

В диссертационный совет 24.2.332.01
при ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
127994, Москва, ГСП-4,
Вадковский переулок, д.1

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата технических наук Гусева Дмитрия Сергеевича
на тему: «Совершенствование процессов горячей объемной
штамповки поковок с тонкими полотноми»
по специальности 2.5.7 – «Технологии и машины обработки давлением»

Актуальность работы.

Процессы горячей штамповки, включающие нагревание заготовок перед обработкой, отличаются эффективностью и высоким коэффициентом использования материала. Они обеспечивают стандартизацию размеров и форм изделий, но также связаны с большими усилиями деформации и изменениями температур, что может привести к износу штампов. Горячая объемная штамповка остается предпочтительным методом для производства поковок из различных сплавов как в массовом, так и в мелкосерийном производстве. Разнообразие форм поковок требует их классификации по технологически схожим группам. Ассортимент поковок с тонкими элементами или высокими ребрами увеличивается за счет более сложных конструкций. К таким поковкам относятся элементы инструментов, оребренные панели и другие детали, такие как балансиры, вкладыши, рамные элементы, рычаги и т.д. Для их изготовления требуются усилия, значительно превышающие предел текучести материала, что снижает долговечность штампов и экономичность процесса. Это создает потребность в разработке специализированного оборудования и соответствующих технологических

процессов для горячей объемной штамповки, что является актуальной проблемой.

Оценка содержания диссертации.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения. В состав работы включены 12 таблиц, 91 рисунок, список литературы из 182 наименования и приложение. Общий объем диссертации – 182 страницы.

Во введении диссертации подчеркивается важность исследуемой проблемы, выделяется уникальный вклад работы, описываются применяемые методологии, а также обсуждается теоретический и практический вес исследования. Автор детализирует собственные научные достижения, которые предлагаются к защите, и предоставляет информацию о проверке и подтверждении надежности результатов.

Первая глава посвящена анализу категории поковок с удлиненными формами и тонкими элементами, в частности, выбору гаечного ключа с открытым зевом в качестве примера для производства методом горячей объемной штамповки. Описаны области использования таких изделий и текущие методы их создания, а также изучены исследования о пластическом течении металла в тонких слоях. Для штамповки гаечных ключей в условиях серийного производства автор предлагает использовать импакторы с горизонтальным движением ударных масс, так как молоты с паровоздушным приводом не отвечают требованиям экономичности.

Анализ показывает, что качество штамповки зависит не только от механических свойств материалов, но и от геометрических особенностей и кинематики течения металла в тонком слое, с учетом его распределения по форме. Однако, как отметил автор, математическое описание процессов формоизменения в этих условиях еще не достигло необходимого уровня разработки для практического применения. На основе анализа материала, автор сделал пять **обоснованных** выводов.

Во второй главе диссертации автор проводит расчеты ключевых параметров и разрабатывает чертеж поковки для гаечного ключа 7811-0001 D1

X9 по ГОСТ 2839-80 с зевами размером 4×5. Ограничение в 4 кДж энергии удара имеющегося оборудования определило размеры поковки. Используя диаграммы диаметров и сечений, автор определяет оптимальные параметры для заготовки. В процессе использования импакторов предпочтение отдается заготовкам, форма которых максимально соответствует конечному изделию, что достигается различными методами прокатки. Это позволяет сократить количество необходимых ударов до одного. Технология изготовления гаечных ключей на импакторе требует специальных устройств для подачи и точного позиционирования заготовок перед ударом. Автором описаны два возможных подхода к реализации процесса: использование предварительно подготовленных профилированных заготовок из легированных сталей или создание индивидуальных заготовок с уникальной геометрией.

Для производства длинномерных заготовок можно использовать как сортовой прокат подходящего диаметра, так и листовой прокат нужной толщины. В зависимости от организации производства, отделение облоя может происходить как для каждой поковки индивидуально, так и для секции с несколькими изделиями. Техническая новизна описанных автором технологических процессов защищена 2-мя патентами на изобретения (RU2781825 C1 и RU 2784307 C1). Также разработаны методы штамповки гаечных ключей из листовых заготовок на импакторе. При этом используется нагретая до определенной температуры полоса, из которой формируются заготовки с помощью отрезки противоположных участков, создавая места для рукоятки ключа (Патент RU 2781826 C1). Процесс штамповки осуществляется одним ударом, обеспечивая транспортировку и позиционирование заготовки.

Альтернативный метод (Патент RU 2784309 C1) предусматривает получение заготовок с утолщениями на концах, которые соединяются, образуя общий участок с отверстием для зевов ключей. Это позволяет уменьшить нагрузку на штамп и облегчить транспортировку и позиционирование заготовок. Другой вариант, предложенный автором, включает многоступенчатую

штамповку из непрерывной заготовки круглого сечения, например, одновременную штамповку двух поковок.

Автор также предлагает использование Z-образных заготовок, отделенных от полосового или листового проката, с возможностью раскроя лазером. В главе было сделано шесть **обоснованных**, констатирующих факты, выводов.

Третья глава исследования описывает процесс компьютерного моделирования новой технологии горячей объемной штамповки (ГОШ) для изготовления гаечного ключа с использованием программы DEFORM-3D. В качестве начальных данных были взяты температуры заготовки 1250°C, 1100°C, 950°C и температуры штампа 150°C, 250°C, 300°C. Учитывая, что контакт заготовки со штампом происходит только при ударе, были применены условия контактного теплообмена второго рода. Коэффициент трения по Прандтлю – Зибелю при использовании смазки составил 0,35, а эффективность удара молота – 0,85. Для моделирования были выбраны аналоги металлов из базы данных программы. Автор сравнил технологические процессы ГОШ для заготовок, изготовленных методом поперечно-винтовой прокатки, и для Z-образных заготовок.

Автор пришел к шести **обоснованным** выводам и подчеркнул, что качество заполнения формы металлом лучше при более высоких температурах заготовки и штампа. Тем не менее, чтобы избежать перегрева, оптимальными считаются температуры 950°C для заготовки и 300°C для штампа с коэффициентом заполнения облойной канавки 0,4.

Также отмечается, что у обоих вариантов технологии имеется достаточный запас по энергии молота. Создание параметрических цифровых моделей является ключевым для адаптации размеров стандартных изделий с сохранением их геометрических форм, что позволяет модифицировать модели путем изменения входных геометрических параметров.

Четвертая глава диссертации посвящена экспериментальному изучению технологии горячей объемной штамповки (ГОШ) для создания

поковок гаечных ключей. Опираясь на результаты компьютерного моделирования, автором были определены форма и размеры заготовок для физического моделирования, учитывая выявленные проблемы. В качестве аналога материала был выбран свинец марки С0 по ГОСТ 3778-98, который при комнатной температуре $T=20^{\circ}\text{C}$ имитирует поведение стали при высоких температурах, так как процессы рекристаллизации свинца начинаются уже при $T=-32^{\circ}\text{C}$, и при обычной температуре они полностью завершаются. Экспериментальный штамп автор изготовил из блока пластин, для которого плоские срезы полости были спроектированы в соответствии с готовым чертежом штампа с использованием программы КОМПАС-3D. С помощью автоматизированного комплекса лазерной резки из послойных чертежей был создан комплект пластин для сборки модельного штампа.

Экспериментальные данные, полученные с использованием универсального комплекса на базе испытательной машины INSTRON 3500 KPX с максимальной нагрузкой в 3500 кН, послужили основой для построения графиков, отражающих зависимость силовых характеристик деформации от перемещения ударной массы. В ходе исследований автор установил, что качество заполнения ручья штампа лучше при использовании молота вертикальной компоновки МА4129 с пневматическим приводом, несмотря на то, что его энергия удара в 2,7 раза меньше, чем у горизонтального молота ГШМ-4, для которого были разработаны технологические процессы ГОШ. Из этого автор делает вывод, что технологические процессы ГОШ могут быть успешно реализованы за один удар на импакторе, обладающем более высокой энергией удара. Выводы к главе описаны в трех **обоснованных** пунктах.

Пятая глава диссертации рассматривает математическое моделирование пластического течения металла в штамповке, используя теорию Ильюшина о течении тонкого слоя. Описывается метод характеристик для решения краевой задачи и применение уравнений Гаусса-Кодацци для определения напряжений. Автор использует аналоговое моделирование с использованием 3D печати и песчаной насыпи, что помогает визуализировать

течение металла и распределение давления. Различные зоны поковки анализируются для определения общей силы, необходимой для штамповки, которая была рассчитана автором равной 705 кН. Автор сформулировал четыре **обоснованных** вывода по главе.

В заключении подведены итоги выполненного исследования, сформулированы общие выводы диссертации.

Научная новизна. Автор решил поставленные задачи и получил новые оригинальные результаты:

- определено влияние размера сетки и узлов МКЭ на течение металла при моделировании ГОШ, с установленными оптимальными температурами для стали и штампа, коэффициентом заполнения и формой заготовок для эффективной деформации;

- решена задача оценки давления и сил при ГОШ сложных поковок, с использованием метода песчаной аналогии для расчетных показателей;

- установлено изменение силы в зависимости от хода инструмента и максимальное значение силы, с подтверждением эффективности заполнения штампа за один удар;

- проведено сравнение технологических процессов ГОШ, выявившее преимущества использования фигурных заготовок из листового металла и длинномерных непрерывных заготовок при однократном нагреве.

Достоверность полученных результатов диссертации подтверждается:

- точностью исходных данных и условий моделирования, выполненного с применением передовых программных инструментов;

- теоретические основы и предположения, изложенные в документе, надежны и проверены на практике, так как они основаны на устоявшихся теориях механики сплошных сред;

- физические эксперименты были организованы с использованием сертифицированного оборудования, а полученные данные, зарегистрированные с помощью современных устройств, подтверждают соответствие аналитических и моделированных результатов.

Практическая значимость работы. 1. Введены новые варианты технологического процесса горячей объемной штамповки гаечных ключей с учетом термомеханики и конструктивных элементов поковки, подтвержденные четырьмя патентами РФ.

2. Для экспериментов выбран вертикальный ковочный молот МА4129, для которого разработаны штампы и оптимизирована конструкция для улучшения штамповки.

3. Аналогия с песчаной насыпью использовалась для определения линии течения и силы деформации, с результатами, соответствующими моделированию и испытаниям.

Апробация работы. Основные результаты исследования доложены и обсуждены на 4-х всероссийских и международной конференциях и симпозиумах. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, из них 3 – в журналах, рекомендованных Перечнем ВАК для опубликования основных результатов диссертаций, получено 4 патента на изобретения и 5 работ – в других рецензируемых изданиях.

Замечания по работе:

1. Формулировки задач исследования не совсем совпадают с числом и формулировками выводов. Так, в автореферате и диссертации указано на шесть задач исследований, а в Заключение диссертации - обоснованных выводов семь.

2. В Заключение диссертации отсутствует фраза об Основных выводах.

3. Во многих формулах глав 3-5 не указывается размерность физических величин.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным технологическим университетом «СТАНКИН» к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.5.7 – «Технологии и

машины обработки давлением», а также критериям, определенным пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

Таким образом, соискатель Гусев Дмитрий Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7 – «Технологии и машины обработки давлением».

Официальный оппонент:

кандидат технических наук,
доцент кафедры обработки металлов давлением федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва

Лисунец Николай Леонидович



06.06.2024 г.

Контактные данные:

тел.: +7-926-205-54-39, e-mail: lisunec@yandex.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

05.03.05 – Процессы и машины обработки давлением

Адрес места работы:

119049, г. Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский технологический
университет «МИСИС», кафедра обработки металлов давлением
Тел.: +7 (495) 955-00-32; e-mail: kancela@misis.ru



И.М. Исась