

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Гусева Дмитрия Сергеевича на тему:
«Совершенствование процессов горячей объемной штамповки поковок с тонкими полотнами», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7 - «Технологии и машины обработки давлением»

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Горячая объемная штамповка (ГОШ) на молотах и на современном этапе развития кузнечно-штамповочного производства остается востребованной технологией изготовления поковок из сталей и цветных сплавов в условиях, как мелкосерийного производства, так и при изготовлении поковок крупными партиями. На предприятиях, имеющих парк паровоздушных молотов, это оборудование модернизируют переводом на гидравлический или газогидравлический привод, который является менее энергоемким. В одну из многочисленных групп поковок, изготавливаемых ГОШ на молотах, входят поковки удлиненные в плане и/или имеющие относительно тонкие протяженные участки. Упомянутая группа поковок с тонкими полотнами или с высокими ребрами жесткости из года в год пополняется более сложными по форме изделиями, в которую входят детали медицинского и слесарного инструмента, а также оребренные панели. Список таких поковок можно продолжить: балансиры и вкладыши, детали рам, рычаги, шатуны, рессоры, тяги, фланцы и прочее. Для получения поковок с тонким полотном необходимо приложить удельную силу в несколько раз превосходящую напряжение текучести материала, при этом важным обстоятельством является сохранение сплошности штампуемых поковок. Поэтому возникает необходимость наряду с применением типовых технологий и кузнечно-штамповочного оборудования, проектировать специализированное оборудование и создавать ориентированные на него технологические процессы ГОШ, что, несомненно, является актуальной задачей.

2. Оценка содержания диссертации и автореферата, степень завершенности

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. Выдвигаемые в работе положения обоснованы и доказаны.

Во введении соискателем освещена актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, указана новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены результаты, полученные автором лично и выносимые на защиту, приведены данные об апробации результатов работы и подтверждающие их достоверность.

В первой главе рассмотрена группа поковок, удлиненных в плане и имеющих тонкие полотна, обоснован выбор детали-представителя – гаечного ключа с открытым зевом, поковка которого изготавливается методами ГОШ, области их применения и существующие технологии изготовления, также

рассмотрены работы по теории пластического течения металла в относительно тонком слое.

Штамповка поковок гаечных ключей осуществляется в условиях крупносерийного и массового производства, поэтому в качестве перспективного оборудования выбраны молота с горизонтальным движением ударных масс – импакторы. Обзор показал, что на технологические параметры процесса пластического деформирования поковок гаечных ключей существенное влияние оказывают не только механические свойства материалов, из которых они изготавливаются, но и, наряду с геометрическими характеристиками, особенности кинематики течения в тонком пластическом слое с затеканием металла в облой. При этом математическая проработка вопросов теории формоизменения в указанных условиях для практического применения на сегодняшний день выполнена не в достаточно полной мере.

Во второй главе по стандартной методике проведен расчет необходимых параметров и спроектирован чертеж поковки гаечного ключа 7811-0001 D1 X9 ГОСТ 2839-80 с размерами зевов 4×5. На выбор размеров поковки повлияло ограничение энергии удара имеющегося в «МГТУ «СТАНКИН» импактора 4 кДж. Построенные эпюры диаметров и сечений поковки позволили выбрать усредненные параметры заготовки.

При использовании импакторов рациональным является применение заготовок, максимально приближенных к форме готовых поковок, полученных вальцовкой на ковочных вальцах, профилированных поперечно-винтовой, радиально-сдвиговой или поперечно-клиновой прокаткой. Это дает возможность свести число ударов подвижных частей импактора до одного. 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 специально подготовленные длинномерные профилированные заготовки из легированных сталей или проектировать штучные заготовки специальной геометрии. Для изготовления длинномерных заготовок может быть использован горячекатаный сортовой прокат необходимого диаметра, либо полосовой или листовой прокат нужной толщины. Сортовой прокат после предварительного нагрева в проходном индукторе процессами поперечно-винтовой или радиально-сдвиговой прокатки преобразуется в прокат периодического профиля (патент RU 2781825 C1, патент RU 2784307 C1). Также разработаны варианты штамповки поковки гаечного ключа на импакторе из листовых длинномерных заготовок (патент RU 2781826 C1, патент RU 2784309 C1). После этого, согласно разработанной технологии, участок длинномерной заготовки, приходящийся на одну поковку, поступает с помощью подающего устройства в рабочую зону импактора и точно позиционируется в месте соударения подвижных масс. Заполнение полости ручья происходит во время смыкания половин штампа за один удар. Обоснована возможность использования штучной, так называемой Z-образной заготовки, которая отделяется от полосового проката, либо от цельного листового проката, изначально отрезав полосы нужной ширины, или лист раскраивается с помощью

автоматизированного комплекса лазерной отрезки. Штучная заготовка специальной формы подается в рабочую зону импактора с помощью грейферного устройства. В зависимости от организации производственного процесса обрезка облоя может осуществляться поштучно, или на обрезку может поступать секция, содержащая несколько отштампованных поковок.

Третья глава посвящена компьютерному моделированию разработанной технологии ГОШ поковки гаечного ключа в программном комплексе DEFORM-3D. Сравнению подвергались варианты технологии ГОШ из заготовки, полученной поперечно-винтовой прокаткой (вариант 1, и из Z-образной заготовки (вариант 2): соответственно энергия ударной массы: 641 Дж и 689 Дж; эффективные напряжения 556 МПа и 689 МПа; температура заготовки в конце рабочего хода 1125°C и 1250 °C; площадь контакта 37,5 см² и 38,5 см²; сила сжатия 572 кН и 1014 кН.

В четвертой главе описаны экспериментальные исследования технологии ГОШ поковок гаечного ключа. Форма и размеры заготовок, использованных при физическом моделировании, были выбраны по результатам компьютерного моделирования с учетом выявленных недостатков. В качестве модельного материала использован свинец марки С0. Установлена зависимость изменения силовых характеристик деформирования от перемещения ударной массы, характер изменения силы показан на графиках. Исследования по качеству заполнения ручья штампа проведены на молоте вертикальной компоновки МА4129 с пневматическим приводом. Численными и физическими экспериментами доказано, что ручей штампа заполняется за один удар на пневматическом молоте с меньшей энергией удара, а значит, не будет сомнений, что те же технологические процессы могут быть реализованы также за один удар на импакторе с заведомо большей энергией удара.

Глава 5 посвящена математической формулировке задачи пластического течения в тонком слое. Поставленная краевая задача решается методом характеристик при условии полной пластичности. Определяются эйлеровы компоненты скорости частиц вдоль линий скольжения α и β соответственно, в результате получены аналитические зависимости для скоростей деформаций. Воспользовавшись связью напряжений и скоростей деформаций, автор находит главные напряжения. Квазистатическое нагружение деформируемого тонкого слоя позволяет пренебречь силами инерции, и для контактного давления получено уравнение, независящее от компонент скоростей течения. Контактное давление находится из условия, что течение в районе облойного мостика происходит по тем же законам течения по недеформируемым плоскостям тонкого слоя. Замена контактного давления новой функцией, удовлетворяющей известным граничным условиям, указывает на существование аналогии между задачами течения и определения формы насыпи однородного песка. Предельная насыпь характерна тем, что угол наклона ее образующей к горизонту есть величина постоянная, а образующие представляют собой линейные функции. По объему насыпи автор находит суммарную силу деформирования.

В заключении приведены итоги научных и практических результатов и общие выводы, полученные в ходе выполнения данной диссертационной работы.

Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание

исследований и дают достаточно полное представление о содержании диссертации.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна.

К наиболее важным научным результатам, полученным автором и обладающим **новизной**, следует отнести следующие.

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°С) и штампа из стали 5ХНМ (300°С), величина коэффициента заполнения облойной канавки (0,4), а также возможность деформирования заготовок научно обоснованных форм и размеров за один удар импактора. Положения подтверждаются материалами глав 2 и 3.

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. Положение научной новизны обосновано в главе 5 отсутствием подобных решений для односвязных областей сложной конфигурации.

Установление характера изменения силы в зависимости от хода инструмента, а также максимального значения 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. Сформулированное положение подтверждается материалами глав 4 и 5.

При сравнении вариантов предложенных технологических процессов ГОШ из заготовок разных форм и размеров, показано, 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 здесь нужно остановиться на варианте с использованием длиномерной непрерывной заготовки, все формоизменяющие операции в котором реализуются при однократном нагреве заготовки. Сформулированные в этом пункте положения научной новизны обоснованы и подтверждаются материалами глав 2 и 3 и обоснованы разработкой новых вариантов технологического процесса ГОШ.

Положения практической ценности работы, сформулированные на основании материалов глав 2, 3 и 4, заключаются в следующем:

1. Спроектированном чертеже поковки и новыми вариантами технологического процесса горячей объемной штамповки гаечного ключа с научным обоснованием термомеханических режимов, выборе и корректировке

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.

Кроме того, **степень достоверности выводов, результатов и рекомендаций** подтверждается использованием известных научных гипотез и теоретических методов, корректно сформулированных ограничений и допущений. Теоретические положения ГОШ основаны на уравнениях теории нестационарного течения тонкого пластического слоя, а расчет контактных давлений и силовых параметров – на методе песчаной аналогии. Однозначность получаемых результатов достигается заданием начальных и граничных условий в полном соответствии с поставленными задачами.

Численные эксперименты в виде компьютерного моделирования МКЭ проведены с использованием лицензионного программного обеспечения DEFORM 3D. Физические эксперименты базировались на методике аналогового моделирования. Технологические процессы ГОШ проектировались с учетом особенностей импакторов и реализовывались на сертифицированном оборудовании технологического полигона ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», в частности, на универсальном комплексе на базе испытательной машины

INSTRON 3500 КРХ силой 3500 кН и на ковочном пневматическом молоте модели МА4129.

4. Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Работа соответствует формуле специальности 2.5.7 «Технологии и машины обработки давлением». В работе разрабатывается и исследуется технология горячей объемной штамповки поковок гаечных ключей, являющихся представителями группы поковок, удлиненных в плане и имеющих тонкое полотно, что соответствует пунктам 1 «Закономерности деформирования материалов и повышения их качества при различных термомеханических режимах, установление оптимальных режимов обработки», 3 «Технологииковки, прессования, листовой и объемной штамповки и комплексных процессов с обработкой давлением, например, непрерывного литья и прокатки заготовок» и пункту 5 «Методы оценки напряженного и деформированного состояния и способы увеличения жесткости, прочности и стойкости штампового инструмента» паспорта научной специальности 2.5.7.

5. Замечания по работе

5.1 В текущих условиях, имея в виду необходимость импортозамещения, при моделировании процессов обработки металлов давлением более целесообразно применение отечественного программного продукта QForm, а не Deform, тем более что его вычислительные возможности вполне достаточны для решения поставленной соискателем задачи.

5.2. Решение в пятой главе краевой задачи нестационарного течения тонкого пластического слоя с получением аналитических зависимостей методом песчаной аналогии не дает каких-либо конкретных параметров для проектирования горячей штамповки гаечных ключей. Они были уже получены в результате конечно-элементного моделирования. По-видимому, эта глава в диссертации избыточная, хотя и свидетельствует об умении соискателя решать сложные задачи теории пластичности.

Сделанные замечания имеют локальный характер и не меняют общей положительной оценки диссертации Гусева Д.С.

6. Заключение

Представленная к защите 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, которое заключается в уменьшении затрат 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.

Диссертация «Совершенствование процессов горячей объемной штамповки поковок с тонкими полотнами» удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением

Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года (ред. 28.08.2017г.), а ее автор Гусев Дмитрий Сергеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7 – «Технологии и машины обработки давлением».

Официальный оппонент:

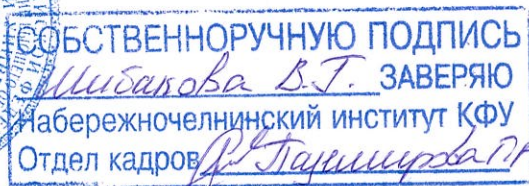
доктор технических наук, профессор
кафедры «Машиностроение»

Набережночелнинского института (филиала)
федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Казанский (Приволжский)
федеральный университет»



Владимир Георгиевич Шibaков

«15» мая 2024 г.



Даю согласие на обработку персональных данных, представленных в отзыве.

Почтовый адрес: Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО КФУ
423812, Российская Федерация, Республика Татарстан,
г. Набережные Челны, пр. Сююмбике, д.10А
Телефон: +7 (8552) 39-71-40
E-mail: chelny@kpfu.ru