

ФОМИН АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ

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

Специальность 05.16.05 – «Обработка металлов давлением»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2015

Работа выполнена на кафедре технологии и оборудования трубного производства (ТОТП) в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Научный руководитель: Профессор, кандидат технических наук
Романенко Василий Павлович
(НИТУ «МИСиС»)

Официальные оппоненты: **Сосенушкин Евгений Николаевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Московский Государственный Технологический Университет «СТАНКИН», кафедра «Системы пластического деформирования», профессор

Белокуров Олег Александрович, кандидат технических наук, ФГБОУ ВПО «Московский Государственный Технологический Университет им. Н.Э. Баумана», доцент кафедры «Технологии обработки давлением»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН)

Защита состоится «14» октября 2015 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.132.09 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по адресу: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте НИТУ «МИСиС» www.misis.ru.

Автореферат разослан « » 2015 года

Справки по телефону: (495) 955-01-27

E-mail: pdss@misis.ru

Ученый секретарь

диссертационного совета



С.М.Ионов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

«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 путем 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.

Цель и задачи работы.

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.

Реализация результатов работы:

– результаты теоретических и экспериментальных исследований позволили провести апробирование технологического процесса получения железнодорожных колес в условиях прессо-прокатной линии АО «ВМЗ», из полых заготовок, полученных винтовой прошивкой;

– результаты работы внедрены в процесс обучения студентов НИТУ «МИСиС» и ВФ НИТУ «МИСиС» по направлению «Металлургия» и «Технологические машины и оборудование».

Методы исследований и достоверность результатов.

Исследование процесса свободной осадки полых заготовок проведено с применением методов физического и компьютерного моделирования в среде программно-вычислительного комплекса Deform 3D V10.

Для исследования влияния совмещения процессов прошивки, последующей осадки и термообработки на механические свойства колесной стали использовали экспериментальный метод физического моделирования. Испытания на растяжение, ударную вязкость, сопротивление усталостному разрушению проведено в соответствии с требованиями стандартов: ГОСТ 1497-84, ГОСТ 9495-78, ГОСТ 9454-78.

Основные научные положения, выводы и рекомендации диссертации обоснованы, базируются на результатах, достоверность которых подтверждается использованием современных технических средств и оборудования, применением экспериментальных и теоретических методов исследования, математической обработкой данных с использованием вычислительной техники. Промышленное апробирование подтвердило адекватность полученных результатов.

Апробация работы.

Научные результаты и положения диссертации доложены и обсуждены на конференциях и семинарах: V Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании» (г. Варна, Болгария, 2009); Международная научно- практическая конференция «XXXIX неделя науки СПбГПУ» (г. Санкт-Петербург, 2010); VIII конгресс прокатчиков (г. Магнитогорск, 2010); VI Международная научно-техническая конференция «Инновационные технологии обработки металлов давлением» (г. Москва, 2011г.); Конкурсе У.М.Н.И.К. (г. Москва, 2012), на X и XIV Всероссийской выставке НТТМ-2010, 2014 (г. Москва, 2010, 2014), на Международной промышленной выставке Металл- Экспо- 2010, 2013. (г. Москва, 2010, 2013).

Публикации.

Основное содержание работы отражено в 11 печатных работах, из них 9 статей в изданиях, рекомендованных ВАК России для опубликования основных

научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора технических наук и кандидата технических наук.

Структура и объем работы.

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрыты их научная новизна и практическая значимость, приведена структура диссертации.

В первой главе изложен аналитический обзор научно-технической литературы по методам обработки металлов давлением, используемым в производстве железнодорожных колес.

Рассмотрено современное состояние производства железнодорожных колес и проанализированы известные технологические схемы. Наибольшее распространение получили технологии производства железнодорожных колес с использованием методов деформирования слитков и непрерывнолитых заготовок на прессах и прокатки на колесопркатном стане. При такой технологии производства наибольший вклад в формирование эксплуатационных свойств железнодорожных колес вносит операция осадки, существенно влияющая на проработку структуры металла.

В условиях контактного трения свободная осадка полых заготовок характеризуется неравномерностью распределения деформаций в объеме, при этом объемы металла, примыкающие к боковой поверхности заготовки, которые задействованы в формировании обода, оказываются наименее деформированными, по сравнению с остальной частью поковки.

Анализ показывает, что повышения эксплуатационных характеристик железнодорожных колес можно достичь за счет разработки новых марок сталей, режимов термообработки, а также улучшения качества исходной заготовки методами обработки давлением, например, за счет предварительной проработки литой структуры металла. Известны эксперименты по исследованию использования заготовок, деформированных в стане продольной прокатки, применение которых позволяет снизить отбраковку железнодорожных колес по неметаллическим включениям, газовым пузырям и другим дефектам металлургического происхождения. К тому же горячекатаные заготовки обладают более высокой точностью размеров, чем литые, что способствует повышению стабильности геометрических размеров, массы черновых колес и снижению припусков на их механическую обработку.

Ранее проведенные экспериментальные исследования в НИТУ «МИСиС» показали эффективность процесса винтовой (радиально-сдвиговой) прокатки для повышения механических свойств сортового проката и изделий различного назначения.

На основании этого можно предположить, что прошивка литой заготовки в стане винтовой прокатки, которая за счет интенсивных сдвиговых деформаций обеспечивает проработку литой структуры как в периферии, так и в центральной части заготовки, даже при малых коэффициентах вытяжки позволит повысить эксплуатационные характеристики железнодорожных колес.

Вторая глава посвящена исследованию формоизменения полых заготовок при свободной осадке.

Существующая технологическая схема производства железнодорожных колес включает следующие операции: свободную осадку заготовки, совмещенную операцию свободной осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки, раскатки на колесопрокатном стане, выгибки диска, калибровки обода и прошивки отверстия ступицы. Для получения необходимой геометрической формы чернового колеса из полрой заготовки, необходимо, чтобы внутренняя полость закрывалась после операции свободной осадки и разгонки в технологическом кольце, тогда

дальнейшее формоизменение соответствовало бы традиционной операции формовки сплошной заготовки.

При замене сплошной колесной заготовки на полую такого же объема, возникает необходимость увеличения ее высоты и исследованию процесса осадки полый «высокой» заготовки.

Известно, что с увеличением отношения высоты полый заготовки к внешнему диаметру (H/D) и определенным отношением внутреннего диаметра к наружному диаметру (d/D) формоизменение полый заготовки при свободной осадке в условиях контактного трения может протекать с образованием зажима металла в средней части высоты поковки. В связи с этим проведено исследование формоизменения металла полых заготовок при свободной осадке.

На первом этапе проводили анализ формоизменения полый заготовки из свинца и стали 60. На втором этапе выполняли компьютерное моделирование формоизменения полых заготовок по стадиям технологического процесса.

Для проведения анализа формоизменения полых заготовок и оценки возможности применения полый заготовки в качестве исходной для получения железнодорожных колес было выполнено моделирование операции свободной осадки полых заготовок на образцах из свинца и стали 60 с отношением H/D близким к 1 и отношением $d/D = 0,355$.

Такие геометрические параметры заготовок выбраны в связи с тем, что для стабильного ведения процесса прошивки в стане винтовой прокатки слитка диаметром 474 мм из колесной стали геометрические размеры гильз будут соответствовать минимальным предельным значениям отношения наружного диаметра к толщине стенки $D/S \approx 3$.

Деформацию образцов осуществляли на гидравлическом прессе с усилием 2,50 МН плоскопараллельными плитами. Перед осадкой стальные заготовки нагревали до температуры 1200 °С.

Осадку выполняли с различной степенью деформации (рисунок 1).

После разрезки осажённых заготовок по диаметральной плоскости было установлено, что формоизменение полых свинцовых и стальных образцов различно.

При свободной осадке свинцовых образцов со степенью деформации $\epsilon=18\%$, формоизменение протекает с расширением полости.

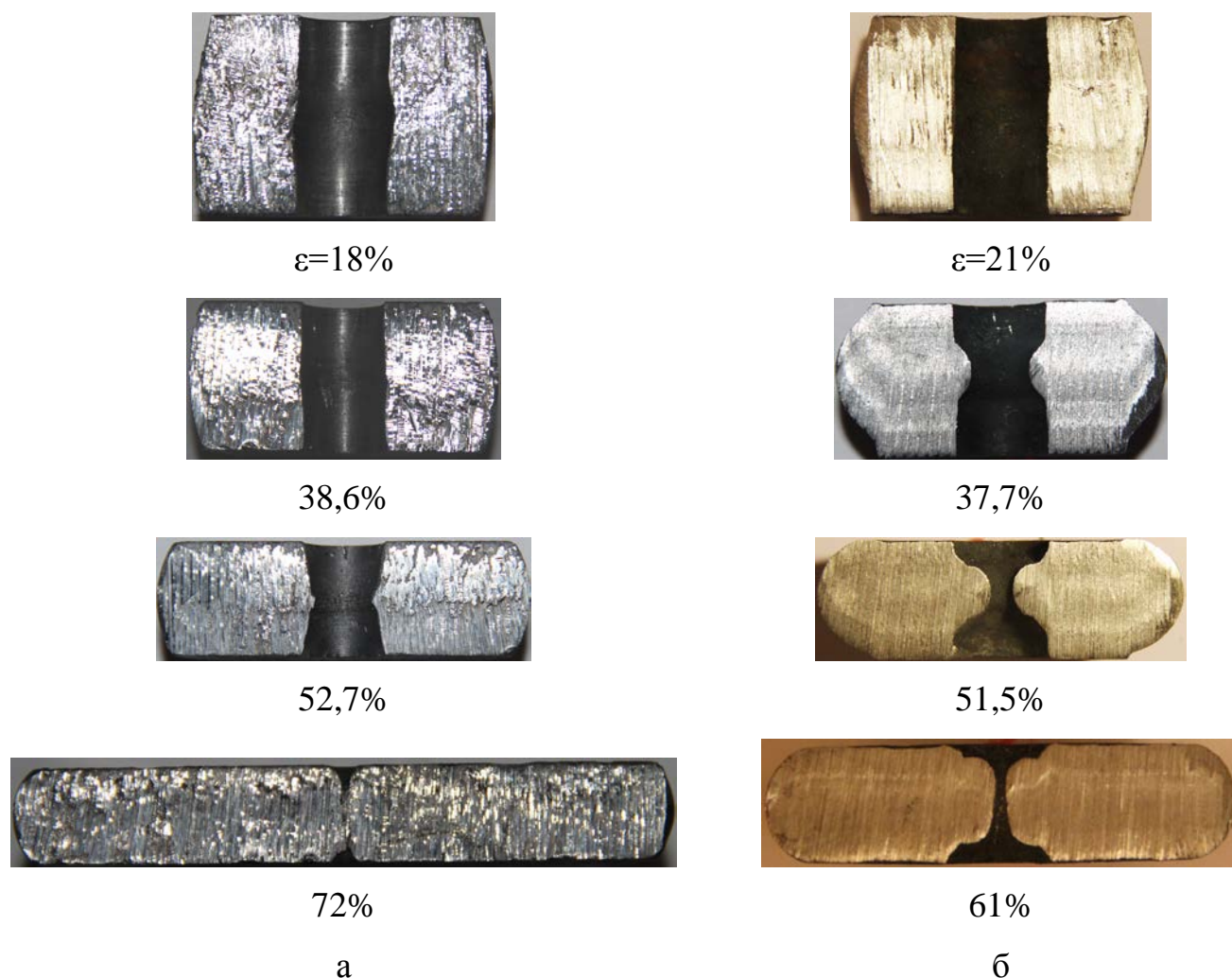


Рисунок 1 – Формоизменение полых заготовок при свободной осадке: а- свинцовые образцы ($D=45,6$ мм, $d=16,3$ мм, $H=45,2$ мм), б- образцы из стали 60 ($D=45$ мм, $d=16$ мм, $H=45$ мм)

При дальнейшем деформировании, происходит истечение металла как в сторону периферии, так и к оси заготовки.

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

Различное формоизменение свинцовых и стальных образцов объясняется, вероятно, влиянием подстуживания контактных поверхностей заготовки от плит

пресса, о чем свидетельствует внутренняя и наружная боковая поверхность осажённых стальных заготовок. В результате взаимодействия рабочего инструмента и заготовки происходит образование жестких зон в области контактных поверхностей, что способствует вытеснению металла в средней части высоты заготовки (см. рисунок 1).

В то же время, осадка свинцовых и стальных образцов со степенью деформации $\varepsilon \approx 60-70\%$, протекает с закрытием полости без образования зажима металла внутри отверстия.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования процесса осадки свинцовых и стальных полых образцов показали возможность получения бездефектной поковки при свободной осадке полый заготовки с отношением $D/S \approx 3$ и $H/D = 1$.

В третьей главе представлены результаты исследования формоизменения на основе компьютерного моделирования операций свободной осадки, осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки с применением сплошной и полый заготовок.

Для исследований 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 рассчитаны высоты заготовок, отношение высоты к наружному диаметру которых находится в пределах $H/D = 0,97-1,27$.

Моделирование технологических операций, применяемых при производстве железнодорожных колес диаметром 957 мм на прессо- прокатной линии АО «ВМЗ» (свободная осадка, осадка и разгонка в технологическом кольце, формовка) выполняли с применением программно- вычислительного комплекса Deform 3D V10 при следующих параметрах: температура нагрева заготовок 1240°C ; температура рабочего инструмента 350°C ; 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 ГОСТ 10791-2011.

В результате компьютерного моделирования процесса осадки полых заготовок показано (рисунок 2), что 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.

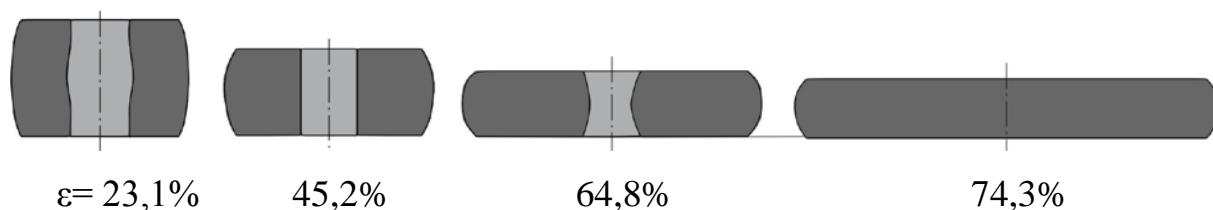


Рисунок 2 – Формоизменение полых заготовки при свободной осадке ($D=460$ мм, $d=160$ мм, $H=447$ мм)

В результате проведенного моделирования 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. 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. На конечной технологической операции металл с зажимом удаляется при прошивке отверстия ступицы.

В то же время 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.

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

Для этого радиус сплошной заготовки с размерами, соответствующими заготовке применяемой для производства железнодорожных колес диаметром $\varnothing 957$

мм (H=358 мм, D= 482 мм) разделили на 10 равных частей. Распределения слоев металла в гильзе после прошивки заготовки с коэффициентом вытяжки $\mu=1,25$ (D= 460 мм, d=160 мм) в стане винтовой прокатки осуществляли по методике профессора Галкина С.П..

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

$$R_x = \sqrt{r_r^2 + \left(\frac{r_x}{R_0}\right)^2 (R_r^2 - r_r^2)},$$

где R_x - искомый радиус, r_x - исходный радиус слоя (до прошивки), R_0 - исходный радиус заготовки, R_r - наружный радиус гильзы, r_r - внутренний радиус гильзы.

Рассчитанные радиусы слоев сплошной и полый заготовок представлены в таблице 1.

Таблица 1 Слои металла сплошной и полый заготовки

Номер слоя	Радиусы слоев, мм	
	Сплошная заготовка ($R_0=241$ мм)	Прошитая заготовка ($R_r=230$ мм, $r_r=80$ 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).

Подобное течение металла полый заготовки вызвано ее большей высотой и соответственно увеличением степени деформации по высоте. При деформировании сплошной и полый заготовки, слои металла, находящиеся вблизи оси (слой 1, 2, 3)

после операции формовки сконцентрированы в теле ступицы поковки. Центральный слой 1 после операции формовки сплошной и полый заготовок распределяется в той области ступицы, которая удаляется при операции прошивки отверстия.

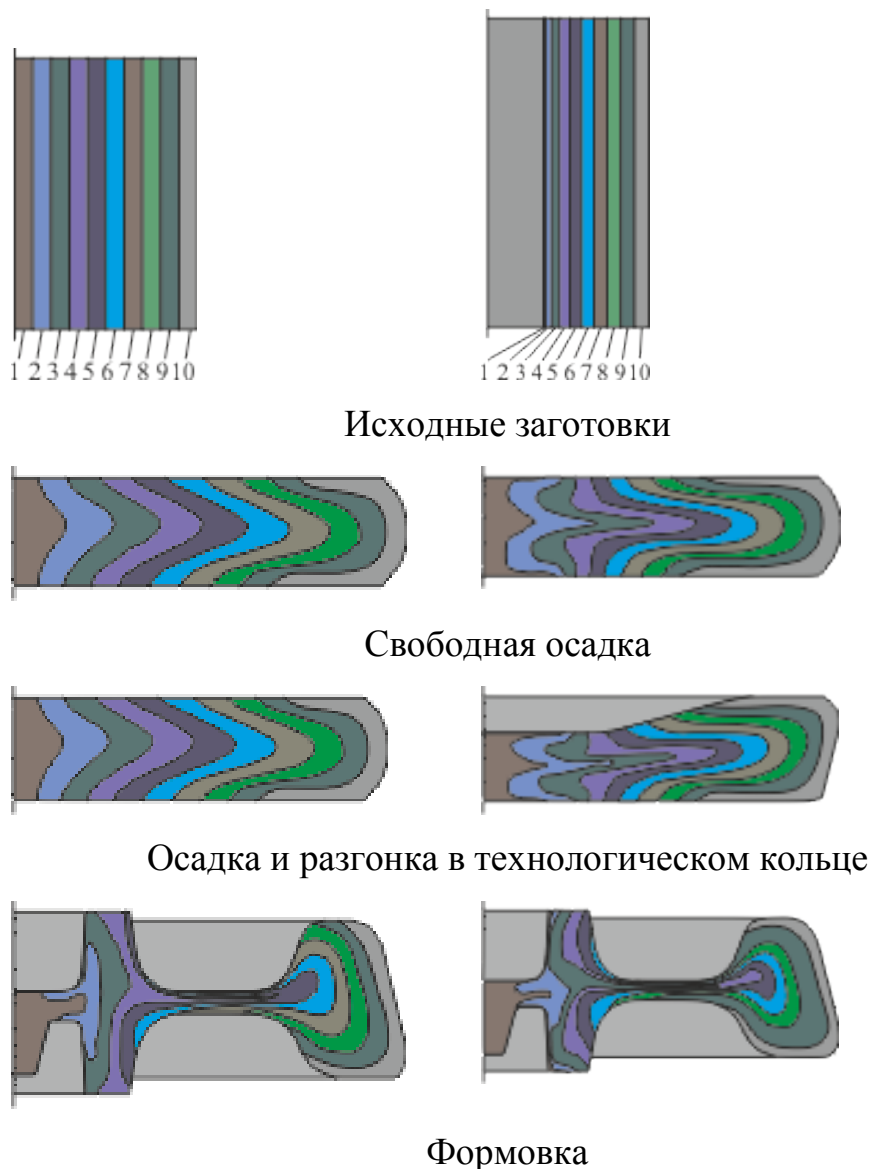


Рисунок 3 – Схема течения металла при деформировании сплошной ($D=482$ мм, $H=358$ мм) и полый ($D=460$ мм, $d=160$ мм, $H=447$ мм) заготовок на прессах

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%.

Глава четвертая посвящена экспериментальным исследованиям влияния сочетания деформационной обработки методом винтовой прошивки и свободной осадки на механические свойства колесной стали.

При исследовании влияния деформационного воздействия на механические свойства колесной стали для сопоставления были взяты механические свойства исходных литых заготовок. Исследование проводили на образцах диаметром $\varnothing 100$ мм и длиной 300 мм. Вырезка заготовок для изготовления образцов была осуществлена из средней части семизаготовочного слитка производства АО «ВМЗ». Материал заготовок – колесная сталь марки Т. Вырезка образцов выполнена из периферийной и срединной частей колесных заготовок (рисунок 4).

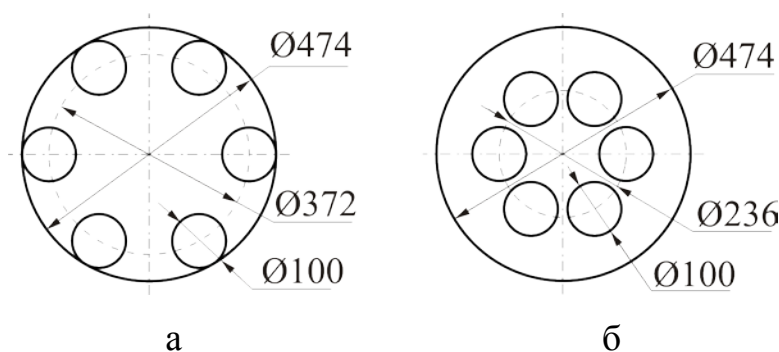


Рисунок 4 – Схема вырезки образцов из колесной заготовки диаметром 474 мм: а- заготовки из периферийной части слитка, б- срединной части

Изучение деформационного воздействия на механические свойства металла литой заготовки было осуществлено для следующих схем деформации: прошивка образца на стане винтовой прокатки; осадка сплошного образца на прессе; комбинированная схема – прошивка образца на стане винтовой прокатки и его последующая осадка на прессе. Исследования механических свойств колесной стали также проведены после термообработки осаженных литых и предварительно прошитых заготовок.

Термообработку образцов выполняли по режимам, разработанным ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина», моделирующим прерывистую закалку обода колеса.

Прошивка исходных заготовок диаметром 100 мм и длиной 300 мм выполнена на двухвалковом опытно-промышленном стане МИСиС-130 Д при следующих настроечных параметрах: угол подачи $\beta=12^0$, коэффициент овализации $\zeta=1,1$, обжатие в пережиме $\varepsilon=12-15\%$, диаметр оправки $d=29$ мм, обжатие перед носком оправки $\varepsilon_{н.о.}=12,5\%$, частота вращения рабочих валков $n=57$ об/мин., коэффициент вытяжки $\mu=1,48$ и $\mu=1,62$.

Нагрев заготовок перед прокаткой осуществляли до температуры $T=1200$ °С с выдержкой в печи в течении 40-50 мин.

Осадка образцов проведена на гидравлическом прессе модели П-250 усилием 2,5 МН при температуре нагрева заготовок до 1200 °С.

Исследование влияния деформационного воздействия на механические свойства колесной стали было выполнено при испытаниях на растяжение, ударный изгиб, циклических испытаниях. Сравнительный анализ полученных результатов проводили по среднему значению показателей механических свойств для трех образцов.

В результате анализа механических свойств установлено, что для слитка характерна анизотропия механических свойств металла по его поперечному сечению, при этом механические свойства заготовок из периферийной части составляют: предел прочности $\sigma_B=933-947$ МПа, условный предел текучести $\sigma_{0,2}=580-620$ 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 в изложнице.

Деформационное воздействие методом винтовой прошивки способствует увеличению пластических свойств колесной стали и значительному повышению ударной вязкости (таблица 2).

В результате прошивки сплошных заготовок получены толстостенные гильзы высокой точности: отклонение по наружному диаметру $\pm 1,0\%$, отклонения по толщине стенки $\pm 5\%$.

Таблица 2 Механические свойства гильз из 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. Однако прочностные характеристики гильз, полученных с коэффициентом вытяжки $\mu = 1,62$, имеют более высокие показатели: σ_B на 5-26 МПа, $\sigma_{0,2}$ на 3-28 МПа, чем гильз, прошитых с коэффициентом вытяжки $\mu = 1,48$.

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 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%).

На основе анализа механических свойств колесной стали установлено, что свободная осадка исходных литых заготовок способствует повышению свойств колесной стали до значений 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 $\Psi = 27,2-28,5/27,1-28,6\%$.

Наиболее высокие механические свойства деформированный металл приобрел в результате применения совмещенной схемы деформационного воздействия (рисунок 5). После прошивки сплошной заготовки в толстостенную гильзу на стане винтовой прокатки и ее последующей свободной осадке на прессе механические свойства 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.

В результате термообработки в значительной степени возрастают прочностные свойства колесной стали, которые составляют: в осаженных литых заготовках $\sigma_B = 1168-1173/1158-1162$ МПа, $\sigma_{0,2} = 820-821/809-820$ МПа, в осаженных прошитых заготовках $\sigma_B = 1078-1121/1065-1091$ МПа, $\sigma_{0,2} = 767-795/756-764$ МПа.

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: $\delta \approx 15\%$, $\psi \approx 30\%$.

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.

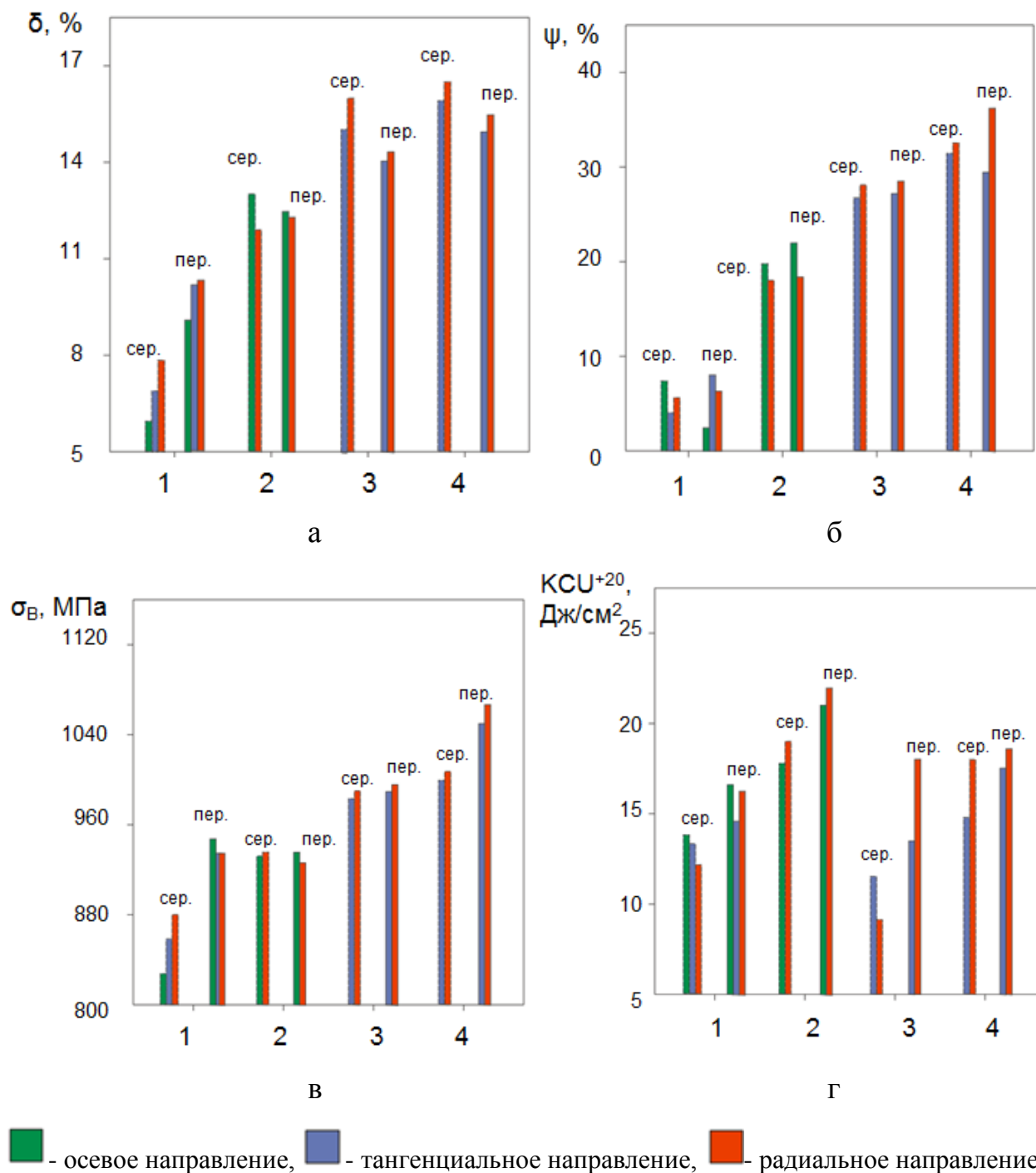


Рисунок 5 – Сравнение механических свойств колесной стали, деформированной по различным схемам :1 - литое состояние, 2 - прошивка в стане винтовой прокатки, 3 - осадка сплошных заготовок, 4 - осадка прошитых заготовок

Для образцов предварительно прошитых, осаженных на прессе и термобработанных ударная вязкость составляет $KCU^{+20}=60-75$ Дж/см², для осаженных 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.

В пятой главе показаны результаты промышленного апробирования технологического процесса производства железнодорожных колес диаметром Ø 957 мм с использованием полых заготовок.

Слитки диаметром $D=474$ мм длиной $L\approx 1850$ мм из колесной стали марки 2 были прошиты на прошивном стане винтовой прокатки трубопрокатного агрегата ТПА 8-16" Челябинского трубопрокатного завода по следующему режиму: температура нагрева $T=1200-1240$ °С, угол подачи рабочих валков $\beta=4^{\circ}15'$, обжатие в пережиме $\varepsilon=12-13\%$, диаметр прошивной оправки $d=160$ мм, коэффициент овализации $\zeta=1,1$.

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

Для апробирования технологии производства железнодорожных колес диаметром 957 мм гильзы разрезали на исходные полые колесные заготовки с размерами: $D=450$ мм, $d=160$ мм, $H=450$ мм. Масса колесных заготовок после порезки составляла -475-480 кг.

При переделе полых заготовок в черновые колеса технологические режимы были приняты аналогичными, используемыми для сплошных заготовок. Процессы осадки, осадки и разгонки в технологическом кольце, формовки, раскатки протекали стабильно.

Все железнодорожные колеса, изготовленные из полых заготовок, успешно прошли технологический контроль качества.

На основе сравнительного анализа механических свойств колес опытно-промышленной партии, с продукцией изготавливаемой по базовой технологии

(данные АО «ВМЗ»), было установлено, что использование прошивой заготовки способствует повышению пластических свойств металла наиболее нагруженных и ответственных конструктивных элементов колеса – диска и обода. Так, например, отмечено повышение относительного удлинения: для обода- 8,5%, диска- 5%, а также относительного сужения: для обода колеса- 16,4%, диска- 17,7%. Ударная вязкость колес, полученных из полых заготовок, выше на 13,3% в ободу колеса, и на 4% в диске. При испытаниях металла диска колеса на ударную вязкость при отрицательных температурах (KCU^{-60}), зафиксировано, что металл экспериментальных колес более чем в 2 раза превосходит показатели металла диска колес, полученных с применением сплошной литой заготовки.

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 на операции осадки снижаются на 20-25%, по сравнению с использованием сплошных заготовок, что создает более благоприятные условия работы прессы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

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 ($D \times d \times H = 460 \times 160 \times 447 \text{ мм}$) 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ

1. Физико- механическая модель пластической деформации металла при осадке заготовок. / Комков Н.А., Никулин А.Н., Романенко В.П., Фомин А.В. // Проблемы черной металлургии. №2. 2013. С. 5-17.
2. Производство железнодорожных колес с применением процесса прошивки исходной литой заготовки на стане винтовой прокатки. / Романенко В.П., Фомин А.В., Никулин А.Н. // Металлургические процессы и оборудование. № 3 (33) 2013. С. 6-11.
3. Механические свойства колесной стали, деформированной сочетанием винтовой прошивки и свободной осадки. / Романенко В.П., Фомин А.В., Никулин А.Н, Илларионов Г.П., Сизов Д.В. // Производство проката. №4. 2013. С. 18-22.
4. Влияние предварительной деформации литой заготовки на служебные свойства колесной стали. / Романенко В.П., Фомин А.В., Никулин А.Н. // Металлург. №4. 2013. С. 63-68.
5. Деформационное воздействие винтовой прокатки на литую колесную заготовку. / Романенко В.П., Фомин А.В., Бегнарский В.В., Яндимиров А.А., Никулин А.Н. // Металлург. №10. 2012. С. 51-56.
6. Влияние схемы деформационного воздействия на литой металл колесной стали. / Романенко В.П., Фомин А.В., Комков Н.А., Илларионов Г.П., Севастьянов А.А. // Изв. вуз. Черная Металлургия. №11. 2012. С. 28-31.
7. Исследование формоизменения металла при деформации на прессах сплошной и полый заготовок методом компьютерного моделирования в программном комплексе Deform 3D. / Романенко В.П., Фомин А.В., Илларионов Г.П. // Изв. Вуз. Черная Металлургия. №3. 2011. С. 59-62.
8. Компьютерное моделирование деформации сплошной и полых колесных заготовок на прессах. / Романенко В.П., Фомин А.В., Яндимиров А.А. // Металлург. №7. 2011. С. 36-41.

9. Методика исследования формоизменения металла при осадке заготовок с осевым отверстием. / Романенко В.П., Фомин А.В., Волков М.А., Севастьянов А.А. // Изв. вуз. Черная металлургия. №9. 2010. С. 33-35.

10. Инновационная технология производства железнодорожных колес нового поколения. / Романенко В.П., Фомин А.В., Яндимиров А.А., Севастьянов А.А., Сизов Д.В. // Сборник трудов восьмого международного конгресса прокатчиков - Т2., (г. Магнитогорск, 12.10.2010-15.10.2010). 2010. С. 268-273.

11. Осадка предельно высоких толстостенных полых заготовок. / Романенко В.П., Фомин А.В., Сизов Д.В., Цепин М.А., Бегнарский В.В. // Сборник трудов V Международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании».- Т.1, Днепропетровск-Варна. 2009. С. 371-375.