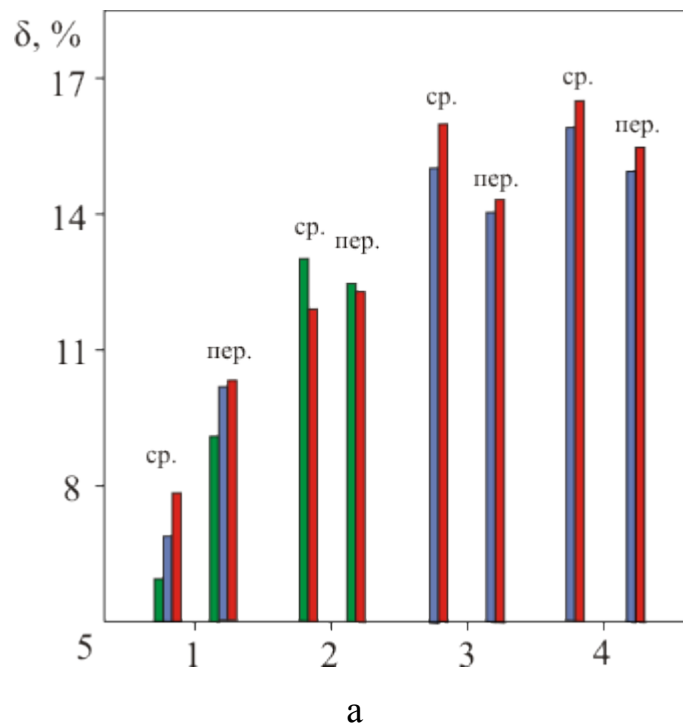
Наиболее высокие механические свойства деформированный металл колесной заготовки приобрел в результате применения совмещенной схемы деформационного воздействия. При прошивке сплошных заготовок в толстостенную гильзу на стане винтовой прокатки и ее последующей свободной осадке на прессе механические свойства заготовок соответствуют следующим значениям: $\sigma_B=1054-1058/1001-1010$ МПа, $\sigma_{0,2}=461-610/545-548$ МПа, $\delta=13,7-15,5/15,9-16,5$ %, $\psi=29,2-36,3/31,1-32,5$ %, $KCU^{+20}=17,5-18/15-18$ Дж/см².

Механические свойства колесной стали, деформированной по различным схемам, представлены на рисунке 4.10- 4.11.



■ - осевое направление, ■ - тангенциальное направление, ■ - радиальное направление
 ср.- заготовки вырезаны из срединной части, пер- периферии слитка.

Рисунок 4.10 – Сравнение показателей временного сопротивления (σ_b) колесной стали, деформированной по различным схемам : 1- литое состояние, 2- прошивка в стане винтовой прокатки, 3- осадка сплошных заготовок, 4- осадка прошитых заготовок



- осевое направление,
 - тангенциальное направление,
 - радиальное направление
 ср.- заготовки вырезаны из срединной части, пер- периферии слитка.

Рисунок 4.11 – Сравнение показателей относительного удлинения и относительного сужения колесной стали, деформированной по различным схемам :1- литое состояние, 2- прошивка в стане винтовой прокатки, 3- осадка сплошных заготовок, 4- осадка прошитых заготовок

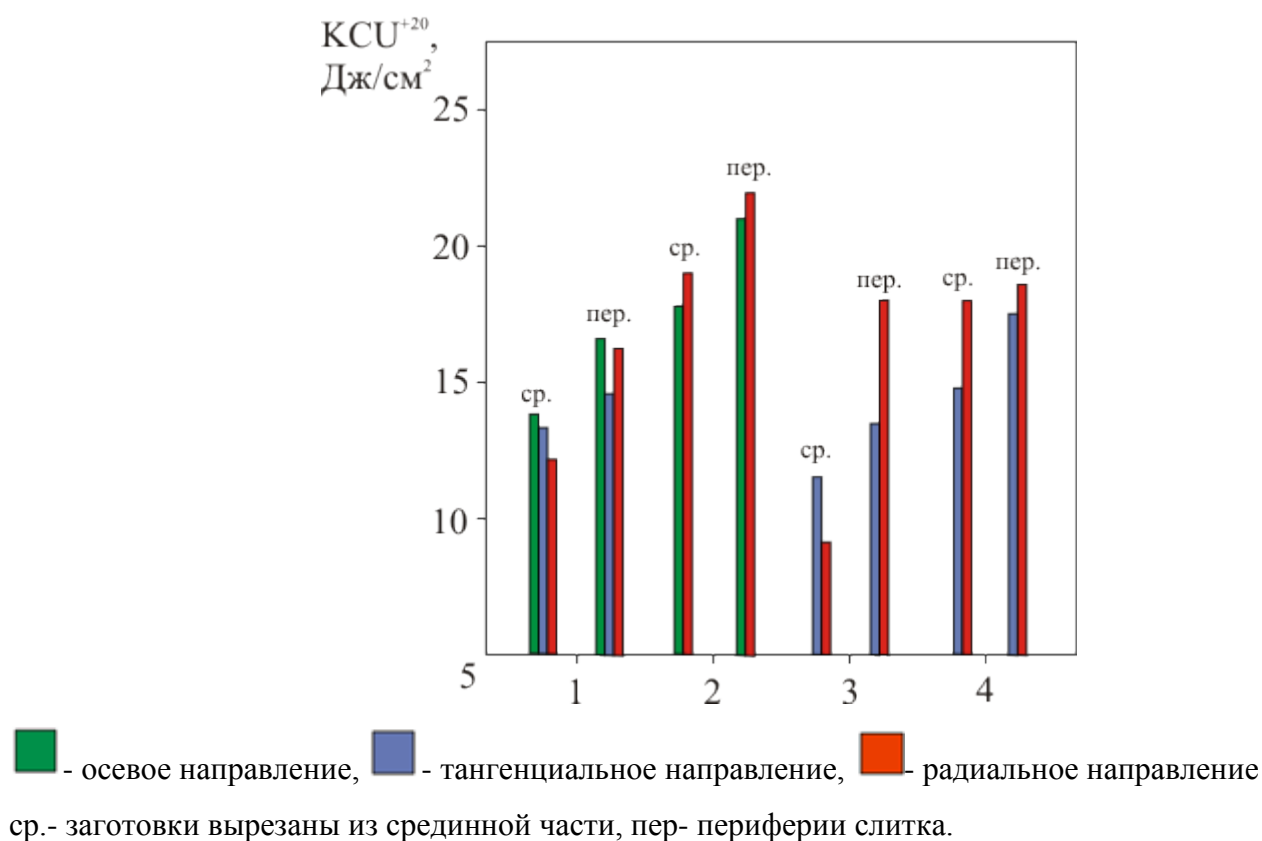


Рисунок 4.12 – Сравнение ударной вязкости колесной стали, деформированной по различным схемам : 1- литое состояние, 2- прошивка в стане винтовой прокатки, 3- осадка сплошных заготовок, 4- осадка прошитых заготовок

4. 4. Механические свойства колесной стали после деформации на прессе сплошной и прошитой заготовки и термообработки

После термообработки осажённых литых и прошитых заготовок механические свойства колесной стали соответствуют требованиям ГОСТ 10791-2011 для готовых железнодорожных колес диаметром 957 мм.

Механические свойства колесной стали после осадки исходной сплошной, прошитой заготовки и последующей термообработки представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 Механические свойства колесной стали после осадки исходной сплошной, прошивой заготовки и ТМО

Тип заготовки	Зона вырезки образцов	Направление вырезки образцов	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	Ψ , %	KCU^{+20} , Дж/см ²
сплошная	Периферия слитка	Радиальное	1173	820	15	31	27
		Тангенциальное	1168	821	15	31	25
	Срединная часть слитка	Радиальное	1162	809	14	31	42
		Тангенциальное	1158	820	13,8	31	22
полая	Периферия слитка	Радиальное	1078	767	15,8	32,9	75
		Тангенциальное	1121	795	15,1	30,4	71
	Срединная часть слитка	Радиальное	1091	764	14,2	26,1	61
		Тангенциальное	1065	756	14,9	32,2	60

В результате термообработки в значительной степени возрастают прочностные свойства колесной стали: предел прочности осажённых литых заготовок $\sigma_B=1168-1173/1158-1162$ МПа, $\sigma_{0,2}=820-821/809-820$ МПа, осажённых прошивых заготовок $\sigma_B=1078-1121/1065-1091$ МПа, $\sigma_{0,2}=767-795/756-764$ МПа (рисунок 4.13).

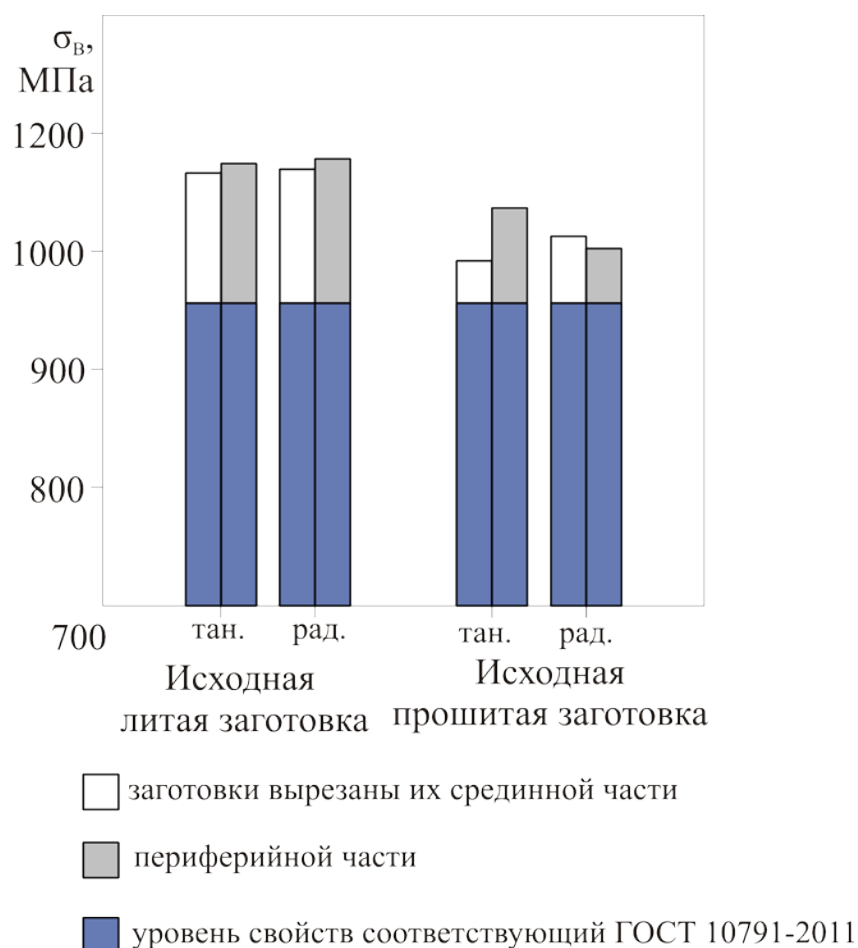
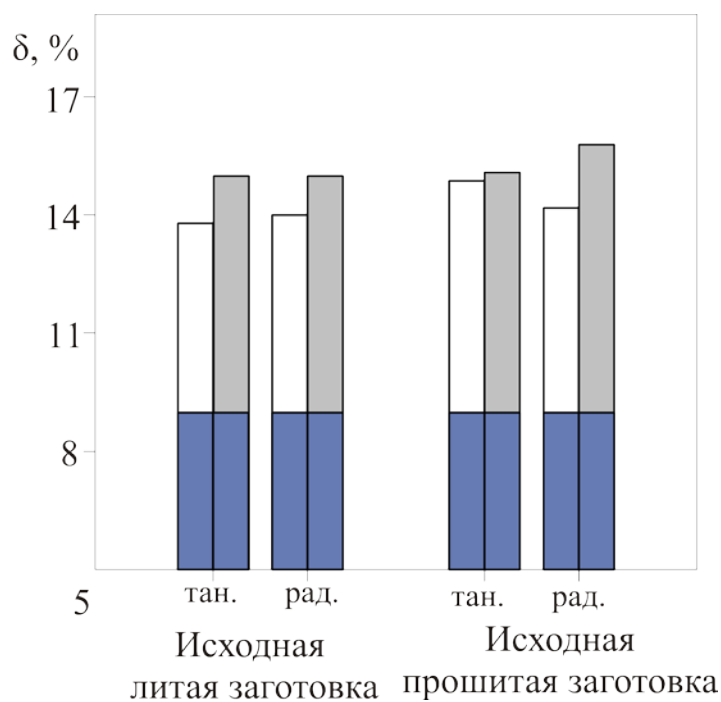
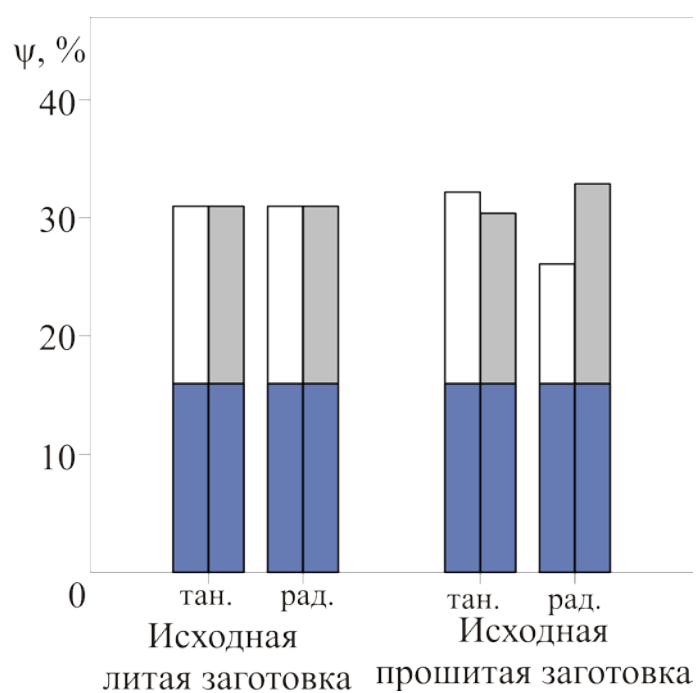


Рисунок 4.13 – Предел прочности колесной стали после осадки исходной сплошной, прокатной заготовки и ТМО

Значения относительного удлинения и относительного сужения поковок, полученных свободной осадкой сплошных и полых деформированных заготовок после термообработки имеют примерно равные значения, как и для заготовок деформированных комбинированным методом и составляют: $\delta \approx 15\%$, $\psi \approx 30\%$ (рисунок 4. 14).



а



б

- заготовки вырезаны из срединной части
- периферийной части
- уровень свойств соответствующий ГОСТ 10791-2011

Рисунок 4.14 – Значения относительного удлинения (а) и относительного сужения (б) колесной стали после осадки исходной сплошной, проштампованной заготовки и ТМО

На основе исследований механических свойств колесной стали после деформации сплошных и полых заготовок на прессе и термообработки выявлено, что предварительная проработка литой структуры металла методом винтовой прошивки в значительной степени способствует повышению показателей ударной вязкости и сопротивлению усталостному разрушению (рисунок 4. 15, 4.16).

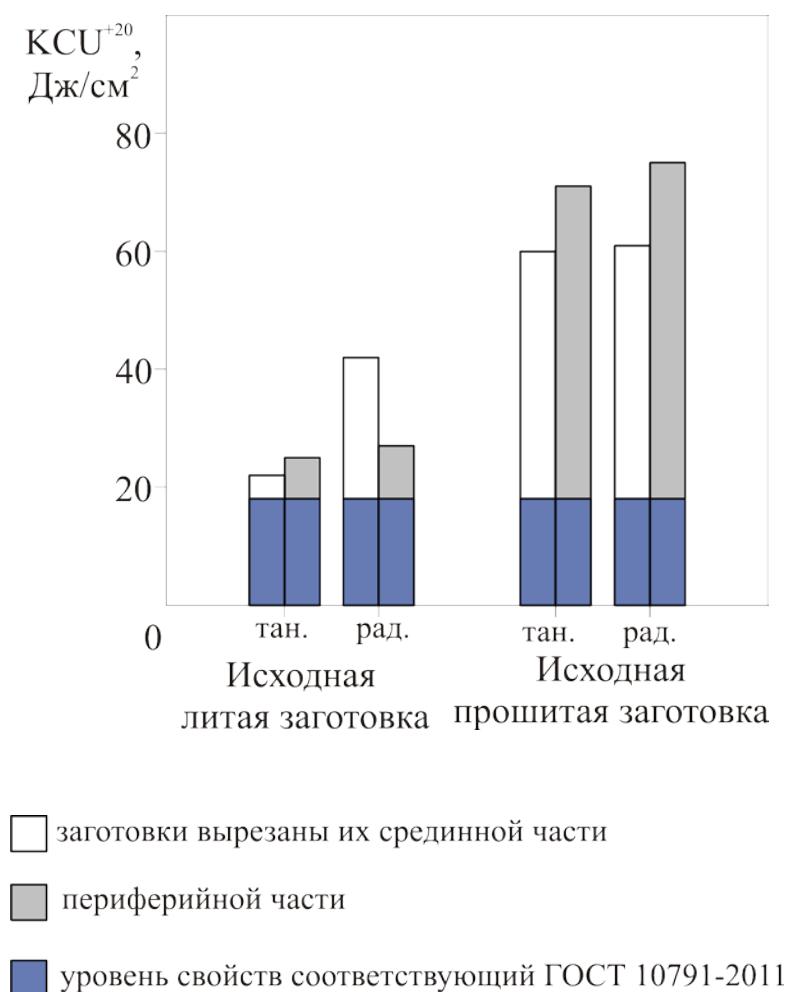
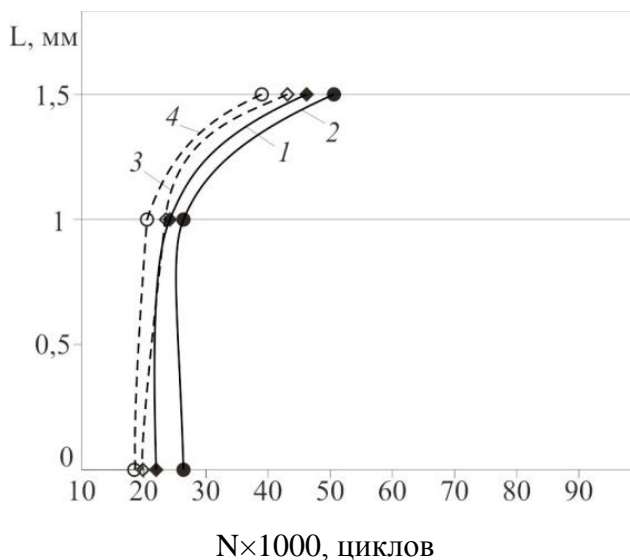


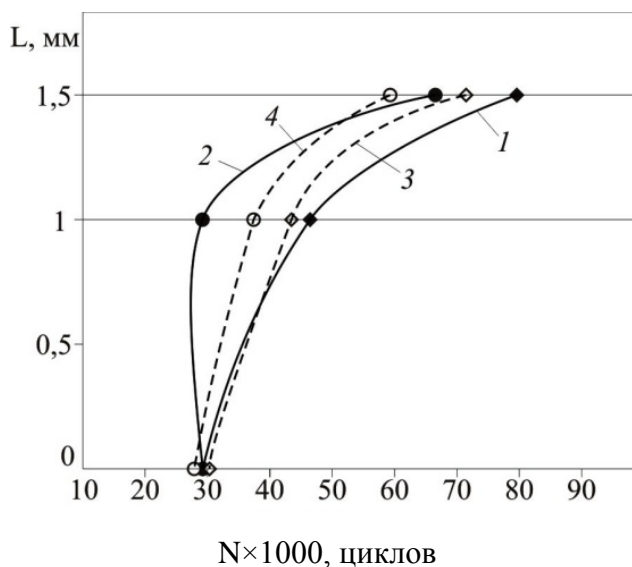
Рисунок 4.15 – Ударная вязкость колесной стали после осадки исходной сплошной, прошитой заготовки и ТМО

Для образцов предварительно прошитых, осажённых на прессе и термобработанных ударная вязкость имеет значения- $KCU^{+20}=60-75$ Дж/см², для осажённых литых заготовок $KCU^{+20}=22-42$ Дж/см².

Для изделий, которые при эксплуатации испытывают большие динамические и ударные нагрузки, повышение ударной вязкости и сопротивления усталостному разрушению, будут способствовать повышению его работоспособности и надежности.



а



б

Рисунок 4.16 – Сопротивление усталостному разрушению колесной стали: а– исходная сплошная заготовка; б – исходная заготовка, предварительно деформированная на стане винтовой прокатки: 1-периферийная часть, радиальное направление, 2- периферийная часть, тангенциальное направление, 3- срединная часть, радиальное направление, 4- срединная часть, тангенциальное направление

В результате проведенного исследования показано, что механические свойства колесной стали после операции осадки сплошных, полых заготовок и последующей термообработки соответствует требованиям ГОСТ 10791-2011.

Установлено, что деформационное воздействие методом винтовой прошивки способствует повышению пластических свойств и значений ударной вязкости колесной стали. При комбинированной схеме деформации (винтовая прошивка + свободная осадка) и последующей термообработке сохраняется наследование этих свойств.

Глава 5. Промышленное апробирование технологического процесса производства железнодорожных колес диаметром 957 мм с использованием полых заготовок

5.1 Винтовая прошивка слитков колесной стали

В результате выполненных экспериментальных исследований показана принципиальная возможность получения железнодорожных колес и полых заготовок (Глава 2, 3). Исследованием влияния винтовой прошивки на уровень механических свойств колесной стали, показано возможность повышения пластических свойств и ударной вязкости колесной стали.

На основе проведенных исследований проведено апробирование технологического процесса производства железнодорожных колес диаметром 957мм с использованием полых заготовок.

В результате выполненного анализа технических характеристик действующих трубопрокатных агрегатов прошивка слитков колесной стали диаметром 474 мм была осуществлена в цехе №1 ЗАО «ЧТПЗ», оборудованного трубопрокатной установкой с пилигримовыми станами 8-16", изготавливающими трубы диаметром от 219 до 575мм с толщиной стенки от 8 до 90 мм.

На данном трубопрокатном агрегате для производства труб проводят прошивку слитков (таблица 5.1), из углеродистых и легированных марок сталей (38ХА, 15ГС, 40Х, 09Г2С, 09ГСФ, 20ФА, 12Х1МФ, 30ХГСА и др.), применяемых для производства горячекатаных бесшовных труб различного назначения.

Размеры заготовок для производства труб представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 Размеры слитков для прошивки

Условный размер, дюйм	Номинальный диаметр, мм		Номинальная высота слитка, мм
	Донный конец	Усадочный конец	
13" пр.	480	500	1975
15 "пр.	540	555	1900
16 "пр.	570	585	1975
17 "пр.	600	615	1900
11"	410	390	1700
13"	500	470	1700
15"	555	505	1700
16"	585	540	1700

Техническая характеристика прошивного стана ОАО «ЧТПЗ»:

1. Станина - закрытого типа.
2. Тип валков - бочковидные.
3. Материал валков сталь 50.
4. Количество валков – два неприводных – направляющих, два рабочих.
5. Размеры рабочих валков:
 - длина бочки 948 мм,
 - диаметр в пережиме: максимальный 740 мм,
 - диаметр в пережиме минимальный 690 мм.
6. Размеры направляющих валков:
 - длина бочки 1038 мм,
 - диаметр в пережиме: максимальный 460 мм,
 - минимальный 690 мм.
7. Материал оправок сталь 30ХЗМФ
8. Угол подачи $\beta=4^{\circ}15'$.

9. Привод – электродвигатель постоянного тока мощностью 2570 кВт, $n=70-80$ об/мин., $U=700$ В.

10. Передаточное отношение шестеренной клетки 2,5

11. Размеры слитков и заготовок

- диаметр 400 - 650 мм;

- длина 1100 - 1900 мм;

12. Размеры гильз:

- диаметр 420 – 670 мм;

- длина 2400 – 3500 мм.

Нагрев исходных заготовок под прошивку осуществляется в методических печах, имеющих три регулируемые по тепловому режиму зоны:

III зона– методическая, II зона– сварочная, I зона– томильная.

В качестве исходной заготовки для опробования получения железнодорожных колес использовались слитки диаметром 474мм из колесной стали марки 2 по ГОСТ 10791-2004, выплавленные в условиях АО «ВМЗ».

Нагрев слитков осуществлялся по режиму: III зона- 1150-1200 °С, II зона- 1260-1290 °С, I зона- 1260-1290 °С.

Время нагрева ~ 7,5 часа. Температура слитков на выдаче из печи 1220-1240 °С. Нагретая заготовка под прошивку представлена на рисунке (рисунок 5. 1).



Рисунок 5.1 – Нагретая заготовка под прошивку

Ввиду ограниченности входной стороны прошивного стан из слитков удалена прибыльная часть. Длина слитков без прибыльной части составляла 1850мм.

Для уменьшения разностенности гильз и более стабильного захвата все слитки были зацентрированы перед задачей их в стан. Центровка имела форму конуса следующих размеров: диаметр основания конуса от 60-80мм, глубина центровки ≈ 50 мм.

Процесс прошивки осуществлен при следующих настройках стана:

- угол подачи рабочих валков $4^{\circ}15'$;
- обжатие в пережиме 12-13%;
- диаметр прошивной оправки 160 мм ;
- коэффициент овализации 1,12-1,13;
- обжатие перед носком оправки 5-7%.

Установившейся процесс прошивки слитка в стане винтовой прокатки представлен на рисунке 5. 2.



Рисунок 5.2 – Установившейся процесс прошивки слитка в стане винтовой прокатки

В результате были получены особотолстостенные гильзы диаметром 450 мм с отношением диаметра к толщине стенки $D/S = 3,1$ и длиной $L \approx 2500$ мм.

5.2 Получение железнодорожных колес диаметром 957 мм на прессо-прокатной линии АО «ВМЗ» из прошитой заготовки

Получение железнодорожных колес из полых колесных заготовок было осуществлено в соответствии с действующей технологической схемой производства, принятой на АО «ВМЗ».

Для опробования получения железнодорожных колес диаметром 957 мм, полученные гильзы были порезаны на колесные заготовки весом 475-480 кг и размерами: $D = 450$ мм, $d = 160$ мм, $H = 450$ мм, отношение $H/D = 1$, $d/D = 0,355$, $D/S = 3,1$.

Поперечное сечение исходной колесной заготовки представлено на рисунке 5.3.



Рисунок 5.3 – Поперечное сечение исходной полый колесной заготовки

В соответствии с технологической схемой производства железнодорожных колес диаметром 957 мм полые колесные заготовки были нагреты в первой печи до температуры $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, второй печи до температуры $1220\text{--}1240\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Нагретые заготовки по рольгангу транспортировались на прессо-прокатный участок.

Деформирование заготовок было осуществлено в соответствии со схемой деформации, представленной на рисунке 1.3.

Перед деформацией заготовок на прессах производился гидросбив окалины.

Далее с помощью рольганга заготовки подавались к прессу усилием 19,8 МН, где проводилась осадка плоскими плитами до конечной высоты 118 мм. Фотография заготовки после операции свободной осадки представлена на рисунке 5.4.



Рисунок 5.4 – Фотография заготовки после операции свободной осадки

Затем осаженная заготовка устанавливалась на рольганг и транспортировалась к прессу усилием 49 МН.

После завершения операции свободной осадки и разгонки в технологическом кольце деформированная заготовка транспортировалась к штамповочному прессу усилием 98 МН. Осаженная заготовка после деформации на прессе 49 МН представлена на рисунке 5.5.

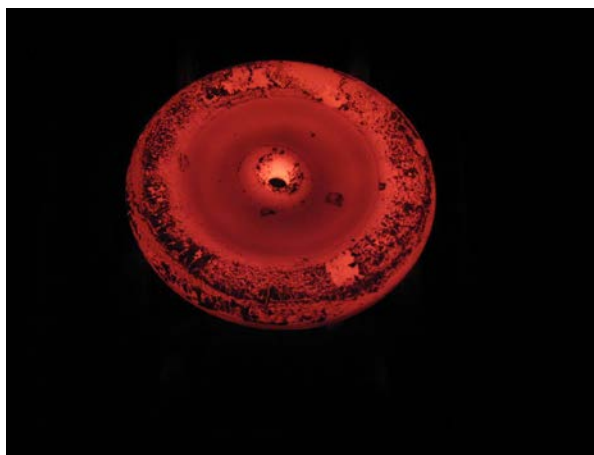


Рисунок 5.5 – Фотография заготовки после операции свободной осадки

Установленная на нижний штамп заготовка центрировалась специальным механизмом. В процессе формовки колесной заготовки было осуществлено

формирование ступицы и прилегающей к ней части диска, подготовлен обод и прилегающая к ней часть диска для прокатки.

Заготовка после операции формовки представлена на рисунке 5.6.



Рисунок 5.6 – Фотография заготовки после операции формовки

В результате деформирования полых заготовок на пресси- прокатной линии получены железнодорожные колеса диаметром 957 мм.

В соответствии с требованиями стандартных механических испытаний полученные железнодорожные колеса из заготовки, предварительно прошитой в стане винтовой прокатки, соответствовали предъявляемым требованиям по ГОСТ 10791-2011. Механические свойства железнодорожных колес, полученных из прошитых заготовок, и колес, изготавливаемых по базовой технологии представлены в таблица 5. 2.

Таблица 5.2 Механические свойства железнодорожных колес диаметром 957 мм, полученных из полой колесной заготовки и по базовой технологии

Место отбора образцов	Механические свойства	Исходная полая колесная заготовка	Среднее значение по плавкам
Обод	Временное сопротивление $\sigma_{\text{в}}$, МПа	1150	1137
	Относительное удлинение δ , %	14,0	12,8
	Относительное сужение ψ , %	36,0	30,1
	Твёрдость на глубине 30 мм от поверхности катания, НВ	325	326
		321	322
		321	325
	Твердость в точке А, НВ	260	269
	Ударная вязкость КСУ при температуре 20 °С, Дж/см ²	38	-
		29	-
		32	-
среднее значение		33	28,6
Диск	Временное сопротивление $\sigma_{\text{в}}$, МПа	920	910
	Предел текучести $\sigma_{\text{т}}$, МПа	445	452
	Относительное удлинение δ , %	15,5	14,7
	Относительное сужение ψ , %	36,0	29,6
	Ударная вязкость КСУ при температуре 20 °С, Дж/см ²	26	24,3
		24	24,3
		26	24,6
		среднее значение	25,3
	Ударная вязкость КСУ при температуре 60 °С, Дж/см ²	80	-
		76	-
		83	-
		минимальное значение	76
Ступица	Твёрдость на расстоянии 10 мм от поверхности посадочного отверстия, НВ	252	243
		236	
		239	
		среднее значение	

По параметрам твердости и прочностным характеристикам экспериментальные колеса и колеса, изготовленные по базовой технологии, (свойства колес экспериментальных /изготовленных по базовой технологии),

имеют примерно равные параметры: предел прочности обода $\sigma_b = 1150/1137$ МПа, предел прочности диска колеса $\sigma_b = 910/910$ МПа.

На основе сравнительного анализа механических свойств выявлено, что колеса, полученные из прошитых заготовок в стане винтовой прокатки, имеют более высокие пластические свойства в ободе, диске колеса.

По показателям относительного удлинения и относительного сужения экспериментальные колеса выше соответствующих показателей колес, изготовленных по базовой технологии: по относительному удлинению для обода $\delta = 14/12,8$ %, диска $\delta = 15,5/14,7$ %; по относительному сужению: для обода $\psi = 36/30,1$ %, для диска $\psi = 36/29,6$ %.

Положительные результаты получены при испытаниях колес на ударную вязкость как при положительной температуре (KCU^{+20}), так и при отрицательной (KCU^{-60}).

Ударная вязкость металла колесной стали в ободе $KCU^{+20} = 33/28,6$ Дж/см², в диске $KCU^{+20} = 25,3/24,4$ Дж/см².

Наиболее высокие показатели механических характеристик экспериментальных железнодорожных колес выявлены при испытаниях металла диска колеса на ударную вязкость при отрицательных температурах (KCU^{-60}). По данному показателю металл экспериментальных железнодорожных колес более чем в 2 раза превосходит по соответствующему показателю металл диска колеса, полученного из сплошной заготовки $KCU^{-60} = 76/35$ Дж/см².

Отсутствие более высоких значений прочностных и пластических свойств экспериментальных колес может быть связано с малыми углами подачи и степенью проработки периферийной зоны при прошивке исходного слитка колесной стали в стане винтовой прокатки.

Более высокие показатели механических свойств железнодорожных колес возможно получить при ведении процесса прошивки на более современных прошивных станах, прошивка в которых может осуществляться при больших

углах подачи $\beta=10-15^0$, что позволит получать заготовку с более проработанной структурой металла в периферийных и центральных частях колесного слитка.

В ходе отработки технологии установлено, что процесс нагрева полых колесных заготовок протекает с большими скоростями и обеспечивает более равномерное распределение температуры по сечению и высоте, усилия при операции осадки полых заготовок снижаются на 20-25 %, по сравнению с использованием сплошных заготовок, что создает более благоприятные условия работы оборудования.

Выводы

1. Исследован процесс формоизменения полых заготовок с отношением H/D 0,97-1,27 и d/D 0,35-0,42 при операциях свободной осадки, осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки. Показано, что при свободной осадке полых заготовок с размерами $D \times d \times H = 460 \times 160 \times 447$ мм, $460 \times 170 \times 455$ мм, $460 \times 180 \times 464$ мм, $445 \times 160 \times 482$ мм формоизменение протекает без образования зажима металла внутри полости.
2. Разработана компьютерная модель технологических операций изготовления железнодорожного колеса диаметром 957 мм. На основе полученных результатов показана возможность изготовления железнодорожных колес из полых заготовок. Проведенный анализ распределения накопленной степени деформации с применением сплошной и полый заготовки ($D \times d \times H = 460 \times 160 \times 447$ мм) показывает, что применение полый заготовки способствует повышению накопленной степени деформации в области ступицы колеса на 17%, диска на 11% и обода на 8%.
3. Исследовано влияние различных схем деформационного воздействия, реализованных методом свободной осадки, винтовой прошивки и последовательным их сочетанием на механические свойства колесной стали марки Т с применением ТМО осажженных сплошных и предварительно прошитых заготовок. Установлено, что деформационное воздействие методом винтовой прошивки способствует повышению пластических свойств и значений ударной вязкости колесной стали. При комбинированной схеме деформации (винтовая прошивка + свободная осадка) и последующей ТМО сохраняется наследование этих свойств;
4. Осуществлено апробирование технологического процесса получения железнодорожных колес диаметром 957 мм из полых заготовок, полученных винтовой прошивкой, в условиях технологической линии АО «ВМЗ». Показано, что колеса, полученные из полых заготовок, прошитых в стане винтовой прокатки, имеют более высокие механические свойства по сравнению с колесами, изготовленными по базовой технологии.

Библиографический список

- 1 Иванов С. Г. Основные направления по повышению надежности и увеличению ресурса цельнокатаных колес / С. Г. Иванов // Сб. докл. науч.-практ. конф. «Колесо-рельс 2003». «Современные проблемы взаимодействия подвижного состава и пути» (20 – 21 ноября 2003 г., г. Щербинка, Россия). – С. 124 – 127.
- 2 Производство железнодорожных колес / Г. А. Бибик, А. М. Иоффе, А. В. Праздников [и др.]. — М. : Metallurgy, 1982. — 232 с.
- 3 Бибик Г.А. Технологические схемы производства и конструкции железнодорожных колес за рубежом / Г. А., Бибик, В. П. Есаулов, М. И Староселецкий. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации.- 1982. - № 15. – С. 15 – 30.
- 4 Производство колес для железнодорожного подвижного состава.// Железные дороги мира.- 2008.- №11.- С. 75-78
- 5 Колеса для железнодорожного подвижного состава.// Железные дороги мира.- 2009.- №8- С. 46-49.
- 6 Lonsdale C., Norton M, Osuch K., Wood L.G. Worldwide Application of Cast Steel Wheel Technology for the Global Railway Industry // Proceedings of 16th International wheelset Congress, Cape Town, 14th–18th March, 2010
- 7 Семечкин А.Е. Состояние рельсового и колесного производства в России и за рубежом / А.Е. Семечкин // Современные технологии производства транспортного металла: материалы 3-й Международной конференции «Трансмет – 2007» / под науч. ред. А. В. Кушнарева, А. А. Богатова. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – С. 7 – 10.
- 8 Шифрин М. Ю. Производство цельнокатаных колес и бандажей/ М. Ю. Шифрин, М. Я. Соломович. — М. : Металлургиздат, 1954. — 500 с.
- 9 Кушнарев А. В. Развитие и освоение на ОАО «НТМК» новой технологии производства железнодорожных колес высокого качества /

- А. В. Кушнарев // Современные технологии производства транспортного металла: материалы 3-й Международной конференции «Трансмет – 2007» / под науч. ред. А. В. Кушнарева, А. А. Богатова. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – С. 22 – 30.
- 10 Совмещение операции осадки и разгонки на прессе усилием 49 МН с использованием заготовок из слитков, отлитых в цилиндрические изложницы с обточенной поверхностью / А. М. Волков, В. А. Тарасова, А. А. Яндимиров [и др.] // Современные технологии производства транспортного металла: материалы 3-й Международной конференции «Трансмет – 2007» / под науч. ред. А. В. Кушнарева, А. А. Богатова. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – С. 245 – 252.
- 11 Кузьмичев В.М. Производство осесимметричных изделий методами обработки металлов давлением / В.М. Кузьмичев, О.Н. Перков // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сб. науч. Тр. Выпуск 24. К. Наука думка. - 2011.- 273 с.
- 12 Копперс У. Производство железнодорожных колёс на высоком техническом уровне / У. Копперс, М. Кунц, М Линденблатт // Черные металлы.- 2006.- №3.- С. 75-79.
- 13 Буркин С. П. О технике и технологии изготовления штампованных колес / С. П. Буркин // Современные технологии производства транспортного металла: материалы 3-й Международной конференции «Трансмет – 2007» / под науч. ред. А. В. Кушнарева, А. А. Богатова. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – С. 206 – 214.
- 14 Леванов А.А. Совершенствование технологии штамповки железнодорожных колес / А. А Леванов // Современные технологии производства транспортного металла: материалы 3-й Международной конференции «Трансмет – 2007» / под науч. ред. А. В. Кушнарева, А. А. Богатова. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – С. 215 – 220.
- 15 Совершенствование технологииковки железнодорожных колес / С. А.

- Королев [и др.] // Кузнечно- штамповочное производство.- 1997. -№ 11.- С. 15-17.
- 16 Новая технология деформирования заготовок при производстве железнодорожных колес / О.А. Ганаго [и др.] // Кузнечно- штамповочное производство. - 1979.- № 2. - С. 8-11.
- 17 Прозоров Л.В./О возможности применения секционной штамповки для изготовления железнодорожных колес / Л.В.. Прозоров, А.В. Алтыксин // Кузнечно- штамповочное производство. - 1966.- №5. - С. 42-43.
- 18 Изготовление плоских осесимметричных заготовок торцевой раскаткой из сортового круглого профиля или толстостенных труб / Н. А. Комков [и др.] // Сталь. - 2012. - № 1 - С. 54- 58
- 19 Производство железнодорожных колес за рубежом / Г. А. Бибик [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и кономической информации.- 1977. - № 16. – С. 19 – 36.
- 20 Колесные пары для различных секторов рынка // Железные дороги мира. - 2013. - № 12 - С. 34-38.
- 21 Производство цельнокатаных колёс в Японии // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации.- 1974. - № 23. – С. 63 – 64.
- 22 Исследование влияния условий деформации на механические свойства цельнокатаных колес / В.А. Паршин [и др.] // Кузнечно- штамповочное производство. - 1968. - № 10. - С. 8-9
- 23 Охрименко Я.М. Неравномерность деформации при ковке / Я.М. Охрименко, В. А. Тюрин.- М. : Машиностроение, 1969.- 182 с.
- 24 Неравномерность и локализация пластической деформации в процессах обработки металлов давлением / Г.С Бурханов [и др.] // Металлы. - 2012.- №4.- С. 39-46.
- 25 Физико- механическая модель пластической деформации металла при осадке заготовок / Н.А. Комков [и др.] // Проблемы черной

металлургии. - 2013.- №2 - С. 5-17.

- 26 ГОСТ 10791-2011. Колеса цельнокатанные, технические условия. - Введ. 2012-01-01. – М. : Стандартиформ. 2011
- 27 Дюдкин Д.А. Производство стали. Том 1. Процессы выплавки, внепечной обработки и непрерывной разливки / Д.А. Дюдкин., В. В. Кисленко.- М.: «Теплотехник», 2008. - 528 с.
- 28 Совершенствование производства конвертерной стали транспортного назначения на НТМК / А.В. Кушнарев [и др.] // Сталь. - 2003. - № 6.- С. 14-16.
- 29 Синельников В. А. Технологические аспекты повышения конкурентноспособности продукции черной металлургии / В.А Синельников. Г.А. Филиппов, А.А. Сахарнов // Металлург. - 1998. - № 7. - С. 27-30.
- 30 Филиппов Г.А. Перспективные технологии производства металлопродукции для железнодорожного транспорта // Металлург. - 2004. - №9. - С.55-58.
- 31 Губенко С.И. Некоторые структурные аспекты колесной стали, определяющие качество железнодорожных колес/ С.И. Губенко// Современные технологии производства транспортного металла: материалы 3-й Международной конференции «Трансмет – 2007» / под науч. ред. А. В. Кушнарева, А. А. Богатова. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – С. 88 – 113.
- 32 Шифрин М. Ю. Резервы производительности и выхода годного при прокатке колес / М.Ю. Шифрин. – М. : Металлургия, 1989. – 144 с.
- 33 Яковенко А.В. Проектирование профилей и калибровок железнодорожных колес./ А. В. Яковенко, Н. И. Ивлева, Р. А. Голышков.– Донецк. : Донецкий национальный технический университет, 2008.- 491 с.

- 34 Данченко В.Н. Выбор технологической схемы многопереходной штамповки заготовок железнодорожных колес / В.Н. Данченко, Х. Дья., А.В. Шрамко // Metallургическая и горнорудная промышленность. - 2010. - № 1. - С. 58-61.
- 35 Пути снижения расхода металла при производстве цельнокатаных колес / А.В.Яковенко [и др.] // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2002. - № 4. - С. 42-44.
- 36 Снитко С.А. Технологические схемы и механизмы, обеспечивающие повышение точности и стабильности размеров штампованных колесных заготовок / С.А. Снитко // Сталь. – 2013. - №10. - С. 72-78
- 37 Освоение производства новых видов цельнокатаных колес для железнодорожного транспорта / В. С. Маркин [и др.] // Сталь. - 2007.- №9.- С. 79-82.
- 38 Узлов И.Г. Ужесточение требований к ударной характеристике металла железнодорожных колес / И. Г. Узлов, Л. А., Моисеева, А. А. Дерюгин // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2002. - №1. – С. 49-51.
- 39 Филиппов Г. А. Перспективные технологии производства металлопродукции для железнодорожного транспорта / Г.А. Филиппов // Metallург. – 2004. - №9. - С. 55-58.
- 40 Филиппов Г.А. Современные тенденции развития металлопродукции для железнодорожного транспорта / Г.А. Филиппов, В. А. Синельников. // И.П. Бардин и metallургическая наука: Сб.научных трудов.- М.: Metallургия, 2003. – 338 с.
- 41 Технология производства железнодорожных колес повышенной твердости из стали марки Т / А.В. Кушнарeв [и др.] // Сталь. – 2011. - № 11. - С. 122-124.
- 42 Технологические аспекты повышения надежности железнодорожных колес / А.А. Шишов [и др.] // Сталь. - 2007. - №9.- С.84-86.

- 43 Колесная сталь / И. Г. Узлов [и др.] – К.: Техніка, 1985. –168 с.
- 44 Узлов И.Г. Прогрессивные процессы производства м качество железнодорожных колес / И.Г. Узлов // Сталь. – 2003. - №5. - С. 69-72
- 45 Условия эффективного воздействия нитридных и карбонитридных фаз на измельчение структуры конструкционных перлитных сталей / Н.Г. Шапошников [и др.] // Сталь. – 2004. - №7. - С. 84-87
- 46 Кушнарев А.В. Металлопрокат для железнодорожного транспорта- в основе задач реконструкции прокатных цехов/ А.В. Кушнарев // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2008. - № 3. – С. 13 – 16.
- 47 Роль ванадия в микролегированных сталях / Р. Лагнеборг [и др.]. – Екатеринбург: ГНЦ РФ УИМ, 2001. 107с.
- 48 Арсенкин А.М. Микролегирование колесной стали карбонитридообразующими элементами / А.М. Арсенкин // Сталь. - № 9. – 2007. - С. 29-30
- 49 Выбор колесной стали для колес- альтернативы и возможности. Железные дороги мира. – 2007. - №12. – С. 38-43.
- 50 Траекторно- скоростные условия процесса прошивки в станах винтовой прокатки / С.П. Галкин [и др.] // Производство проката. – 2007. - №5. - С. 37-42.
- 51 Никулин А.Н. Анализ деформационных и кинематических условий при винтовой прокатке / А.Н. Никулин // Металлы. – 1999. - №6. - С. 46-54.
- 52 Панов Е.И. Влияние технологических параметров поперечно-винтовой прокатки на величину окружных напряжений, возникающих в сплошной заготовки / Е.И. Панов // Металлург. – 2005. - №3. - С. 47-52.
- 53 Никулин А.Н. Течение металла при прошивке на стане винтовой прокатки / А.Н. Никулин // Металлург. - 2004. - №9. - С. 42-46.
- 54 Никулин А.Н. О роли способа прокатки в формировании служебных свойств металлопродукции / А.Н. Никулин // Производство проката. -

2002. - №8. - С.2-5.
- 55 Микляев Г.П. Кинетика разрушения / Г.П. Микляев, Г.С. Нешпор, В.Г. Кудряшов.- М.: Металлургия, 1979.- 278 с.
- 56 Галки С.П. Радиально- сдвиговая прокатка- новый высокоэффективный способ обработки металлов давлением/ С.П. Галки, Е.А. Харитонов, В.П. Романенко / Прогрессивные технологии ОМД. Учебно-методическое пособие- М.: ИРИАС, 2009. С .293-301.
- 57 Никулин А.Н., Деформационное воздействие винтовой прокатки на непрерывнолитой металл / А.Н. Никулин, В.В. Стрелецкий // Металлург. - 2005. - № 3. - С. 43-46.
- 58 Галкин С.П. Траектория движения деформируемого металла как основа управления процессами радиально- сдвиговой и винтовой прокатки / С.П. Галкин // Сталь. – 2004. - №7. - С. 63-66.
- 59 Качество изделий титановых сплавов, полученных из заготовок со стана радиально- сдвиговой прокатки / Е.А. Харитонов [и др.] // Цветные металлы. - 1992. - №1. - С. 44-47.
- 60 Влияние радиально–сдвиговой прокатки на качество полуфабрикатов титановых сплавов / Е.А. Харитонов [др.] // Цветные металлы. - 1992. - №5. - С. 56-57.
- 61 Специальные прокатные станы / А.И. Целиков [и др.] – М.: «Металлургия», 1971. – 336с.
- 62 Повышение пластичности и расширение сортамента непрерывнолитой заготовки при поперечно- винтовой прокатке / В.Я. Осадчий [и др.] // Производство проката. - 2015. - № 3. - С. 26-29.
- 63 Тюрин В.А. Концепция совершенствования производства железнодорожных колес / В.А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. – 2004. - № 11. - С. 3-6.
- 64 Найзабеков А.Б. Совмещение процесса поперечно-винтовой прокатки с равноканальным угловым прессованием / А.Б. Найзабеков, С.Н. Лежнев

- А.С. Арбуз // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении: Сб. науч. трудов. Екатеринбург: Унив. Тип . «Альфа Принит». - 2013. - С. 681-684.
- 65 Тарновский И.Я. Свободная ковка на прессах / И.Я. Тарновский, В. П. Трубин, М. Г. Златкин.- М.: «Машиностроение» 1967.- 328с.
- 66 Алтыкис А.В. Образование зажимов при свободной осадке цилиндрических поковок с центральным отверстием / А.В. Алтыкис // Кузнечно- штамповочное производство.- 1960. - С. 10-12.
- 67 Романце Б.А. Обработка металлов давлением: Учеб. / Б.А. Романцев [и др.]. - М.: Изд. Дом МИСиС, 2008.- 960 с.
- 68 Теория и технологияковки / Л.Н. Соколов [и др.].- К.: ,Выща шк. Головное изд- во, 1989. - 317с.
- 69 Воронцов А. Л. Свободная осадка полых цилиндрических заготовок / А. Л. Воронцов //Справочник. Инженерный журнал. - 2006. - №11. - С. 21-31.
- 70 Охрименко Я.М. Новые вариантыковки поковок из полых слитков / Я.М. Охрименко, В. А. Тюрин, В. В. Ляхов.- Сб. «Теория и технология обработки металлов давлением». М.: «Металлургия», 1975 (МИСиС. Науч. тр. № 86). С. 187-191.
- 71 Чиченев Н.А. Методы исследований процессов обработки металлов давлением - Н.А. Чиченев, А.Б. Кудрин, П. И. Полухин. – М.: «Металлургия», 1977.- 308 с.
- 72 Bandar A. R., Negvesky £., Misiolek W. Z, Kazanowskij*. Physical and Numerical Modeling of Billet Upsetting// 7 International aluminum extrusion technology seminar.Chicago, Illinois. May, 2000. P. 159—166.
- 73 Thackray R., Dashwood R., McShane H. Simulation ofthe Effect of Tooling and Billet Condition on Bulk and Surface Metall Flow during Extrusion // 7 International aluminum extrusion technology seminar. Chicago, Illinois.May, 2000. P. 213-223.

- 74 Flitta I., Sheppard T. Investigation of friction during the extrusion of Al-alloys using FEM simulation // The 5th International Esaform Conference of Material Forming. Krakow, Poland. April, 2002. P. 435—438.
- 75 Чумаченко Е. Н. Математическое моделирование и оптимизация процессов деформирования материалов при обработке давлением / Е. Н. Чумаченко, И. В. Логашина.- М.: ООО НПП ЭКОМЕТ, 2008.- 400с.
- 76 Bunturo I. A., Mueller K. B. Overview of various pending methods directly after extrusion process // The 5 International Esaform Conference of Material Forming. Krakow, Poland. April, 2002. P. 443—446.
- 77 Koop R., Mueller K., Jao Ch. Visoplastische und numerische Erfassung des Materialflusses beim direkten Strangpressen. Aluminium, 1998. Part I. № 1/2, Part II . № 4. S. 248-255.
- 78 Биба Н.В. Qform- программа моделирования процессов формоизменения в промышленных условиях / Н. В. Биба, А. И. Лишний. С. А. Стебунов // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2000. - №8-9. - С 49-54.
- 79 Маковецкий А.В. Использование конечно-элементного моделирования в ряде задач обработки металлов давлением / А.В. Маковецкий //Сборник научных трудов «Обработка металлов давлением», Краматорск. - 2008. - №1(19). - С.23-28.
- 80 Оптимизация процессов горячей объемной штамповки путем моделирования в программном комплексе Qform / А.К. Шмаков [и др.] // Кузнечно- штамповочное производство. - 2013. - №4. - С. 28-31.
- 81 Данченко В.Н. Теория процессов обработки металлов давлением / В.Н. Данченко, В.А. Гринкевич, А.Н. Головкин.- Днепропетровск. Пороги, 2010. -386 с.
- 82 Семин П.В. Исследование изотермического процесса раскатки дисков из титановых сплавов с помощью инженерных методов расчета и системы deform 3d / П.В. Семин, В.А. Семин – М: МИСиС. 2009.-154с.

- 83 Алексеев П.Л. Исследование состояния металла в процессе радиально-сдвиговой прокатки на стане СРВП-130 / П.Л. Алексеев [и др.] // Известия ВУЗов. Цветная металлургия. - 2013.- №1. - С. 39-44.
- 84 Харитонов Е. А. Моделирование процесса раскатки труб на трехвалковом раскатном стане винтовой прокатки / Е. А. Харитонов, В. П. Романенко, А.С. Будников // Сталь. - №10. - 2014. - С. 44-47.
- 85 Романенко В.П. Моделирование процесса винтовой прошивки сплошных заготовок большого диаметра в двухвалковом стане методом конечных элементов / В.П. Романенко, А.А. Золотарев, Д. В. Сизов // Известия ВУЗов. Черная металлургия. - 2013. - № 3. - С. 60-64.
- 86 Разработка сквозного технологического процесса производства заготовок для машиностроения на основе компьютерного моделирования / А.Н. Ромашкин [и др.] //Металлург. -2014. - №9. - С. 109-117.
- 87 Скрипаленко М.М., А.А. Сидоров, В.Е. Баженов, М.Н. Скрипаленко, И.А. Иванов. О возможности применения DEFORM для моделирования сквозных технологических процессов производства металлопродукции. //Труды международного форума «Инженерные системы», Москва, 10-11 апреля 2012 г. ,М.: Макс пресс, С. 214-218.
- 88 Lee Y. S., Lee S. U., Van Tune C. J. et al. Modeling of the void close behavior in a 100t ingot during hot forming. // J. of Materials Processing Technology. 1 June 2011. Vol. 211, Is. 6. P. 1136-1145.
- 89 Сидоров А.А. Компьютерное моделирование эволюции микроструктуры никелевых сплавов в процессе горячей обработки давлением / А.А. Сидоров, А.И. Алимов // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении: Сб. науч. трудов. Екатеринбург: Унив. Тип . «Альфа Принит» - 2013. - С. 142-145.

- 90 Скрипаленко М.М. К вопросу выбора программных продуктов для моделирования процессов обработки металлов давлением / М.М. Скрипаленко, М.Н. Скрипаленко // *Металлург.* - № 1. - 2013г. - С.20-23.
- 91 Голышков Р. Оптимизация технологических процессов колесопрокатного производства с помощью программного комплекса DEFORM / Р. Голышков //, САПР и графика. - 2006. - №7. - С. 73-75.
- 92 Миленин А.А. Математическое моделирование процесса трансформации поверхностных дефектов слитка при горячей штамповке заготовок железнодорожных колес / А. А. Миленин, В. А. Афанасьев // *Сборник научных трудов «Обработка металлов давлением»*, Краматорск. - 2008. - №1(19). - С.23-28.
- 93 Структурно-деформационный анализ производства заготовок железнодорожных колес методом математического моделирования / В.В. Галкин [и др.] // *Фундаментальные исследования.* - 2013. - №4. -С. 18-23.
- 94 Галкин С.П. Неравномерность радиальных перемещений и деформаций при прошивке в стане винтовой прокатки / С.П. Галкин, Б.А. Романцев // *Производство проката.*- 2009.-№9.- С. 22-28.
- 95 ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. – М.: Изд-во стандартов. 1984
- 96 ГОСТ 9454-78. Метод испытаний на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах. – М.: Изд-во стандартов. 1978
- 98 Романенко В. П. Экспериментальное исследование геометрических параметров процесса прошивки осесимметричных гильз / В. П. Романенко, Д.В. Сизов, Г.П. Илларионов // *Известия ВУЗов. Черная металлургия.* -2012. - №11. - С. 31-34.



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям,

проф., д.т.н.

М. Р. Филонов

«___» _____ 2015 г.

АКТ

о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы Фомина Алексей Викторовича в учебный процесс на кафедре ТОТП НИТУ «МИСиС»

Настоящий акт подтверждает использование в учебном процессе результатов работы Фомина А.В. на тему «Исследование формоизменения заготовки, полученной винтовой прошивкой, для производства железнодорожных колес», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Представленные в диссертации результаты исследований влияния винтовой прокатки на уровень механических свойств колесной стали, компьютерного моделирования в программном комплексе Deform 3D операций свободной осадки, осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки, течения металла с применением сплошной и полый заготовок, использованы в учебном процессе на кафедре технологии и оборудования трубного производства в рамках курса «Технология производства бесшовных и сварных труб» при выполнении лабораторных работ, подготовке курсовых и дипломных проектов студентами, обучающимися по специальности «Обработка металлов давлением».

Результаты работы рассмотрены и рекомендованы к внедрению на заседании расширенного научного семинара кафедры ТОТП от 29 декабря 2014 г. (протокол № 21).

Начало использования объекта внедрения – январь 2014 г.

Директор института ЭкоТех

А.Я Травянов

Зав. кафедрой ТОТП,
проф., д.т.н.

Б.А. Романцев

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ИТЦ АО «ВМЗ»
П. П. Степанов
«___» _____ 2015г.

АКТ

промышленного опробования и применения полых заготовок, полученных прошивкой слитка колесной стали в стане винтовой прокатки, для производства железнодорожных колес диаметром 957 мм по ГОСТ 10791

Сотрудниками НИТУ «МИСиС» и АО «ВМЗ» выполнены работы по исследованию возможности применения полых заготовки, полученной прошивкой слитка колесной стали, для производства железнодорожных колес диаметром 957 мм по ГОСТ 10791.

Проведен комплекс работ по исследованию влияния сочетания винтовой прошивки и свободной осадки на механические свойства колесной стали. Исследование проведено на модельных образцах. Показано, что деформационное воздействие методом винтовой прошивки способствует повышению пластических свойств и значений ударной вязкости колесной стали.

На основе выполненных исследований на технологической линии АО «ВМЗ» прокатаны железнодорожные колеса диаметром 957 мм из пробных колесных заготовок стали марки 2 по ГОСТ 10791, полученных винтовой прошивкой слитка. Показано, что полученные колеса имеют более высокие механические свойства по сравнению с колесами, изготовленными по базовой технологии.

Вышеуказанные результаты отражены в отчётах по НИР «Разработка технологического процесса предварительной деформации с прошивкой крупных слитков и НЛЗ на станах винтовой прокатки для создания нового процесса производства ж/д колес «винтовая прокатка–прошивка–горячее деление на заготовки–прессо-прокатка» (договор № 208-07 от 20.10.2007 г.) и «Исследование влияния степени предварительной деформации заготовки из колесной стали винтовой прокаткой, прошивкой на уровень свойств и их анизотропию в ободу колеса» (договор № 8-2010 от 24.02.2010 г.)

от НИТУ «МИСиС»:

Заведующий кафедрой
ТОТП НИТУ «МИСиС»
Б.А. Романцев

«___» февраль 2015г.

Научный руководитель
В.П. Романенко

«___» февраль 2015г.

Научный сотрудник
А.В. Фомин

«___» февраль 2015г.

от АО «ВМЗ»:

Начальник управления по технологии металлургического производства ИТЦ
В.В. Кислица

«01» октябрь 2015г.

Директор дивизиона железнодорожных колёс
А.М. Волков

«4» октябрь 2015г.

Главный специалист по прокату УТМП ИТЦ
А.А. Севастьянов

«01» ноябрь 2015г.