

## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Шарыкина Михаила Валерьевича на тему: «Повышение стойкости штампов горячей объёмной штамповки поковок деталей типа «лопасть»», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7 - «Технологии и машины обработки давлением»

### 1. Актуальность темы диссертационного исследования

Технология горячей объёмной штамповки (ГОШ) поковок на прессах и молотах остается востребованным переделом при изготовлении деталей из сталей и цветных сплавов в условиях, как мелкосерийного производства, так и при изготовлении поковок в условиях серийного и массового производства. В одну из многочисленных групп поковок, изготавливаемых ГОШ, относят поковки удлиненные в плане и/или имеющие относительно тонкие протяженные участки, традиционно это детали слесарного и медицинского инструмента. Упомянутая группа поковок с тонкими полотнами из года в год пополняется более сложными по форме изделиями. Для получения поковок с тонким полотном необходимо приложить удельную силу в несколько раз превосходящую напряжение текучести материала, при этом важным обстоятельством является обеспечение стойкости штампов. Поэтому возникает необходимость эффективного использования конструкторских, технологических и организационных мероприятий, влияющих на повышение стойкости штампового инструмента ГОШ, что, несомненно, является актуальной задачей.

### 2. Оценка содержания диссертации и автореферата, степень завершенности

**Структура и объем работы.** Работа изложена на 175 страницах машинописного текста, включает: введение, 5 глав, заключение, 118 рисунков, 33 таблицы, список литературы из 124 источников, приложение. Выдвигаемые в работе положения обоснованы и доказаны.

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

**В первой главе** рассмотрены особенности изделия «штамп для горячей объёмной штамповки» и на основе обзора технической литературы установлено, что экономичным решением является рационализация технологического процесса штамповки и, при необходимости, изменение конструкции штамповой оснастки. Наибольшее влияние на стойкость штампов оказывает его напряжённо-деформированное состояние, зависящее от характера нагружения и распределения температурных полей. Существует множество методик, позволяющих их рассчитать, однако большинство из них относятся только к определённым видам поковок, имеют низкую точность или повышенную математическую сложность расчётов. Поэтому для анализа механических и тепловых нагрузок на штамп, в большинстве случаев, применяют компьютерное моделирование процессов пластического деформирования металлов. Для численного моделирования процесса штамповки поковок деталей типа «лопасть» обоснован выбор программного комплекса DEFORM-3D, позволяющий оценить характеристики технологического процесса и штамповой оснастки. Наибольший интерес представляет определение взаимосвязей между стойкостью штампового инструмента и режимами технологического процесса для поковок выбранной группы.

**Вторая глава** посвящена сравнительному анализу существующих и предлагаемых технологий ГОШ для двух деталей представителей типа «лопасть» из алюминиевого сплава АК4-1 и жаропрочной стали марки 13X11H2B2MФ-Ш. В первом случае экспериментально подобран смазочный материал МС-23 производства ООО «Коллоидно-графитовые препараты» г. Воскресенск, который снизил фактор трения до значения  $m \leq 0,2$ , что

обеспечило качественное заполнение металлом гравюры прессового штампа за один переход при реализации ГОШ. При этом предложены 2 варианта новых технологических процессов, для которых разработаны соответствующие конструкции штампов. Отличительной особенностью первой технологии являются 3 варианта сдваивания поковок, отличающиеся расположением их относительно друг друга.

Во втором варианте вводится ограничение течению металла в сторону длинной стороны полотна поковки, что обеспечивает перераспределение металла при заполнении ручья штампа. Представленные варианты технологии ГОШ увеличивают КИМ по сравнению с базовой технологией на 12...19%. Кроме того технология штамповки сдвоенной поковки позволит в большей степени использовать мощность оборудования, а не тратить энергию вхолостую.

Для стальной поковки, штампуемой на молоте, было предложено внести в технологический процесс следующие корректировки: исключить операцию протяжки заготовки на квадратное поперечное сечение; значительно увеличить степень деформации на операции осадки и использовать продольно-осевое расположение заготовки при установке в окончательный ручей. Конструкторско-технологические разработки автора позволили сократить количество переходов, увеличить производительность труда, сократив количество ударов, а также повысить надежность позиционирования при установке заготовки в штамп.

Во всех предлагаемых процессах операции пластического деформирования проводятся с одного нагрева уменьшая затраты времени и энергии, в особенности на проведение промежуточных нагревов, как это было в базовой производственной технологии.

**В третьей главе** обсуждаются результаты компьютерного моделирования производственных и разработанных процессов горячей объёмной штамповки поковок деталей представителей и сравниваются характеристики альтернативных процессов. Автором оценивается по стадийное формоизменение и расчетные значения технологических параметров: НДС, силы деформирования, стойкость штампов по модели объёмного износа Арчарда. Для рассмотренной поковки из АК4-1 средние напряжения имеют следующие значения при штамповке: по производственному процессу – от 379 до 143 МПа; сдвоенной поковки в штампе тип А – от 470 до 120 МПа; сдвоенной поковки в штампе тип Б – от 470 до 120 МПа; сдвоенной поковки в штампе тип В – от 381 до 116 МПа; в штампе с ограничителем – от 450 до 110 МПа. Наиболее удачным вариантом технологического процесса горячей объёмной штамповки алюминиевой поковки является технология штамповки сдвоенной поковки в штампе тип Б (рисунок 2.5,б стр. 59 диссертации). Согласно данным моделирования, стойкость этого штампа, по сравнению с производственным, повысилась на 62%.

Для рассмотренной поковки из жаропрочной стали 13X11H2B2MФ-Ш средние напряжения имеют значения при штамповке по: производственному процессу – от 1710 до 300 МПа; по предлагаемому процессу – от 1890 до 680 МПа. По сравнению с производственной технологией горячей объёмной штамповки стальной поковки, износ штампа предлагаемого процесса уменьшился на 23%.

**В четвертой главе** описаны экспериментальные исследования процесса износа штамповой стали марки 5ХНВ и исследование влияния термической и химико-термической обработки, а именно сульфидирования и азотирования, на способность материала инструмента сопротивляться истиранию. В качестве оборудования использована машина «Шкода-Савин». Нагрузка узла трения составила 10 кг, частота вращения ролика 675 об/мин, а время каждого испытания 15 мин. Для охлаждения и удаления абразивных частиц в зону трения подавался 0,5% раствор  $K_2CrO_4$ . Испытания проводили на трёх видах образцов: термообработанные на твёрдость 41 HRC; термообработанные на твёрдость 41 HRC и подвергнутые сульфидированию с глубиной слоя 0,1 мм; азотированные на твёрдость 62 HRC с глубиной слоя 0,3 мм.

Автором установлено, что, по сравнению с термообработкой стали марки 5ХНВ на твёрдость 41 HRC, дополнительное сульфидирование увеличило износостойкость образцов в среднем на 25%, а проведение азотирования на твёрдость 62 HRC – на 67%. На основе проведённых исследований построили кривые изнашивания штамповой стали марки 5ХНВ в зависимости от вида химико-термической обработки.

**Глава 5** посвящена разработке математических моделей в виде уравнений регрессии для расчета стойкости штампов. В основу легли производственные данные и результаты конечно-элементного моделирования, что позволяет прогнозировать стойкость штампового инструмента. Установлено, что на величину износа штампового инструмента наибольшее влияние оказывает твёрдость гравюры штампа. При увеличении твёрдости гравюры в 1,5 раза (средствами ТО/ХТО) износ уменьшается, в зависимости от технологического процесса, от 1,5 до 6 раз. Также существенное влияние оказывает температура заготовки. При снижении температуры заготовки на 14,5-23,5% (например, при достаточно длительной транспортировке от печи к прессу, или при больших затратах времени на позиционирование заготовки в штампе) износ увеличивается на 50-58,5%. При увеличении объёма заготовки на 30% (часто на предприятиях объём заготовки значительно превышает минимально необходимый) износ увеличивается, в зависимости от процесса, от 5 до 33%. Поэтому следует стремиться к рационализации технологических процессов в области уменьшения объёма заготовки не только для повышения КИМ, но также для снижения износа штампового инструмента.

**В заключении** приведены итоги научных и практических исследований в виде результатов и общие выводы, полученные в ходе выполнения представленной к защите диссертационной работы.

Автореферат и 11 опубликованных работ, в том числе 5 в изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК, 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 научной **новизной**, следует отнести следующие:

- компьютерные модели вариантов процесса формообразования поковок деталей типа «лопасть», позволившие обосновать температурно-силовые режимы технологического процесса с помощью варьирования технологическими факторами, непосредственно влияющими на работоспособность штампов, связанную с механизмом абразивного износа;
- выявленный характер изменения и максимальные значения энергосиловых параметров для новых вариантов технологии горячего деформирования сдвоенных поковок свидетельствуют о том, что кузнечно-штамповочное оборудование не нуждается в замене, т.к. технологические силы не превышают номинальных значений и может быть использовано с большей производительностью;
- закономерности, отражающие влияние изменения объема и способа установки и позиционирования исходной заготовки в штампе, а также внесенных изменений в конструкцию самого штампа на величину износа его рабочих поверхностей;
- математические модели многокритериальной оптимизации, устанавливающие степень влияния технологических параметров процесса горячей объемной штамповки (температуры и объёма заготовки, твёрдости гравюры штампа, теплового напора, напряженно-деформированного состояния штампового и деформируемого металлов) на интенсивность истирания наиболее уязвимых конструктивных элементов штампа, которая зависит от площади активного контакта растекающегося металла с элементами рабочих поверхностей штампа при изготовлении поковок типа «лопасть».

Сформулированные в этом пункте положения научной новизны обоснованы и подтверждаются материалами глав 3, 4 и 5.

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

- новые варианты технологий ГОШ поковок деталей типа «лопасть», обеспечивающие повышение износостойкости штампового инструмента: до 62 % – для поковок из алюминиевого сплава АК4-1 и до 23 % – при штамповке поковок из жаропрочной стали 13X11H2B2MФ-Ш;
- новые конструктивные решения, направленные на перераспределение потоков металла при заполнении рабочих полостей штамповой оснастки, что позволило снизить расход металла на изготовление поковок деталей типа «лопасть» из сплава АК4-1 на 12 %, а также повысить производительность за счёт штамповки сдвоенных поковок. Рационализация формы, размеров и способа расположения в ручье штампа заготовки при штамповке поковок из стали 13X11H2B2MФ-Ш позволяет повысить КИМ на 15 %;
- результаты эксперимента по объемному износу образцов из штамповой стали 5ХНВ показали, что по сравнению с термообработкой на твёрдость 41 HRC, дополнительное сульфидирование увеличило износостойкость в среднем на 25%, а проведение азотирования на твёрдость 62 HRC – на 67%.

Кроме того, **степень достоверности выводов, результатов и рекомендаций** подтверждается использованием известных научных гипотез и теоретических методов, корректно сформулированных ограничений и допущений.

Численные эксперименты в виде компьютерного моделирования МКЭ проведены с использованием лицензионного программного обеспечения DEFORM 3D. Физические эксперименты базировались на методике трибологических испытаний образцов из штамповой стали на машине трения. Технологические процессы ГОШ отрабатывались в производственных условиях.

#### **4. Соответствие диссертации паспорту научной специальности.**

Работа соответствует направлениям исследований научной специальности 2.5.7 «Технологии и машины обработки давлением». В диссертации разрабатывается и исследуется технология горячей объемной штамповки поковок типа «лопасть», 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» и пункту 6 «Методы оценки напряженного и деформированного состояния и способы увеличения жесткости, прочности и стойкости штампового инструмента».

#### **5. Замечания по работе**

5.1. Кроме износостойкости штамповой оснастки было бы целесообразно оценить вероятность появления смятия гравюры, разгарных трещин, выкрашивания, которые при горячей объемной штамповке с тонким полотном могут существенно ограничивать работоспособность штампа.

5.2. Не только азотирование, но ряд других процессов химико-термической обработки (борирование, газодинамическое напыления, электронное легирование) могут эффективно повышать износостойкость гравюр штампов при горячей объемной штамповке. Поэтому желательно сделать в работе технико-экономическое обоснование применимости различных способов повышения износостойкости штампов для рассматриваемой группы поковок.

5.3. Некоторые формулировки (например п.2) вряд ли могут претендовать на статус научной новизны.

Сделанные замечания имеют локальный характер и не меняют общей положительной оценки диссертации Шарькина М.В.

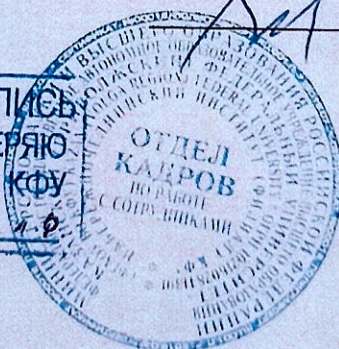
## 6. Заключение

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные и оригинальные технические, технологические и конструктивные решения, направленные на совершенствование процесса горячей объемной штамповки поковок деталей типа «лопасть». Предложенные разработки способствуют повышению износостойкости прессовых и молотовых штампов при повышении КИМ, а также увеличению производительности за счет штамповки, реализуемой в один переход на прессе, с учетом сдваивания поковок, и за два удара на молоте. Представленные в диссертации разработки вносят значительный вклад в дальнейшее развитие отечественного машиностроения.

Диссертация «Повышение стойкости штампов горячей объёмной штамповки поковок деталей типа «лопасть»» 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 Шарькин Михаил Валерьевич 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»

СОБСТВЕННОРУЧНУЮ ПОДПИСЬ  
*В.Г. Шибакова* ЗАВЕРЯЮ  
Набережночелнинский институт (ФГУ)  
Отдел кадров *И.И. Метамия*



Владимир Георгиевич Шибakov

« 10 » 10 2025 г.

Даю согласие на обработку персональных данных, представленных в отзыве.

Россия, Республика Татарстан, 423812, г. Набережные Челны, пр. Сююмбике, д. 10а.  
Телефон: +7 (8552) 39-71-40  
e-mail: chelny@kpfu.ru