



**МОСКОВСКИЙ  
ПОЛИТЕХ**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Московский политехнический университет»  
(Московский Политех)

Б. Семеновская ул., д.38, Москва, 107023  
Тел.+7 495 223 05 23, Факс +7 499 785 62 24  
www.mospolytech.ru | E-mail: mospolytech@mospolytech.ru  
ОКПО 04350607, ОГРН 1167746817810,  
ИНН/КПП 771945553/771901001

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе,  
к.т.н.

А.Ю. Наливайко

«31» мая 2024 г.  
печать организации

## ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» на диссертационную работу Гусева Дмитрия Сергеевича на тему: «Совершенствование процессов горячей объемной штамповки поковок с тонкими полотнами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением

### Актуальность темы диссертационной работы

В номенклатуру поковок, имеющих тонкие полотна, входят оребренные панели, балансиры, вкладыши, детали рам, рычаги, шатуны, рессоры, тяги, фланцы, а также детали слесарного и медицинского инструмента. Традиционной технологией их изготовления являются процессы горячей объемной штамповки (ГОШ) на молотах как в условиях мелкосерийного, так и крупносерийного производства. Однако в последнее время предприятия отказываются от дальнейшей эксплуатации паровоздушных молотов, что связано с экологическими и экономическими проблемами особенно в крупных городах. Проблема может быть решена двумя путями: модернизацией существующего парка молотового оборудования переводом на более экономичный гидравлический привод или созданием оборудования

ударного действия со встречным движением подвижных масс горизонтальной компоновки – импакторов. В последнем случае не требуется усиленных конструкций фундаментов цеховых зданий и под установку оборудования. Несмотря на некоторые преимущества, отечественной промышленностью подобное оборудование серийно не выпускается. Учеными и инженерами МГТУ «СТАНКИН» была сделана попытка создания гаммы импакторов с энергией удара в диапазоне от 4 до 250 кДж и был изготовлен промышленный образец с энергией 4 кДж. Представленная диссертация направлена на разработку процессов ГОШ с учетом специфических особенностей импакторов, важными из которых являются подача, позиционирование и удержание заготовки в плоскости соударения подвижных масс до нанесения удара, а также загрузка оборудования поковками подходящих форм и размеров. Перечисленное является актуальным для современного машиностроения в рамках импортозамещения.

### **Структура и объем диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения. В состав работы включены 12 таблиц, 93 рисунка, список литературы из 182 наименования и приложение. Общий объем диссертации - 182 страниц.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, поставлена цель, определены задачи исследования, сформулирована научная новизна, теоретическая и практическая значимость, указаны основные положения, выносимые автором на защиту, публикации по теме диссертации и апробация работы.

В первой главе рассмотрена группа поковок, удлиненных в плане и имеющих тонкие полотна, обоснован выбор детали-представителя – гаечного ключа с открытым зевом для ее изготовления методами ГОШ, области их применения и существующие технологии изготовления, рассмотрены работы по теории пластического течения металла в относительно тонком слое, также обоснован выбор программного комплекса DEFORM 3D для компьютерного моделирования разработанных технологий.

Во второй главе проведен расчет необходимых параметров и спроектирован чертеж поковки гаечного ключа с размерами зевов 4×5. На выбор размеров поковки

повлияло ограничение энергии удара имеющегося импактора 4 кДж. Построенные эпюры диаметров и сечений поковки позволили выбрать усредненные параметры заготовки. Специфика технологии изготовления гаечных ключей пластическим деформированием на импакторе заключается в необходимости использования устройств подачи заготовок в рабочую зону машины, точного позиционирования и удержания ее в месте соударения ударных масс до нанесения удара по заготовке. Реализация технологических процессов ГОШ в этом случае может вестись двумя путями: использовать длинномерные профилированные заготовки из легированных сталей или проектировать штучные заготовки специальной геометрии. В этом случае заготовительные переходы осуществляются на другом специализированном оборудовании, а на импакторе реализуется окончательная штамповка поковки. На разработанные способы ГОШ поковок гаечных ключей на импакторах получено 4 патента РФ на изобретения.

Глава 3 посвящена компьютерному моделированию разработанной технологии ГОШ поковки гаечного ключа в программном комплексе DEFORM-3D. В качестве исходных данных использовались: температуры заготовки 1250°C, 1100°C, 950°C, температура штампа 150°C, 250°C, 300°C; поскольку заготовка контактирует со штампом только во время удара, принимались условия контактного теплообмена при граничных условиях II рода; фактор трения Прандтля – Зибеля при условии применения смазки – 0,35; эффективность удара молота – 0,85; аналоги металлов заготовки и штампа подбирались из базы данных программного комплекса. Сравнению подвергались варианты технологии ГОШ из заготовки, полученной поперечно-винтовой прокаткой (КИМ=0,5), и из фигурной Z-образной листовой заготовки (КИМ=0,64). Изменения технологических параметров представлены наглядно в виде графиков.

В четвертой главе описаны экспериментальные исследования технологии ГОШ поковок гаечного ключа. Экспериментальный штамп был выполнен из блока пластин. Плоские срезы полости ручья штамповой оснастки проектировались по готовому чертежу штампа с использованием программного обеспечения КОМПАС-3D. По выполненным послойным чертежам на автоматизированном комплексе лазерной

резки получен комплект пластин для сборки модельного штампа. После центрирования пластины сваривались, затем блок пластин обрезался и ручей подвергался тщательной зачистке. Полученные экспериментальные данные с использованием универсального комплекса на базе испытательной машины INSTRON 3500 КРХ силой 3500 кН по нагрузке и перемещению верхней части штампа во время процесса штамповки легли в основу построения соответствующих графических зависимостей.

Глава 5 посвящена математической формулировке задачи пластического течения в тонком слое. Выведены условия сохранения импульсов, действующих на элемент объема деформируемого слоя. Квазистатическое нагружение деформируемого тонкого слоя позволяет пренебречь силами инерции и получить для контактного давления дифференциальное уравнение в частных производных, независящее от компонент скоростей течения. После интегрирования и отыскания произвольной постоянной получено уравнение для расчета контактного давления. Делая замену функции контактного давления новой функцией, отвечающей наложенным ограничениям, автор приходит к выводу о существовании аналогии между задачами течения и определением формы насыпи однородного песка. Методом песчаной аналогии выявлены форма и расположение линий раздела течения при штамповке поковки гаечного ключа, занимающей односвязную область течения. Сила  $Q$ , необходимая для осуществления процесса течения и являющаяся функцией толщины поковки, равна объему песчаной насыпи.

В заключении сформулированы результаты и выводы по диссертационной работе. Основные научные результаты, полученные автором, их последовательность и содержание отражают структуру работы, соответствуют поставленным задачам и свидетельствуют о полноте их решения.

В целом работа изложена грамотным техническим языком. Каждая глава содержит важные результаты научных исследований автора и сопровождается развернутыми выводами. Оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

## Научная новизна диссертационной работы

Научную новизну представляют следующие результаты исследования, полученные соискателем:

1. Установлена степень влияния размера сетки конечных элементов и числа узлов на картину течения металла при численном моделировании процесса ГОШ, с помощью 3D моделей штампового инструмента и вариантов заготовок для проведения имитационного моделирования МКЭ по предложенным новым технологическим процессам ГОШ поковок гаечного ключа, для которых обоснованы рациональные значения температур заготовки из стали 40Х (950°C) и штампа из стали 5ХНМ (300°C), величина коэффициента заполнения облойной канавки (0,4), а также возможность деформирования заготовок научно обоснованных форм и размеров за один удар импактора.

2. Решена краевая задача нестационарного течения тонкого пластического слоя по определению контактного давления и силовых параметров при горячей объемной штамповке поковок гаечных ключей, имеющих сложный внешний контур с получением аналитических зависимостей для определения расчетных показателей методом песчаной аналогии.

3. Установлен характер изменения силы в зависимости от хода инструмента, а также максимальное значение силы, которого она достигает в конце процесса деформирования, результаты проведенного физического эксперимента позволили определить возникающие нагрузки на разных этапах молотовой штамповки и подтвердить возможность заполнения рабочих элементов штампа за один удар молота.

4. Сравнение вариантов предложенных технологических процессов ГОШ из заготовок разных форм и размеров, которое показало, что по расходу металла, характеризующегося КИМ, затрачиваемой энергии при ударе молота и расходуемой на нагрев заготовок, следует отдать предпочтение варианту, реализуемому из штучной фигурной заготовки, изготавливаемой из полос листового металла необходимой толщины. Что касается варианта штамповки из предварительно прокатанных заготовок, то автор рекомендует остановиться на варианте с

использованием длинномерной непрерывной заготовки, все формоизменяющие операции в котором реализуются при однократном нагреве заготовки.

### **Практическая значимость**

1. Спроектированы чертеж поковки и новые варианты технологического процесса горячей объемной штамповки гаечного ключа с научным обоснованием термомеханических режимов, выбором и корректировкой конструктивных элементов поковки, построением эпюры диаметров и эпюры сечений поковки для определения усредненных размеров заготовок. Техническая новизна разработанных вариантов технологического процесса подтверждена 4-мя патентами РФ на изобретения.

2. По результатам имитационного моделирования получены графические зависимости эффективных напряжений и температуры заготовки от времени цикла штамповки: максимальные напряжения не превысили 550 МПа, что является удовлетворительным результатом в плане удельной нагрузки на штамп; при начальной температуре заготовки 950 °С она оставалась не выше 1250 °С, несмотря на дополнительный разогрев металла при ударе за счет теплового эффекта деформации, что обезопасит штампуемый материал от перегрева.

3. Компьютерное моделирование вариантов технологии ГОШ позволило добиться нужных форм и размеров заготовок и необходимых температурных и силовых параметров для обеспечения эффективной штамповки поковки гаечного ключа с наибольшим КИМ за один удар молота при однократном нагреве заготовки.

4. Для проведения физических экспериментов обоснована возможность использования вертикального ковочного молота МА4129 с пневматическим приводом, для которого были разработаны чертежи верхнего и нижнего штампов. Сравнению с импактором подвергались энергия удара и время соударения штампов. Обоснован вариант конструктивного изменения элементов молотового штампа: размеров облойной канавки для штамповки поковки ключа 4×5 с уменьшением ширины мостика до 3,5 мм и уменьшением ширины магазина до 8,5 мм.

5. Проведен эксперимент по определению конфигурации линии раздела течения и суммарной силы с помощью аналогии с песчаной насыпью. По предельной насыпи определены геометрические характеристики, необходимые для расчета

параметров эпюры давлений и силы деформирования на конечной стадии формоизменения. Экспериментально подтверждено, что суммарная сила, рассчитанная с помощью аналогии с песчаной насыпью, удовлетворительно коррелирует со значениями, полученными компьютерным моделированием и в ходе физического эксперимента.

### **Обоснованность и степень достоверности результатов и выводов**

Подтверждается использованием известных научных гипотез, теоретических методов, корректных ограничений и допущений, полученных анализом технической информации из достоверных источников: монографий, справочников, периодических изданий и патентов. Результаты теоретического исследования основаны на разработанных математической и компьютерных моделях процесса ГОШ.

Практические результаты получены на сертифицированном и поверенном испытательном оборудовании с помощью современной регистрирующей аппаратуры и подтверждаются удовлетворительным согласованием расчетных результатов с результатами экспериментальных исследований.

### **Подтверждение основных результатов диссертации в научной печати**

По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе в 3 изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК Министерства науки и образования РФ, 5 в материалах и сборниках научных трудов конференций, а также получено 4 патента РФ на изобретения.

### **Оценка содержания диссертации**

Анализ содержания диссертационной работы убеждает в ее завершенности. Материалы диссертации структурированы в логической последовательности, принятая терминология и стиль изложения соответствуют общепринятым нормам.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации и ее основные положения.

Работа соответствует паспорту научной специальности 2.5.7 «Технологии и машины обработки давлением», поскольку в ней разрабатывается и исследуется технология горячей объемной штамповки поковок гаечных ключей, являющихся

представителями группы поковок, удлиненных в плане и имеющих тонкое полотно, что соответствует:

пункту 1 – «Закономерности деформирования материалов и повышения их качества при различных термомеханических режимах, установление оптимальных режимов обработки»;

пункту 3 – «Технологииковки, прессования, листовой и объемной штамповки и комплексных процессов с обработкой давлением»;

пункту 5 – «Методы оценки напряженного и деформированного состояния и способы увеличения жесткости, прочности и стойкости штампового инструмента».

Объем и содержание диссертационной работы по степени научной новизны и практической значимости удовлетворяет требования ВАК Российской Федерации.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Следует рекомендовать к использованию полученные в работе научные и практические результаты на предприятиях машиностроительного комплекса и строительной индустрии, судостроения и атомной энергетики. Разработанный комплекс теоретических, технических и технологических решений необходимо использовать в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлениям 15.03.01 «Машиностроение» и 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», а также аспирантов по научной специальности 2.5.7 – Технологии и машины обработки давлением.

### **Замечания и вопросы по работе**

1. В автореферате отсутствуют данные о применяемой смазке для осуществления ГОШ поковки при исследовании кинематики течения металла в процессе формообразования.

2. В автореферате отсутствует обоснование, почему эксперименты проводятся только на одном материале.

3. Компьютерное моделирование разработанной технологии ГОШ поковки гаечного ключа проведено в программном комплексе DEFORM-3D, но в работе



отсутствует обоснование, почему в качестве модельного материала использован свинец марки С0 ГОСТ 3778-98.

### **Заключение**

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные теоретические, технические и технологические решения и разработки, направленные на совершенствование технологических процессов горячей объемной штамповки поковок гаечных ключей, ориентированных на использование специализированного кузнечно-штамповочного оборудования – импакторов. Применение данного оборудования позволит снизить затраты энергии за счет уменьшения температуры и времени нагрева заготовок. Реализация новых вариантов технологии ГОШ обеспечит загрузку молотов горизонтальной компоновки и повысит производительность за счет штамповки за один удар молота, что имеет существенное значение для развития машиностроения.

Достоверность изложенных в диссертации результатов и выводов подтверждается использованием известных научных гипотез, теоретических методов, корректных ограничений и допущений, полученных анализом технической информации из достоверных источников, и результатами экспериментальных исследований.

Количество и качество публикаций Гусева Д.С. отвечает п.п. 11, 13 Положения о присуждении ученых степеней. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание и соответствует п. 25 Положения о присуждении ученых степеней.

Сформулированная цель достигнута успешным решением поставленных задач исследования, которые соответствуют паспорту научной специальности 2.5.7 – Технологии и машины обработки давлением.

Перечисленное дает основание считать, что диссертационная работа Гусева Дмитрия Сергеевича на тему: «Совершенствование процессов горячей объемной штамповки поковок с тонкими полотнами» соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (ред. от 11.09.2021 г.).

Автор диссертации, Гусев Дмитрий Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7 – Технологии и машины обработки давлением.

Отзыв на кандидатскую диссертацию Гусева Дмитрия Сергеевича «Совершенствование процессов горячей объемной штамповки поковок с тонкими полотнами» обсужден и утвержден на заседании кафедры «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский политехнический университет» (Московский Политех) (протокол № 10/н от 22 мая 2024 г.), на котором присутствовало 15 научно-педагогических работников, проголосовавших: «за» – 15 чел.; «против» – 0 чел.; «воздержались» – 0 чел.

Отзыв составил:

Профессор кафедры «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», д.т.н. (научная специальность 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением), профессор

Филиппов Юлиан Кириллович

Заведующий кафедрой «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», к.т.н. (научная специальность 05.02.09 – Технологии и машины обработки давлением)

Матвеев Алексей Григорьевич

эл. почта: a.g.matveev@mospolytech.ru

Филиппова Ю.К.  
подпись Матвеева А.Г. заверяю

ДЕЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬ  
ПОГОРЕЛОВА А.В.



Лица, подписавшие отзыв, выражают согласие на включение своих персональных данных в аттестационное дело соискателя Гусева Д.С. и их дальнейшую обработку.

Данные о ведущей организации: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский политехнический университет» (Московский политехнический университет)

107023, г. Москва, ул. Б. Семеновская, д.38

тел. +7 (495) 223-05-23, эл. почта: [mospolytech@mospolytech.ru](mailto:mospolytech@mospolytech.ru)