

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке ФГАОУ ВО

УрФУ имени первого Президента

России Б.Н. Ельцина»

А.В. Германенко

« 26 » 02 2026 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Филипповой Марины Владимировны

«Разработка комплексной технологии полугорячей штамповки точных по массе поковок из шаровой заготовки», на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.4 – «Обработка металлов давлением»

Актуальность темы исследования

В настоящее время доминирующим способом штамповки является открытая штамповка, предполагающая образование облоя в окончательном переходе. Общеизвестно, что объем, идущий на образование облоя, может составлять до 25 % металла, что существенно снижает коэффициент использования металла и повышает себестоимость готового изделия. Альтернативой является способ закрытой (безоблойной) штамповки. Существующие технологии штамповки позволяют получать точные поковки без облоя с минимальными припусками на дальнейшую механическую обработку. Однако внедрение технологии безоблойной штамповки сдерживается отсутствием способов получения точной мерной заготовки. Это объясняется наличием больших допусков до 5 % по диаметру горячекатаного металла и техническими сложностями в обеспечении точного дозирования длины и ровности торцов, отрезаемых от прутка на прессе заготовок.

Также существенную роль в разработке металлосберегающих технологий безоблойной штамповки играет выбор температурного режима, обеспечивающий формирование необходимых пластических свойств металла, определяющие энергозатратность процесса деформации и качество поверхности готовых поковок. В настоящее время до 90 % стальных поковок производится посредством горячей объемной штамповки, сопровождающейся высокими потерями металла от угара, снижением качества поверхности вследствие окалинообразования и обезуглероживания стали.

Таким образом, исследования, направленные на разработку энерго- и ресурсосберегающих технологий объемной штамповки, являются актуальными.

Структура и основное содержание диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, изложена на 298 страницах машинописного текста, включающего 104 рисунков, 27 таблиц, списка использованных источников из 350 наименований российских и зарубежных авторов.

Во введении показана актуальность диссертационной работы и степень разработанности темы исследования, сформулирована цель и определены задачи работы, отражена научная новизна работы, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, описана методология и методы исследований, приведены положения, выносимые на защиту, а также представлена информация о степени достоверности полученных результатов и апробации результатов исследования и публикациях автора по теме диссертации.

В первой главе представлена концепция комплексной технологии горячей штамповки, включающей в себя операции разделения металла, нагрева заготовок и штамповки. Показано, что существующая комплексная технология горячей штамповки не является оптимальной. В частности, описаны недостатки разделения прутка на заготовки в штампах или ножницах в виде дефектов (скос, утяжина и др.), непараллельности торцов и отклонений фактической массы от номинальной в пределах 7-12%.

Описано влияние температуры нагрева металла на его прочностные, пластические свойства, а также на скорость окалинообразования. Продемонстрировано, что влияние температуры на сопротивление металла деформации, пластические свойства и величину угара при нагреве изучены достаточно подробно, однако при температурах полугорячей штамповки 600–900 °С таких исследований мало. Установлено отсутствие комплексных исследований сопротивления металла деформации, его пластических свойств и величины угара при нагреве на одной марке стали.

Анализ результатов исследований российских и иностранных источников в области безоблойной штамповки показал, что большинство работ имеют прикладной характер и ограниченное количество работ, посвященных вопросам полугорячей штамповки и технологии штамповки поковок с использованием шаровой заготовки.

Во второй главе представлены результаты компьютерного моделирования операций комплексной технологии горячей штамповки. Была разработана виртуальная модель очага деформации поперечно-винтовой прокатки и проведены исследования напряженно-деформированного состояния металла при прокатке геометрически точных шаровых заготовок. Установлено, что при прокатке шара при всех четырех положений валков растягивающие напряжения отсутствуют, величина среднего нормального напряжения во всех точках деформированного металла отрицательна, что означает схему всестороннего сжатия.

Также было проведено компьютерное моделирование полугорячей штамповки в закрытых штампах из шаровой и цилиндрической заготовок поковок круглых в

плане. Установлено, что вне зависимости от вида заготовки полость штампа полностью заполняется металлом, при этом поверхностные дефекты на поковке не образуются. На начальных стадиях штамповки обнаружено наличие растягивающих напряжений на свободной поверхности поковки. Однако максимальная степень использования запаса пластичности для всех исследованных поковок не превысила 25 %. При штамповке из шаровой заготовки неравномерность деформации на 5–10 % меньше, чем при штамповке из цилиндрической заготовки.

В заключительной части главы представлены результаты моделирования процесса полугорячей штамповки выдавливанием в закрытом штампе. Их анализ позволил установить, что торцевая часть стержня поковки любой конфигурации заполняется металлом. При заполнении металлом торцевой части поковки сила выдавливания ~ в 3 раза больше, чем при свободном течении металла.

В третьей главе были описаны результаты лабораторных и промышленных исследований разделения металла на стане поперечно-винтовой прокатки, экспериментальных исследований по влиянию температуры на прочностные и пластические свойства металла и процессы окисления стали при нагреве, экспериментальных исследований процессов штамповки из шаровой заготовки круглых в плане поковок, а также процесса прямого выдавливания. Исследования по определению силы штамповки показали, что при штамповке в закрытых штампах величина силы штамповки с погрешностью 9–11 % совпадает со значениями, которые были получены при компьютерном моделировании. Анализ результатов экспериментальных исследований показал хорошее совпадение неравномерности деформаций и силовых параметров штамповки в закрытых штампах с результатом компьютерного моделирования.

В четвертой главе описано совершенствование комплексной технологии полугорячей штамповки. В частности, представлена разработанная калибровка валков для прокатки шаровых заготовок номинальным диаметром 120 мм на шаропрокатном стане 40-80. После внедрения в производство, была проведено исследование качества шаровых заготовок, прокатанных согласно новой калибровке. Результаты показали отсутствие пустот и рыхлостей в центральных слоях шаровых заготовок. Отклонение массы от номинала не превысило 8 %.

С применением обобщенной функции желательности на основе экспериментальных данных проведены расчеты оптимальной температуры нагрева металла для полугорячей штамповки. Для исследованных марок стали: ст3сп, 20, 20ХН, 40, 40Х, 40ХН, 65Г, 35ХГСА, 18ХГТ, 18Х2Н4МА оптимальная температура нагрева под полугорячую штамповку составила 830–870 °С.

В пятой главе описаны результаты внедрения комплексной технологии полугорячей штамповки из шаровой заготовки для поковок шестерни, фланца и корпуса распылителя. В процессе внедрения были предложены новые инженерные решения, обеспечивающие снижение силы деформирования и получение поковок хорошего

качества. Применение предложенных новых способов и инструмента позволило повысить экономическую эффективность производства изделий за счет снижения температур нагрева заготовки перед штамповкой.

В выводах по работе обобщены результаты выполненных исследований.

В целом рассмотренная диссертация представляет собой самостоятельную, законченную научно-квалификационную работу. По материалам диссертации опубликовано 60 печатных работ, в том числе 2 монографии, 58 статей в журналах и сборниках статей, 19 из которых опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК для опубликования результатов докторских диссертаций, 5 – в иностранных журналах, индексируемых в базе данных Scopus и Web of Science.

Основные научные и практические результаты

Научную новизну представляют следующие результаты диссертации:

- Закономерности течения металла при поперечно-винтовой прокатке шаровых заготовок повышенной точности по массе. Показано, что применение нового типа калибровки поперечно-винтовой прокатки шаровых заготовок позволяет на 2-х валковой шаропркатном стане обеспечить схему всестороннего сжатия на всем этапе пластической деформации и исключить риск разрыхления внутри шаровой заготовки.

- Закономерности течения металла при безоблойной штамповке осесимметричных типовых изделий из шаровой заготовки. Показано, что применение предложенной шаровой формы исходной заготовки, по сравнению с цилиндрической, обеспечило уменьшение неравномерности напряженно-деформированного состояния металла на 15–29 %, уменьшение силы штамповки на 20–30 % и в целом позволило уменьшить энергоемкость штамповки на 10–30 %.

- Закономерности изменения силовых параметров и напряженно-деформированного состояния металла при штамповке из шаровой заготовки.

- Методика многокритериальной оптимизации температурных режимов полугорячей штамповки на основе применения и адаптации обобщенной функции желательности. На основе ее использования установлены рациональные температурные интервалы нагрева исследуемых марок сталей, обеспечивающие получение поковок с заданными характеристиками качества.

- Выявленные зависимости относительной удельной силы выдавливания от коэффициента вытяжки, угла наклона матрицы, коэффициента трения при полугорячей штамповке прецизионной поковки детали «корпус распылителя» прямым выдавливанием в закрытом штампе.

Практическая значимость диссертации состоит в следующем:

- Разработана комплексная ресурсосберегающая технология полугорячей безоблойной штамповки круглых в плане стальных поковок из шаровых заготовок,

включающей процесс получения шаровых заготовок, их нагрев, процессы закрытой штамповки и штамповки выдавливанием;

- Разработана новая калибровка валков стана поперечно-винтовой прокатки, изготовлены калиброванные валки для прокатки шаровых заготовок диаметром 60; 80; 90; 120 мм, технология внедрена в производство.

- Разработана и внедрена в производство технология разделения металла на точные шаровые заготовки большого диаметра 90–120 мм на станах поперечно-винтовой прокатки 40–80.

- Разработаны и рекомендованы к внедрению новые данные температурных интервалов для полугорячей штамповки сталей ст3сп, 20, 20ХН, 40, 40Х, 40ХН, 65Г, 35ХГСА, 18ХГТ, 18Х2Н4МА.

- Разработаны ресурсосберегающие режимы нагрева шаровых заготовок для полугорячей штамповки, обеспечивающие заданное качество металлопродукции.

- Разработана и внедрена технология прецизионной полугорячей штамповки поковок круглых в плане из шаровой заготовки с исследованием динамики заполнения металлом полости штампа.

- Разработан и внедрен технологический процесс полугорячего выдавливания поковок типа «корпус форсунки» для дизельных двигателей из точной цилиндрической заготовки.

Достоверность полученных результатов

Основные результаты исследования широко опубликованы в научных изданиях. Результаты исследований были доложены и обсуждены на конференциях различного уровня, в том числе международных.

Автореферат отражает содержание диссертации, научную новизну, выводы и другие ключевые моменты. Материалы диссертации соответствуют заявленному паспорту специальности 2.6.4 – «Обработка металлов давлением».

Полученные результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений в связи с использованием автором современного научного оборудования и методов исследования, а также подтверждаются актами внедрения результатов диссертационных исследований в производственный процесс.

Замечания по диссертационной работе

В процессе рассмотрения диссертационной работы возникли следующие вопросы и замечания:

1. В работе применена функция желательности для оптимизации режимов нагрева. Это выглядит малоубедительным, т.к. крайние значения факторов и желательностей выбраны произвольно, значит, и сама оценка субъективна.

2. Не полностью сформулирована постановка задач конечно-элементного моделирования по прокатке шаров: нет данных о законе трения, граничных и начальных условиях, температуре, размерах изделий. Модель среды выбрана упруго-пластическая, хотя для горячей деформации следовало выбрать вязко-пластическую среду.

3. В разделах 2.3.1 и 2.3.2 при сопоставлении напряженного состояния при штамповке фланца из цилиндрической и шаровой заготовок не указаны значения среднего напряжения или показателя напряженного состояния σ/T , поэтому трудно сопоставлять процессы и делать выводы о вероятности возникновения дефектов. Напряженное состояние рассмотрено только для трех положений верхнего штампа, хотя более наглядно было бы рассмотреть напряженное состояние в опасной области за весь период штамповки.

4. При сопоставлении графиков усилия штамповки из цилиндрической и шаровой заготовки сделан вывод, что при стандартной штамповке усилие выше. Визуально графики идут практически одинаково за исключением последних моментов штамповки. Не ясно, за счет чего усилие штамповки при использовании цилиндрической заготовки выше, поскольку на последней стадии штамповки очаг деформации должен быть одинаковым для обоих вариантов.

5. Не рассмотрено температурное поле заготовки в процессе штамповки с учетом времени переноса заготовки от печи до пресса. С учетом низкой температуры нагрева, а также возникновением растягивающих напряжений на поверхности заготовки на начальных этапах штамповки это является важным моментом.

Отмеченные выше замечания не снижают ценности полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Заключение

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, выполнена на высоком научном уровне, обладает несомненной актуальностью, научной новизной, практической значимостью, достоверностью и обоснованностью представленных результатов. Выводы отражают основные положения и соответствуют цели и задачам исследования. Основные материалы и результаты диссертационной работы достаточно полно опубликованы в научных статьях и апробированы на международных и всероссийских научно-технических конференциях. Автореферат полностью соответствует основному содержанию диссертации, отражает её структуру и положения, выносимые на защиту.

Диссертационная работа соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Филиппова Марина Владимировна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.4 – «Обработка металлов давлением».

Доклад по диссертационной работе «Разработка комплексной технологии полугорячей штамповки точных по массе поковок из шаровой заготовки» Филипповой Марины Владимировны был заслушан на заседании кафедры «Обработка металлов давлением» 26 февраля 2026 года. Отзыв на диссертационную работу и автореферат Филипповой М.В. обсужден и утвержден на заседании кафедры «Обработка металлов давлением», протокол № 2 от 26 февраля 2026 года.

Заведующий кафедрой
«Обработка металлов давлением»,
доктор технических наук
(05.16.05 – Обработка металлов давлением),
доцент



Шварц Данил Леонидович

Отзыв составил:
доцент кафедры
«Обработка металлов давлением»,
кандидат технических наук
(05.16.05 – Обработка металлов давлением),
доцент



Салихьянов Денис Ринатович

Сведения о ведущей организации

Полное наименование организации в соответствии с Уставом	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Сокращенное наименование организации	ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Почтовый индекс, адрес организации	620002, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19
Телефон	+7 (343) 375-44-44
Адрес электронной почты	contact@urfu.ru
Сайт организации	https://urfu.ru/

ПОДПИСИ
ЗАВЕРЯЮ:

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ
МОРОЗОВА В.А.

Шварца Д.Л. и Салихьянова Д.Р.


