

На правах рукописи

Скрипаленко Михаил Михайлович

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОШИВКИ
С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА
ПОЛЫХ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК**

Специальность 05.16.05 «Обработка металлов давлением»

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА - 2007

Работа выполнена на кафедре ТиОТП Московского государственного института стали и сплавов (технологического университета).

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор Романцев Борис Алексеевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Белевич Александр Викторович

кандидат технических наук, доцент Шур Исаак Александрович

Ведущая организация ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН

Защита состоится 16 мая 2007 года в 14.00 часов в аудитории Б-436 на заседании диссертационного совета Д 212.132.09 при Московском государственном институте стали и сплавов (технологический университет) по адресу: 119049, г. Москва, ГСП-1, Ленинский проспект, д. 4

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного института стали и сплавов (технологический университет).

Автореферат разослан 16 апреля 2007 года

Справки по телефону: 8(495)955-01-27

Ученый секретарь диссертационного совета

Ионов С.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время развитие технологий производства бесшовных труб связано с применением исходной непрерывнолитой заготовки. Преимуществом таких технологий является сокращение числа операций обработки по сравнению с производством из слитков и связанного с этим уменьшения затрат. Однако наличие центральной дефектной зоны непрерывнолитой заготовки требует ее удаления для обеспечения качества получаемых труб. Удаление центральной дефектной зоны может осуществляться различными способами.

Например, при производстве бесшовных труб прессованием исходная непрерывнолитая заготовка обтачивается, сверлится, нагревается, экспандируется и формоизменяется в трубу. При этом операция глубокого сверления, посредством которой удаляется дефектная зона, является трудоемкой, осуществляется на специальных станках и ведет к повышенному расходу металла. Одним из возможных направлений совершенствования технологии производства является замена операций сверления и экспандирования операцией прошивки.

Поэтому исследование процесса прошивки заготовок является актуальной научно-технической задачей. Разнообразие применяемых и возможных способов прошивки заготовок предопределяет использование для их исследования методов физического и математического моделирования, современных вычислительных систем.

Настоящая работа выполнена в соответствии с грантом №3018002 Федерального агентства по образованию «Исследование и разработка эффективных технологических процессов ОМД на основе физического и математического моделирования».

Цель работы: совершенствование процессов прошивки заготовок, в том числе непрерывнолитых, на основе результатов исследования с использованием методов физического и математического моделирования.

Для достижения цели были поставлены задачи:

- анализ способов прошивки по показателям качества получаемых заготовок и труб, эффективности производства и выбор объектов и методов исследования;
- разработка методики расчета усилия прошивки и экспериментальное определение силовых параметров с целью проверки достоверности результатов математического моделирования;
- физическое моделирование процессов прошивки для исследования характера течения металла и влияния на него формы и размеров инструмента;
- математическое моделирование процессов прошивки для исследования влияния технологических параметров, формы и размеров инструмента на энергосиловые параметры;
- математическое моделирование условий работы прошивного инструмента, в том числе сравнительный анализ и оценка устойчивости при различных способах прошивки, для разработки рекомендаций по проектированию инструмента;
- разработка технологических рекомендаций по совершенствованию процессов прошивки на основе проведенных исследований.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработана методика математического моделирования, алгоритм и программа расчета усилия при прошивке сплошным и полым пуансоном на основе метода жестких блоков с введением координат вершин блоков для расчета скоростей их движения;
- разработана методика оценки устойчивости полого и сплошного пуансонов при прошивке на прессе, позволяющая определить форму потери устойчивости прошивного инструмента;
- установлено, что изменение формы при продольном изгибе сплошного и полого пуансона под действием усилия прошивки отличается тем, что максимальное смещение полого пуансона происходит в центральной части по его

длине, а у сплошного – ближе к рабочему торцу, поэтому смещение рабочего торца полого пуансона меньше по сравнению со сплошным, что приводит к снижению разностенности получаемой заготовки;

- на основе математического моделирования прошивки непрерывнолитой заготовки полым пуансоном установлено, что при соотношениях наружного диаметра пуансона к диаметру контейнера $1/(2,5-3)$ и внутреннего диаметра пуансона к наружному $2/3$ центральная зона практически полностью затекает в отверстие прошивного инструмента.

Практическая полезность работы

Показана возможность снижения энергозатрат и расхода материала при прошивке заготовок полым пуансоном по сравнению с существующей технологией, в которой применяются операции сверления и экспандирования полый заготовки на прессе.

Разработана инженерная методика расчета усилия при прошивке заготовок сплошным и полым пуансоном.

Разработана методика оценки устойчивости пуансонов (сплошного и полого) в процессе прошивки, с помощью которой можно определить форму потери устойчивости сплошного и полого пуансона при прошивке.

Предложены схемы прошивки заготовок с применением полого пуансона и полый оправки при прошивке на прессе и трехвалковом стане винтовой прокатки соответственно.

Методы исследования

1) Моделирование процессов прошивки заготовок осуществляли в среде DeForm 3D и QForm 2D.

2) Оценку устойчивости пуансонов проводили с помощью программы CosmosWorks.

3) Для построения трехмерных моделей очага деформации, инструмента и схем прошивки в работе использовался пакет программ SolidWorks.

Для разработки инженерной методики расчета усилия прошивки был применен метод жестких блоков, разработанный Х. Джонсоном и Д. Кудо.

Деформированное состояние заготовок исследовали с помощью координатных сеток с последующей обработкой результатов по методу Э. Зибеля.

Достоверность полученных результатов базируется на использовании методов физического и математического моделирования, применении современных приборов и методик. Достоверность результатов моделирования подтверждена в ходе экспериментальных исследований на оборудовании кафедры «Технологии и оборудования трубного производства» МИСиС.

Реализация результатов работы.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований используются в учебном процессе на кафедре ТиОТП МИСиС при выполнении курсовых и дипломных работ студентов, при выборе технологических схем прошивки заготовок и проектировании нового оборудования на ОАО ЭЗТМ.

Апробация работы.

Результаты работы докладывались на конференциях: международная научно – техническая конференция «Теория и технология процессов пластической деформации – 2004», 26-27 октября 2004 г.; 2-я международная конференция молодых специалистов «Металлургия XXI века», Москва, 12-13 февраля 2006 г.; международная конференция по Аэрокосмическим технологиям «АКТ-2006», Воронеж, 12-16 сентября 2006 г.; 3-я международная конференция молодых специалистов «Металлургия XXI века», Москва, 14-15 февраля 2007 г.;

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 4 статьи в журналах и сборниках материалов международных научно – технических конференций.

Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав, общих выводов, изложена на 138 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка, 15 таблиц, библиографический список из 62 наименований и 2 приложения.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цели и направление исследований и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проанализированы основные способы прошивки при производстве бесшовных труб, их преимущества и недостатки. Рассмотрены характеристики и параметры процесса прошивки на прессе, напряженно-деформированное состояние металла в очаге деформации. Приведены результаты исследований процессов прошивки и выдавливания с помощью различных методов моделирования процессов ОМД. Проведен анализ применяемой схемы производства бесшовных труб прессованием с использованием непрерывнолитой заготовки. На основе выполненного аналитического обзора литературы обоснованы и сформулированы цели и задачи настоящего исследования.

Во второй главе разработана методика исследования. Этапы исследования и анализа схем прошивки представлены на рис.1.

В качестве основного метода исследования прошивки заготовок выбран метод математического моделирования с использованием компьютерных вычислительных систем и стандартных пакетов прикладных программ.

Методика исследования включала: выбор схемы прошивки; построение твердотельной модели очага деформации; задание технологических параметров; анализ результатов расчета по критериям: усилие на инструмент, неравномерность деформации, устойчивость инструмента, термостойкость инструмента, дефекты

получаемой гильзы, форма и вид отходов. Перечисленное реализуется с помощью компьютерного моделирования (этап 1). Однако компьютерное моделирование не всегда удовлетворяет предъявляемым требованиям по расчету того или иного параметра. В этом случае целесообразно применить физическое моделирование (этап 2) и другие методы математического моделирования (этап 3).

В третьей главе представлены результаты математического моделирования процессов прошивки на прессе. С целью определения преимуществ процесса прошивки полым пуансоном осуществляли его сравнение с прошивкой сплошным пуансоном по усилию, параметрам напряженно – деформированного состояния, температурному полю в заготовке и инструменте и др. На первом этапе в среде SolidWorks создавали объемную модель, затем данные экспортировались в программу DeForm 3D, в которой выполняли расчеты температуры инструмента и заготовки в процессе прошивки, усилия прошивки и др. Моделировали прошивку сплошным и полым пуансоном, при этом сплошной пуансон в расчетах имел плоскую и сферическую форму рабочего торца.

Проводили моделирование прошивки с кручением пуансона, с различной формой матрицы. Заготовки из сурьмянистого свинца высотой 60 и диаметром 40 мм прошивались сплошным и полым пуансоном. Сплошной пуансон имел диаметр 14мм, полый пуансон - наружный диаметр 14 мм и внутренний - 8 мм. По результатам расчета получены значения усилия в процессе деформации для различных схем прошивки. Установлено, что при прошивке полым пуансоном усилие меньше по сравнению с другими процессами (рис. 2).

Смоделировали прошивку стальной заготовки (Ст 20) промышленных размеров: диаметром 340 мм, высотой 700 мм. Применяли сплошной пуансон диаметром 160 мм, и полый пуансон наружным диаметром 160 мм и внутренним – 120 мм. В результате получили, что усилие при прошивке заготовки полым пуансоном меньше на 20 %, чем при прошивке сплошным.

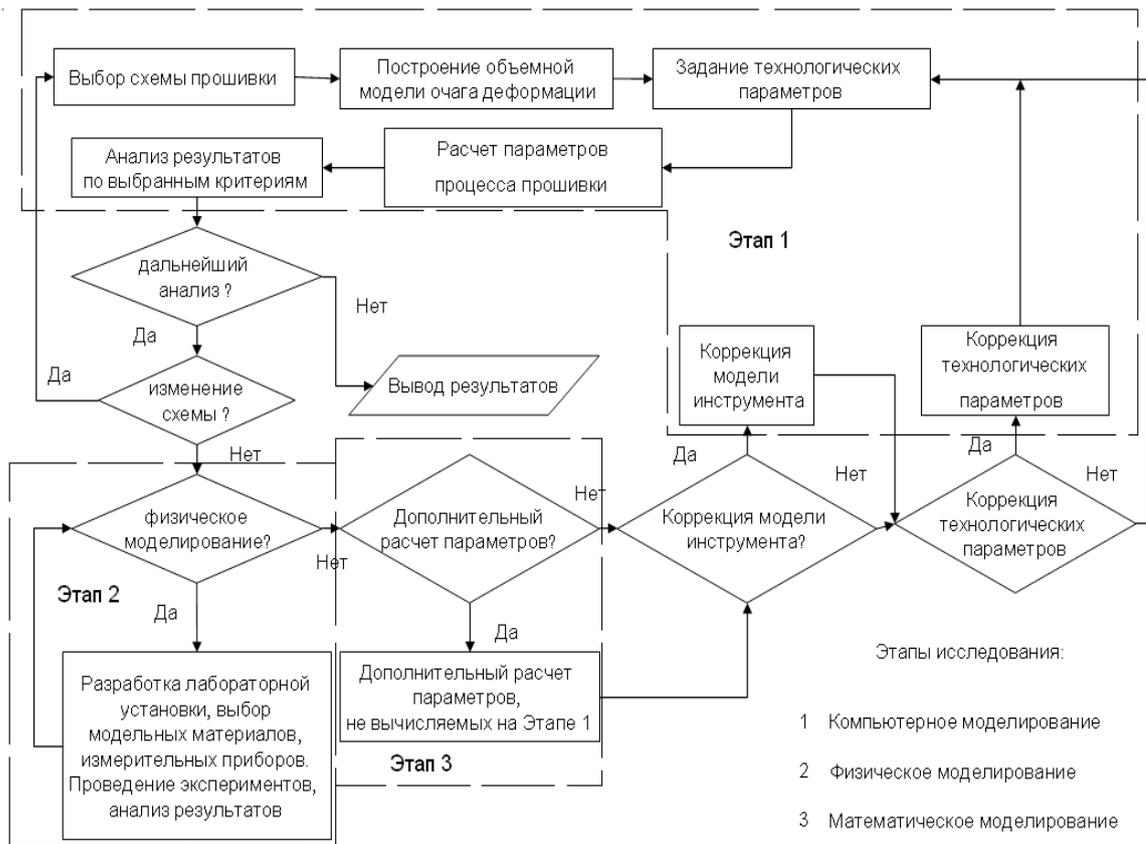


Рисунок 1 - Этапы исследования и анализа схем прошивки

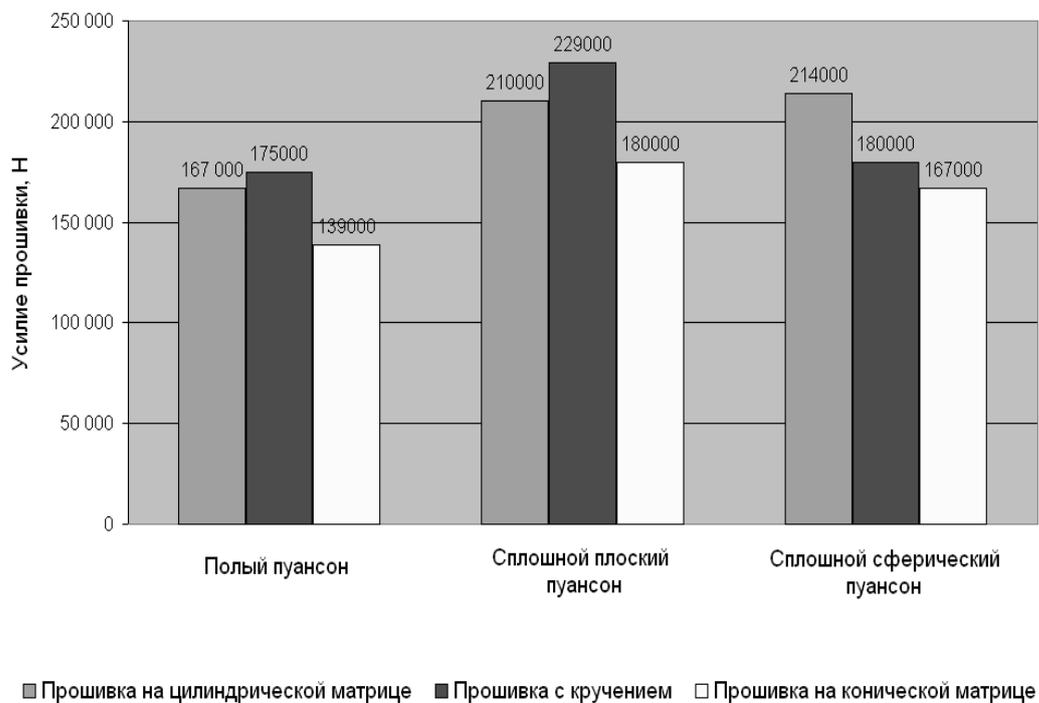


Рисунок 2 - Диаграмма усилий на пуансон при прошивке заготовок

При замене операций сверления и экспандирования заготовки, указанных выше размеров, операцией прошивки полым пуансоном затрачиваемая энергия, равная 805 кДж, уменьшится до 595 кДж, что повысит эффективность производства.

С целью оценки возможности удаления центральной дефектной зоны непрерывнолитой заготовки провели математическое моделирование прошивки полыми пуансонами различной формы (рис. 3). Установлено, что наибольшая высота затекания металла в отверстие полого пуансона наблюдается при его постоянном внутреннем диаметре (рис. 3а). Максимальное усилие при прошивке получили при использовании пуансона с сужением (рис. 3в). Также установили, что использование пуансона с расширением отверстия (рис. 3б) может приводить к искривлению затекающего в полость пуансона металла, что затрудняет его дальнейшее извлечение из пуансона.

Аналогичные результаты по искривлению затекающего в пуансон материала получены и при физическом моделировании прошивки с применением прозрачного инструмента.

В вычислительной среде DeForm 3D смоделировали прошивку непрерывнолитой заготовки полым пуансоном. В центральной области объемной модели заготовки в виде дефектов нанесли точки, перемещение которых отслеживалось в процессе моделирования деформации. Установлено, что при прошивке полым пуансоном значения накопленной деформации металла, затекшего в отверстие значительно превышает аналогичный параметр в остальных областях заготовки, в особенности, если имеем уменьшение диаметра отверстия по высоте пуансона. Также установили, что при соотношениях наружного диаметра пуансона к диаметру контейнера $1/(2,5-3)$ и внутреннего диаметра пуансона к наружному $2/3$ центральная зона практически полностью затекает в отверстие прошивного инструмента, а применение пуансона с сужением отверстия обеспечивает проработку металла центральной дефектной зоны. Указанные соотношения рекомендуется использовать при проектировании инструмента для прошивки на прессе.

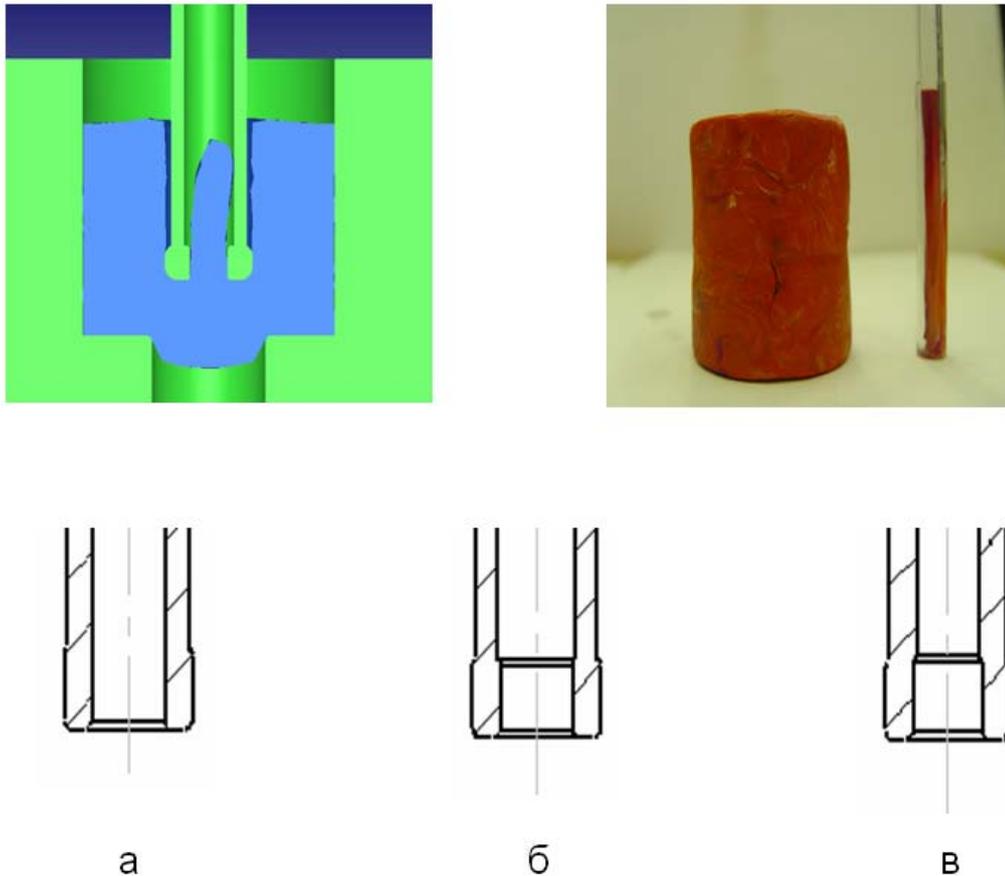
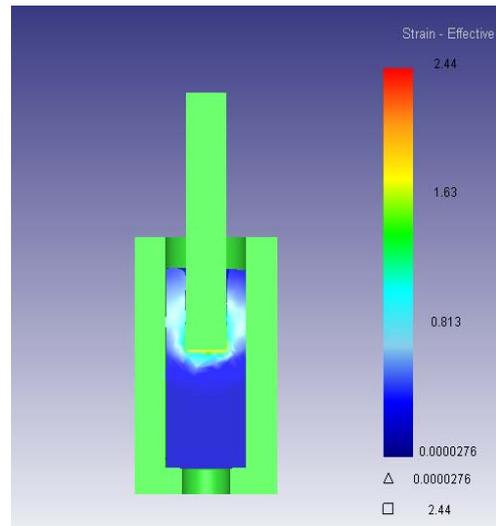
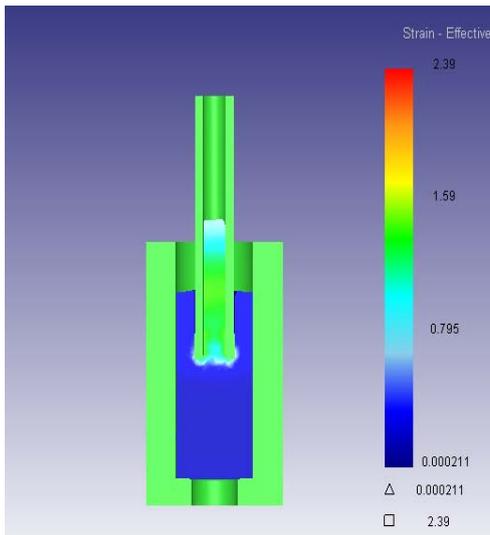
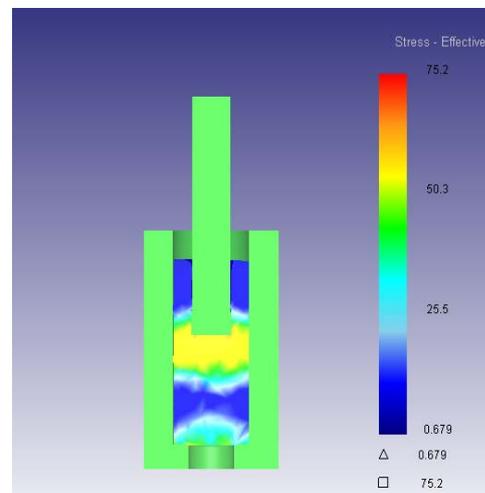
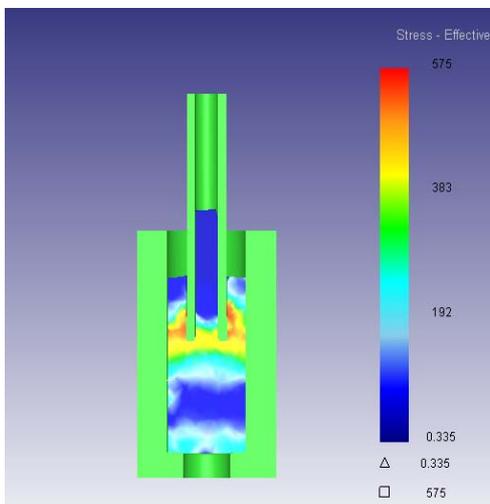


Рисунок 3 - Формы рабочей поверхности пуансонов и искривление затекающего материала при прошивке пуансоном с расширением внутреннего отверстия

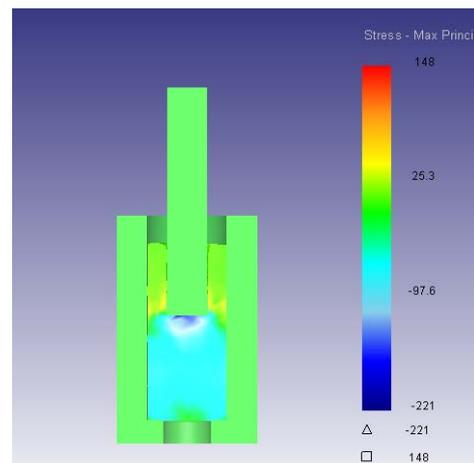
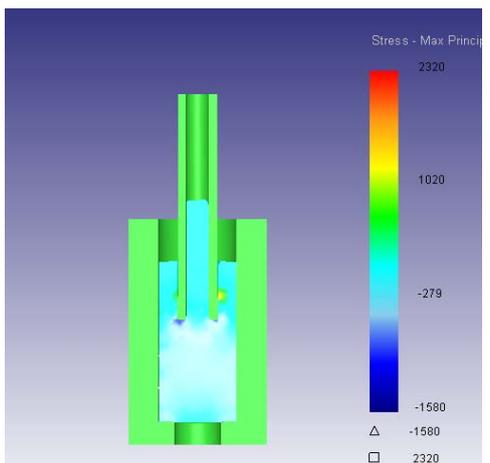
С целью оценки условий работы инструмента проведен анализ температурного поля в прошивном инструменте и заготовке. Показано, что температура полого пуансона на 100-150 °С ниже температуры сплошного пуансона со сферическим торцом и практически не отличается от температуры пуансона с плоским торцом. Известно, что помимо температурного поля инструмента и заготовки на усилие прошивки и качество получаемых гильз оказывают влияние параметры напряженно – деформированного состояния. Результаты расчета накопленной деформации, интенсивности напряжений и значений главного напряжения в теле заготовки при прошивке сплошным и полым пуансоном представлены на рис. 4. При прошивке полым пуансоном наибольшее упрочнение получает затекший в отверстие металл. При прошивке



Накопленная деформация



Интенсивность напряжений



Главное максимальное напряжение

Рисунок 4 - Параметры напряженно-деформированного состояния при прошивке сплошным и полым пуансоном

сплошным пуансоном упрочнение распространяется по всему очагу деформации. При анализе распределения величины главного напряжения по телу заготовки визуально выделили недеформируемую жесткую зону под пуансонами.

В четвертой главе представлены результаты физического моделирования прошивки на прессе сплошным и полым пуансоном.

Все эксперименты по прошивке заготовок проводились на гидравлическом прессе усилием 400 кН. Для измерения усилия использовали мессдозу, которую через систему преобразователей подключали к ЭВМ.

Установка для физического моделирования включала в себя контейнер, матрицу, направляющие, пуансон. Опытные прошивки на прессе осуществляли сплошным и полым пуансоном, использовали свинцовые заготовки с нанесенной на диаметральную плоскость координатной сеткой. По результатам проведенных экспериментов получили графики изменения усилия прошивки, установлено, что при использовании полого пуансона усилие прошивки меньше на 8-10% по сравнению с применением сплошного пуансона.

Эксперименты по исследованию деформированного состояния заготовок осуществляли с помощью метода координатных сеток, в результате получены значения интенсивности деформации для случая прошивки сплошным и полым пуансоном. При этом установлено, что неравномерность деформации при прошивке полым пуансоном существенно ниже. Исследование процесса затекания обрабатываемого материала в отверстие полого пуансона проводилось на заготовках из пластилина и свинца. Деформируемый материал частично затекает в отверстие полого пуансона, что позволяет удалить центральную дефектную зону непрерывнолитой заготовки.

В пятой главе представлены результаты математического моделирования процесса прошивки методом верхней оценки (методом жестких блоков) и устойчивости рабочего инструмента а также опытных прошивок заготовок полрой оправкой на двухвалковом стане винтовой прокатки.

Математическое моделирование в среде DeForm 3D, как показали расчеты, требует больших временных затрат, а также не предоставляет возможности

оценить размеры жесткой недеформируемой зоны. Одним из методов, позволяющим рассчитать усилие прошивке в зависимости от угла жесткой зоны, а также оценить форму и размеры недеформируемой зоны, является метод жестких блоков.

Расчет силовых параметров процесса по методу жестких блоков позволяет получать результаты с достаточной для практических задач точностью. Разработанная методика включала в себя (рис. 5): 1) разбиение очага деформации на блоки, исходя из картины течения металла (рис. 6, рис. 7); 2) задание варьируемого параметра – угла жесткой зоны; 3) расчет длин границ между блоками; 4) вычисление скоростей движения блоков с помощью годографа или путем ввода координат вершин блоков; 5) расчет удельного безразмерного усилия; 6) вычисление угла жесткой зоны, соответствующего минимальному значению удельного усилия; 7) расчет полного усилия прошивки.

В ходе расчета использовали два способа определения скоростей движения блоков: традиционный – с помощью построения годографа и с помощью ввода координат вершин блоков: расчет основан на положении о том, что нормальные составляющие скоростей на границах блоков равны и постоянны $V_{ni} = \text{const}$. Имея значение скорости движения блока 1 (рис. 8) (равную скорости движения инструмента V_0), вычисляется ее нормальная составляющая к границе блоков 1-2. Зная направление скорости V_{02} (параллельное границе 2-0) и ее нормальную составляющую, пошаговым приближением получаем координаты вектора скорости V_{02} . Аналогично, имея V_{02} , рассчитываем V_{03} и все оставшиеся скорости.

По результатам расчетов получены графики изменения усилия прошивки при использовании сплошного и полого пуансона (рис. 9) (углы жесткой зоны под пуансоном равны 68 и 72 градуса для сплошного и полого пуансона соответственно). Установлено, что усилие при прошивке полым пуансоном ниже, чем при прошивке сплошным на 15%.

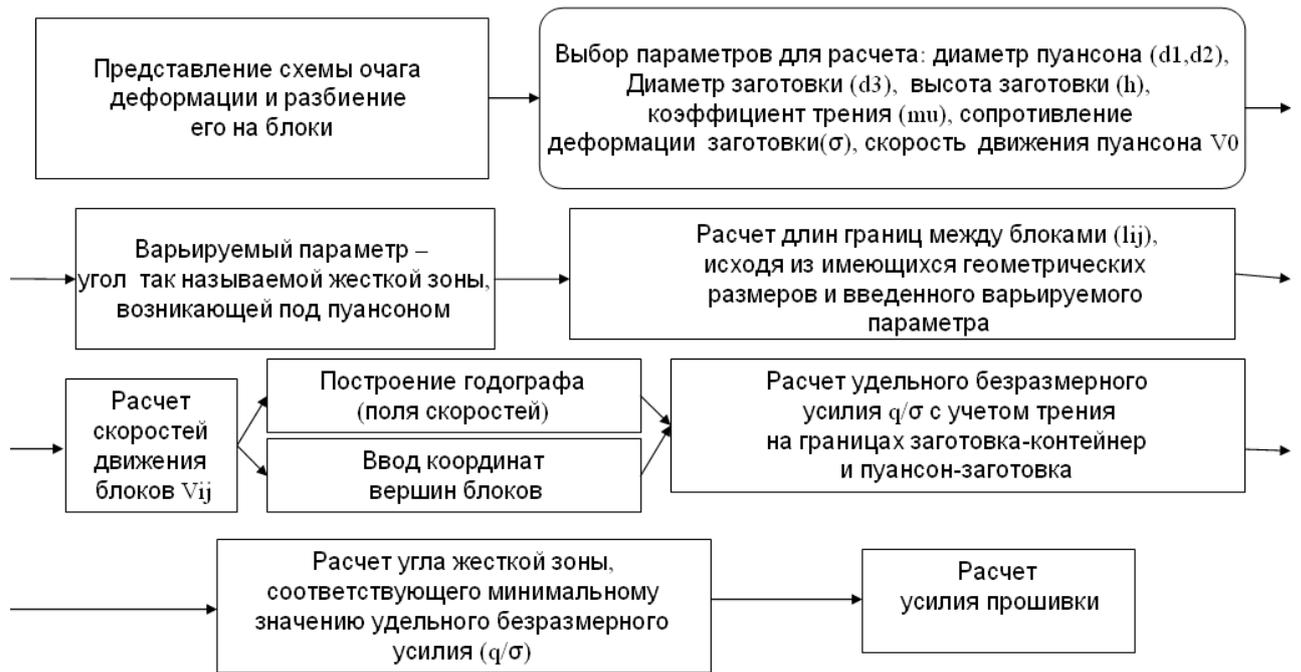


Рисунок 5 - Этапы расчета усилия прошивки заготовок на прессе методом жестких блоков

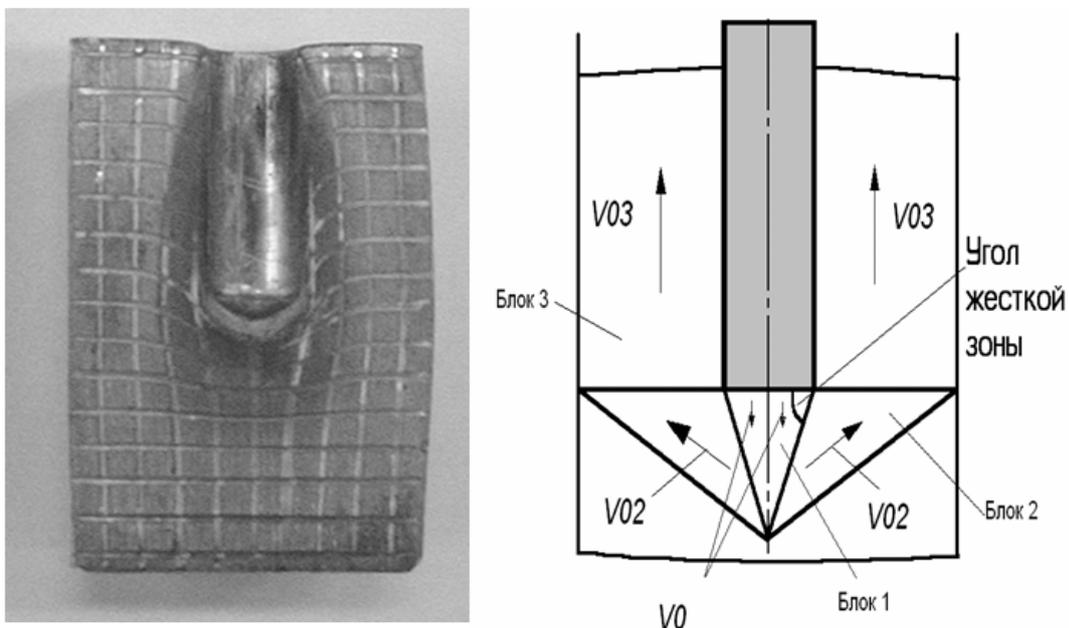


Рисунок 6 – Разбиение очага деформации на блоки при прошивке сплошным пуансоном

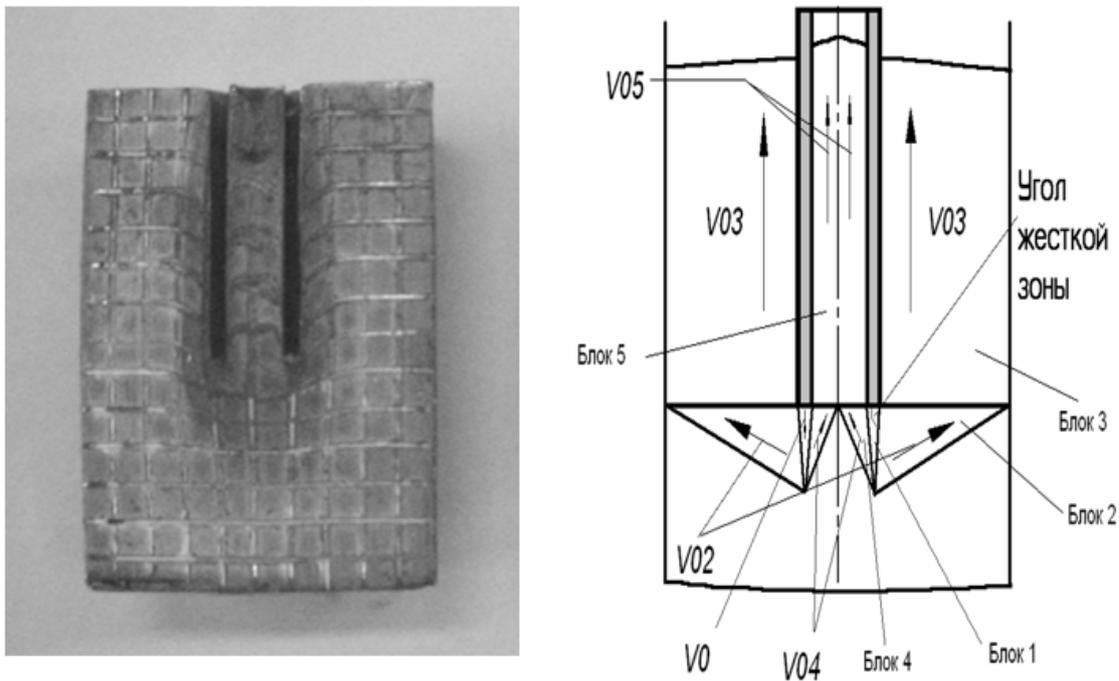


Рисунок 7 - Разбиение очага деформации на блоки при прошивке полым пуансоном

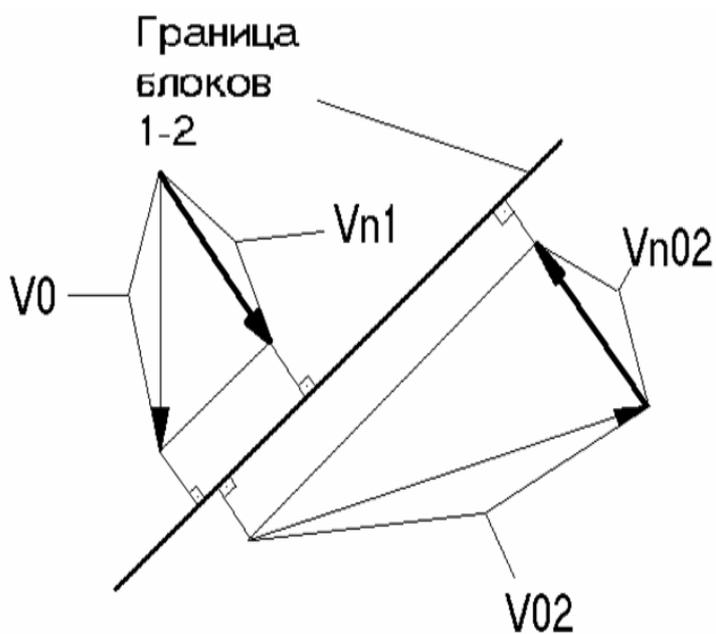
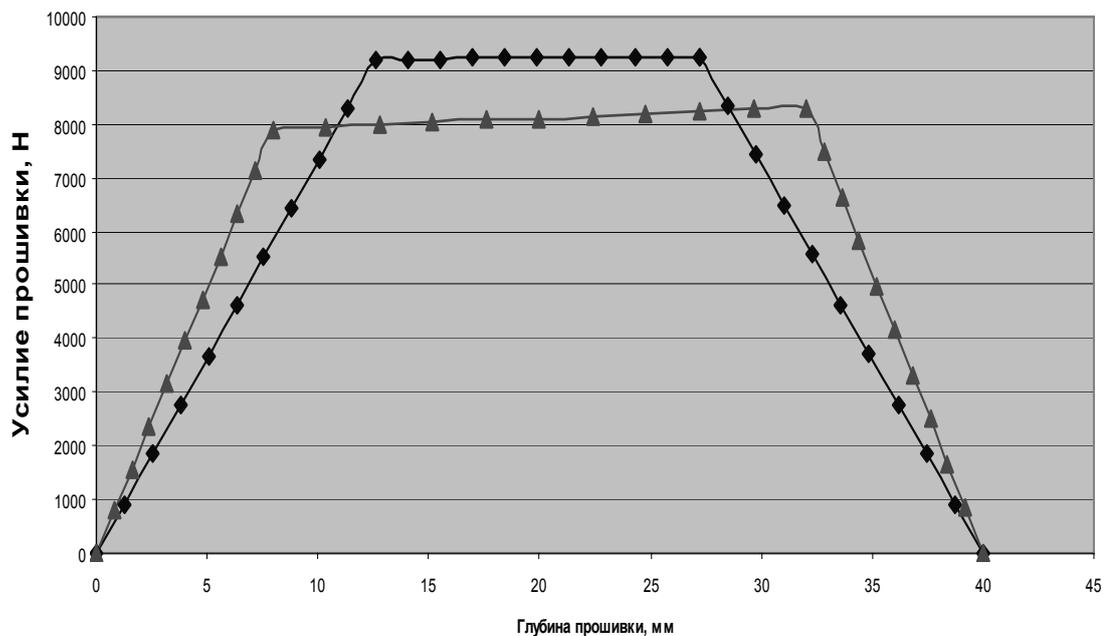


Рисунок 8 - Схема к расчету скоростей движения блоков с помощью ввода координат вершин блоков



Усилие при прошивке сплошным(◆) и полым (▲) пуансоном

Рисунок 9 - Усилие прошивки, рассчитанное с помощью математической модели по методу жестких блоков

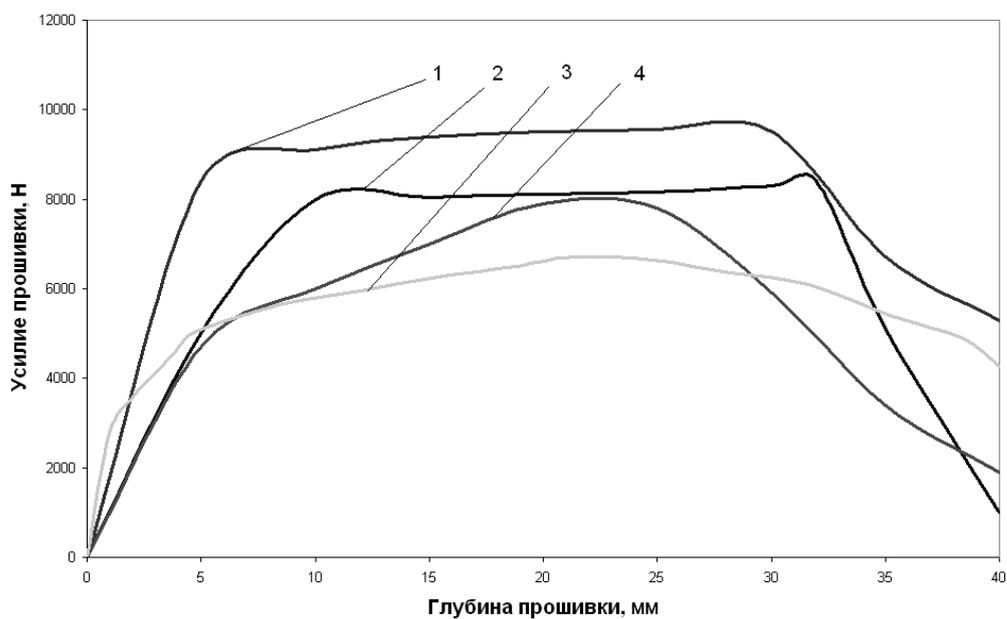


Рисунок 10 - Сравнение усилий прошивки полым пуансоном:
 1 – Qform, 2 – метод жестких блоков, 3 – DeForm, 4 – физическое моделирование

Результаты компьютерного моделирования в средах DeForm, QForm, математического моделирования с помощью метода жестких блоков и экспериментов по прошивке свинцовых заготовок представлены на рис. 10. Отличие расчетных и экспериментальных данных составляет: QForm – 16 - 18%, DeForm – 14 - 16%, метод жестких блоков – 10 - 12%.

Устойчивость пуансона в процессе прошивки оказывает существенное влияние на разностенность гильз и готовых труб. Проведен анализ устойчивости пуансонов в процессе прошивки. На каждой стадии процесса выбирали схему закрепления: касание заготовки - схема с коэффициентом приведения длины $\mu=2$, рабочий торец свободно закреплен, начальная стадия внедрения – $\mu=0.7$ (рабочий торец шарнирно закреплен), стадия установившегося процесса – $\mu=0.5$ (рабочий торец – с направляющей). Отклонение пуансона (стержня) от оси при продольном изгибе характеризуется углом φ . При использовании полого пуансона металл течет внутрь отверстия, вследствие этого угол отклонения полого пуансона от оси будет меньше. Расчет полого и сплошного пуансона на продольный изгиб осуществляли в среде CosmosWorks. Установлено, что изменение формы при продольном изгибе сплошного и полого пуансонов отличается тем, что максимальное смещение полого пуансона происходит в центральной части по его длине, а у сплошного – ближе к рабочему торцу, поэтому смещение рабочего торца полого пуансона меньше по сравнению со сплошным, что приводит к снижению разностенности получаемой заготовки.

Учитывая более высокую устойчивость полого инструмента при прошивке на прессе, исследовали возможность применения полой оправки при прошивке на двухвалковом стане.

Эксперименты проводились на двухвалковом стане винтовой прокатки МИСиС-130Д. Использовали полые оправки диаметром 32 мм с осевым отверстием диаметром 19 и 15 мм, передний торец полой оправки снабжен конусом с углом наклона образующей 3° и протяженностью 30 мм. Прошиваемые заготовки из Ст 3 имели диаметр 60 мм, длину 150 мм и температуру 1160°C . Расстояние между валками в пережиме 52 мм, расстояние между направляющими

линейками 60,5 мм, угол подачи рабочих валков - 14°. Проведенные эксперименты показали, что процесс прошивки на полый оправке протекает стабильно. При этом, как и при прошивке полым пуансоном, помимо получаемой гильзы в виде отхода получили выдры, диаметр которых был равен диаметру осевого отверстия d_0 полый оправки. Глубина затекания или длина выдры составляла 1,5...3,0 d_0 . После прошивки выдра свободно извлекалась из оправки. Внутренняя поверхность полученных гильз имела гладкую ровную поверхность. Осевое усилие металла на полую оправку, зафиксированное с помощью месдозы, установленной в упорной головке, составило около 20 кН, и уменьшилось по сравнению с усилием на оправку со сферической рабочей частью примерно пропорционально изменению площади поперечного сечения.

Процесс прошивки в стане винтовой прокатки на полый оправке целесообразно использовать для трехвалковой схемы. В этом случае будет реализовываться эффект самоцентрирования оправки в очаге деформации благодаря действию растягивающих напряжений в кольцевой зоне поперечного сечения заготовки. При этом диаметр торцевой части полый оправки должен соответствовать диаметральным размерам этой зоны.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. На основе проведенного аналитического обзора литературы выбраны методы моделирования и разработан алгоритм исследования и анализа схем прошивки заготовок по критериям: усилие на инструмент, неравномерность деформации, устойчивость инструмента, определяющая качество продукции, термостойкость инструмента, дефекты получаемый гильзы, форма и вид отходов.

2. Разработана методика расчета усилия для исследуемых схем прошивки. Определены размеры и форма недеформируемой зоны, возникающей под торцем сплошного и полого пуансона в процессе прошивки: при прошивке сплошным – конус с углом в основании 68 градусов, при прошивке полым 2 конуса с углом при основании 72 градуса. Проведено экспериментальное

исследование усилия на пуансон с целью проверки достоверности полученных математических моделей, отличие экспериментальных и расчетных данных составляет 10-18%.

4. Проведено физическое и математическое моделирование прошивки полыми пуансонами различной формы. Установлено влияние формы отверстия инструмента на характер течения деформируемого материала. Деформируемый материал частично затекает в отверстие полого пуансона, это позволяет удалить центральную дефектную зону непрерывнолитой заготовки.

5. По результатам математического моделирования установлено влияние технологических параметров, формы и размеров инструмента на усилие прошивки. Минимальное значение усилия соответствует прошивке полым пуансоном без кручения.

6. На основе математического моделирования проведен сравнительный анализ и оценка устойчивости инструмента при различных способах прошивки. Установлено, что изменение формы при продольном изгибе сплошного и полого пуансонов отличаются тем, что максимальное смещение полого пуансона происходит в центральной части по его длине, а у сплошного – ближе к рабочему торцу, поэтому смещение рабочего торца полого пуансона меньше по сравнению со сплошным, что приводит к снижению разностенности получаемой заготовки. Разработаны рекомендации по проектированию инструмента: при соотношениях наружного диаметра пуансона к диаметру контейнера $1/(2,5-3)$ и внутреннего диаметра пуансона к наружному $2/3$ центральная зона заготовки практически полностью затекает в отверстие прошивного инструмента, а применение пуансона с сужением диаметра внутреннего отверстия обеспечит более полную проработку металла центральной дефектной зоны.

7. На основе проведенных исследований предложены рекомендации по совершенствованию процессов прошивки. Возможность использования выдры, получаемой при прошивке полым пуансоном позволит снизить расходный коэффициент металла, по сравнению с применением сверления и экспандирования, когда центральная часть заготовки удаляется в стружку.

Энергия, затрачиваемая на производство одной гильзы из стальной заготовки (Ст 20) диаметром 340мм и высотой 700мм при прошивке полым пуансоном, составляет 595 кДж, а при сверлении и экспандировании в сумме - 805 кДж. Предложены схемы прошивки заготовок на прессе полым пуансоном и в трехвалковом стане полый оправкой.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Романцев Б.А., Скрипаленко М.М. Исследование процесса прошивки заготовок полым пуансоном. Тезисы докладов конференции «Теория и технология процессов пластической деформации – 2004». Материалы международной научно – технической конференции Москва, МГИСиС (ТУ) 26-27 октября 2004, с. 128-129
2. Скрипаленко М.М. Определение энергосиловых параметров процесса прошивки на прессе. Сборник трудов 2-й международной конференции молодых специалистов. М.: ВНИИМЕТМАШ, 2006, с.452-457
3. Романцев Б.А., Скрипаленко М.М. Математическое моделирование процесса прошивки заготовок на прессе. Сборник трудов международной конференции АКТ-2006. г. Воронеж, 13-15 сентября 2006 г., с.110-113
4. Романцев Б.А., Жигулев Г.П., Скрипаленко М.М. Определение усилия прошивки на прессе. Сталь, 2007, №4, с.63-64