

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Зверева Ивана Вячеславовича

на тему «Совершенствование технологических операций магнитно-импульсной обработки по схеме "обжим" тонкостенных полых осесимметричных заготовок в условиях серийного производства», по специальности 2.5.7 Технологии и машины обработки давлением, на соискание ученой степени кандидата технических наук.

1. Актуальность избранной темы.

Одними из наиболее эффективных методов обработки тонкостенных заготовок из материалов с высокой электропроводностью являются технологические процессы магнитно-импульсной формовки и калибровки. Высокие экономические показатели этих процессов достигаются за счет снижения трудоемкости изготовления деталей, устранения ручных доводочных работ, снижения металлоемкости технологической оснастки, повышения качества и надежности готовой продукции. Но применение этой технологии в серийном производстве сдерживается отсутствием методик расчета и низкой стойкостью существующих индукторных систем при малой длительности цикла разрядов. Необходима разработка и совершенствование алгоритмов расчета параметров технологических операций магнитно-импульсной обработки, повышение прочностных характеристик и снижение стоимости изготовления индукторных систем для их эксплуатации в серийном производстве.

Поэтому научно-техническая задача, поставленная в диссертации, представляется безусловно актуальной.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности технологических процессов магнитно-импульсной обработки тонкостенных полых осесимметричных заготовок в условиях серийного производства путем совершенствования алгоритма расчета параметров данного процесса и исследования прочностных характеристик индукторных систем на "обжим", а также использования технических и технологических решений, снижающих себестоимость и повышающих геометрическую точность изготавливаемых изделий.

Выбранная цель диссертации соответствует содержанию проведенных исследований. В работе проведено комплексное решение заявленных соискателем задач для достижения поставленной цели: на основании проведенного анализа существующих методик расчета параметров магнитно-

импульсной обработки материалов (МИОМ) предложен усовершенствованный алгоритм расчета параметров энергозатрат процессов с уточнением собственных индуктивностей и сопротивлений индуктора и заготовки с возможностью использования полученных данных для компьютерного моделирования; разработано программное обеспечение для расчета технологических параметров процессов МИОМ, включающее прочностной расчет индукторной системы на "обжим"; проведено исследование воздействия давления электродинамических сил на токопровод и межвитковую изоляцию индукторной системы на «обжим», позволившее обосновать необходимость использования межвитковой изоляции из материалов с высокой механической прочностью и высоким коэффициентом трения в контакте с металлом токопровода; установлено, что опасная зона, где достигаются максимальные механические напряжения, находится на внутренней поверхности второго или предпоследнего витков, что может быть учтено при разработке конструкции индукторов; разработана конструкция и технология изготовления индукторных систем на "обжим" с токопроводом сварного типа с низкой технологической себестоимостью и высоким ресурсом работы; разработаны конструктивные варианты технологической оснастки, позволяющие расширить возможности применения технологии МИОМ в серийном производстве для обработки тонкостенных полых осесимметричных заготовок; результаты диссертационного исследования использованы при разработке технологических процессов изготовления деталей в серийном производстве.

3. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность и обоснованность полученных автором результатов не вызывает сомнения и обусловлена корректностью постановки задач, обоснованным использованием теоретических зависимостей, использованием современных методов компьютерного моделирования, а также практическим использованием результатов исследований на производстве. Положения выносимые на защиту получены с использованием программного комплекса ANSYS (модуль ANSYS Transient Structural и модуль LS-DYNA с электромагнитным решателем), прошедшим проверку на адекватность при решении большого числа научно-технических задач.

Основные результаты и выводы по диссертации опубликованы в 20 научных публикациях, из которых 8 статей в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением (Перечень ВАК), 2 статьи в изданиях индексируемых в базе данных Scopus, 4 статьи в сборниках

материалов научных конференций, что также подтверждает достоверность и новизну научных положений выполненной диссертационной работы. Новизну технических решений подтверждают 3 патента на изобретения и 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, полученные автором. Диссертация соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» по пунктам 10, 11, 13 и 14.

Научную новизну результатов проведенных исследований составляют:

1. Методика расчета параметров энергозатрат процессов магнитно-импульсной обработки материалов с уточнением собственных индуктивностей и сопротивлений индуктора и заготовки, с относительной погрешностью определения индуктивности компонентов системы не превышающей 5 %.

2. Программное обеспечение для моделирования процессов МИОМ и индукторов, позволяющее определять рациональные технологических параметры процесса и выполнять прочностные расчеты индукторных систем.

3. Установленное влияние механической прочности межвитковой изоляции индуктора и коэффициента ее трения в контакте с металлом токопровода на стойкость индукторных систем с осевым закреплением без внешнего бандажа – для их охлаждения, работающих по схеме "обжим".

4. Значимость для науки и практики полученных автором результатов.

Результатами диссертации, имеющими научную и практическую значимость, являются: методика, объединяющая методы энергетических и электромагнитных расчетов для первоначального определения давления импульсного магнитного поля и основных параметров индукторной системы при выполнении операций формовки, а также применение методики оптимального планирования экспериментов при конечно-элементном моделировании нелинейных высокоскоростных процессов магнитно-импульсного нагружения как заготовок, так и элементов индукторной системы.

Это позволяет совершенствовать технологические операции на базовом уровне и установить зависимости для управления, как деформационным процессом обжатия тонкостенных заготовок, так и поведением элементов индукторных систем в процессе нагружения с целью повышения их надежности.

5. Содержание диссертации, ее завершенность.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 140 наименований, изложена на 121 странице машинописного текста, включающих 55 рисунков и 10 таблиц, дополнена четырьмя Приложениями.

Во *введении* обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, определены его объект и предмет, приведены положения выносимые на защиту, обладающие научной новизной и практической значимостью.

В *первой главе* содержатся материалы обзора современного состояния технологии магнитно-импульсной обработки металлов. Проанализирована классификация технологических операций, выполняемых методом магнитно-импульсной обработки материалов (МИОМ), рассмотрено оборудование и существующие индукторные системы, применяемые при выполнении технологических операций. Выполнен анализ существующих методов расчета и компьютерного моделирование процессов МИОМ. На основе проведенного анализа намечены основные задачи исследования по совершенствованию технологического оснащения и расчета параметров операций магнитно-импульсной обработки тонкостенных полых осесимметричных заготовок, для схемы "обжим", с целью эффективного их применения в условиях серийного производства.

Во *второй главе* рассмотрены вопросы совершенствования математической модели для расчета параметров процесса магнитно-импульсного нагружения цилиндрических заготовок по схеме "обжим". Алгоритм расчета параметров технологических операций МИОМ построен с использованием предложенной автором методики, объединяющей ранее разработанные методы энергетических и электромагнитных расчетов. Он включает первоначальный расчет давления электродинамических сил необходимого для выполнения операции формовки заготовок, исходя из предварительно рассчитанных конструктивных параметров индукторной системы и электромагнитных параметров системы "индуктор-заготовка". Затем, с учетом этого, производится уточнение геометрических параметров индукторной системы, расчет электрических параметров индуктора, а также собственной индуктивности и активного сопротивления заготовки. Выполняется расчет необходимой энергии разряда магнитно-импульсной установки с учетом фактической индуктивности системы "индуктор-заготовка", с учетом технологических и изоляционных зазоров между элементами системы, с заданным сечением и количеством витков индуктора.

Предложенный алгоритм может быть использован как в инженерных расчетах, при проектировании процессов технологических процессов МИОМ на производстве, так и для получение первоначальных входных величин для компьютерного моделирования процесса деформирования заготовки или нагружения элементов индукторной системы – с целью проверки результатов

аналитического расчета и последующей оптимизации параметров технологического процесса и его технологического оснащения.

В *третьей главе* приведены результаты моделирования и прочностного расчета токопровода индукторных систем на "обжим" при использовании в технологических процессах магнитно-импульсной обработки заготовок в условиях серийного производства. Использовалась программа ANSYS (модуль ANSYS Transient Structural). Для уменьшения объема расчетов при выборе наиболее рациональных параметров элементов индукторной системы применен метод оптимального планирования экспериментов. Установлено, что для наиболее целесообразной в условиях серийного производства конструкции индукторной системы с осевой стяжкой витков и периферийным воздушным охлаждением токопровода, кроме геометрических размеров и материала токопровода индуктора важную роль играют силы трения между поверхностями витков и межвитковой изоляцией. По результатам моделирования установлена опасная зона, где достигаются максимальные механические напряжения в материале токопровода, что необходимо учитывать при конструировании элементов токопровода индуктора.

В *четвертой главе* представлены результаты практической реализации разработанных подходов к совершенствованию технологического оснащения операций магнитно-импульсной обработки осесимметричных заготовок по схеме "обжим" в конкретных условиях серийного производства ПАО «Императорский Тульский оружейный завод». Применение программы ANSYS (со встроенным редактором LS-DYNA) позволило провести полноценный имитационный эксперимент процессов МИОМ, что существенно сократило время исследования и сроки проектно-конструкторских разработок при запуске продукции в серию. Предложена и реализована в условиях серийного производства изделий новая конструкция индукторных систем с высокой стойкостью и низкой себестоимостью в изготовлении.

Диссертационное исследование следует рассматривать как научно обоснованные теоретические и технологические разработки, обеспечивающие решение поставленной прикладной задачи.

Структура диссертации построена методически правильно, решение всех первоначально поставленных задач, сформулированное в выводах и заключению по работе, дает основания считать диссертацию завершенной квалификационной работой.

6. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации.

Диссертационная работа оформлена и иллюстрирована в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011 "Диссертация и автореферат диссертации. Структура и

правила оформления". Текст работы написан техническим языком и оформлен в соответствии с ГОСТ Р 2.105-2019 "Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам".

Из недостатков можно отметить следующее:

1. В названии темы диссертации и в сформулированной цели работы указано на *"совершенствование (повышение эффективности) технологических процессов, путем совершенствования алгоритма расчета параметров этого процесса и исследования прочностных характеристик индукторных систем"*, но актуальность работы почему-то обозначена только как *"теоретическое и экспериментальное обоснование новой конструкции индукторных систем и разработка новых приспособлений"*, которые являются только технологическим оснащением усовершенствованного технологического процесса.

2. Как предмет исследования заявлено *"установление зависимости прочности индукторной системы от геометрических параметров и свойств материалов токопроводов и межвитковой изоляции в процессе деформирования методом МИОМ"*. Но из такой формулировки можно сделать вывод, что речь идет о *"прочности индукторной системы"* - *"в процессе ее деформирования методом МИОМ"*. Очевидно, пропущено слово "заготовок".

3. Была применена методика оптимального планирования экспериментов на этапе численного моделирования процессов, что позволило уменьшить их число и длительность расчетов. Но отсутствует проверка адекватности полученной вторичной модели (уравнения регрессии) при сравнении с результатами натурных экспериментов, например по величине давления на спираль индуктора исходя из измеренной напряженности импульсного магнитного поля в зазоре "индуктор- заготовка".

Указанная на с. 65 величина критерия Фишера (для оценки адекватности модели) получена только по результатам численного моделирования процесса нагружения индукторной системы. Не проведена оценка значимости коэффициентов полученной математической модели.

4. На рисунках 4.4 – 4.7 представлены результаты моделирования процесса для индукторной системы с медным токопроводом (распределение магнитного поля, механического напряжения, плотности тока, температуры заготовки). Но в тексте отсутствует анализ информации, полученной из представленных рисунков, и нет выводов которые по ним можно сделать.

Указанное ниже *"Анализ с помощью LS-DYNA показал правильность аналитических расчетов"* непонятно, т.к. аналитически рассчитаны одни параметры процесса и индуктора (в таблицах 4.1 – 4.5), а на рис. 4.4 – 4.7 представлены совсем другие параметры?

5. На рисунке 4.11 показана поверхность детали "Корпус", полученная после операции МИОМ. Но в работе никаких конкретных требований к поверхности детали не приведено, а из рисунка нельзя сделать никакого вывода. Непонятно – зачем он?

6. Формула (2.36) и связанный с ней текст (с. 53) во 2-й главе повторяет формулу (1.12) и текст (с. 30) 1-й главы.

Вышесказанные замечания не затрагивают существа и не ставят под сомнение значимость выполненных исследований и сделанных выводов, а также квалификацию исполнителя.

7. Соответствие автореферата основному содержанию диссертации.

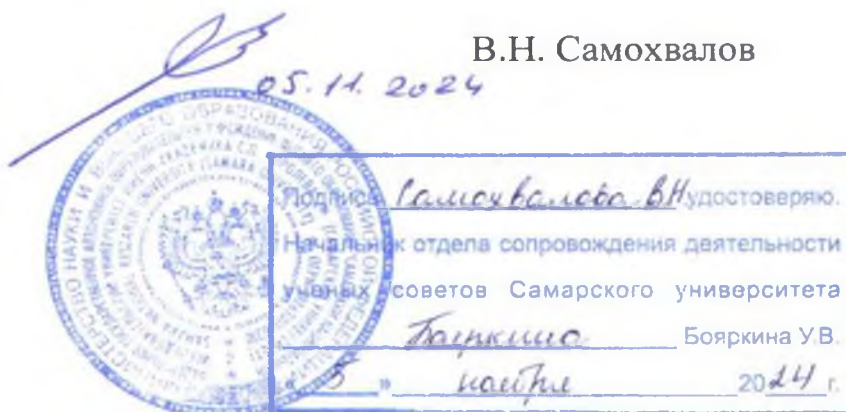
Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертационной работы.

8. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация Зверева Ивана Вячеславовича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи повышения эффективности технологических процессов магнитно-импульсной обработки тонкостенных полых осесимметричных заготовок в условиях серийного производства путем совершенствования алгоритма расчета параметров процесса, повышения прочностных характеристик и снижения стоимости изготовления индукторных систем, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции 25.01.2024) предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент – профессор кафедры производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», д-р техн. наук профессор

В.Н. Самохвалов



ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОПОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Мамутова Вячеслава Сабайдиновича
на диссертационную работу Зверева Ивана Вячеславовича на тему:
«Совершенствование технологических операций магнитно-импульсной обработки по схеме
«обжим» тонкостенных полых осесимметричных заготовок в условиях серийного
производства», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением

Актуальность работы. Магнитно-импульсная штамповка является одним из универсальных, эффективных и конкурентоспособных методов листовой штамповки в условиях современных машиностроительных предприятий, в том числе военно-промышленного комплекса (ВПК). Хорошая управляемость процессом, высокая точность дозирования энергии, экологичность, высокая культура производства обеспечивают перспективы развития данной технологии. Основные проблемы, которые необходимо решить для более эффективного промышленного использования магнитно-импульсной штамповки, связаны со стойкостью индукторных систем и недостаточным количеством научно обоснованных методик проектирования индукторных систем и оптимальных технологий для формообразующих и сборочных операций, в частности для трубчатых заготовок. В настоящее время применение данной технологии в России ограничивается единичным и мелкосерийным производством. Поэтому диссертационная работа Зверева И. В., посвященная разработке теории и методов комплексного проектирования технологических процессов, технологической оснастки и оборудования для магнитно-импульсной штамповки тонкостенных полых осесимметричных заготовок в условиях серийного производства, представляется актуальной. Актуальность работы подтверждена также тем, что автор работы лауреат ряда престижных научных премий, связанных с научными исследованиями, представленными в диссертационной работе.

Диссертационная работа Зверева И. В. направлена на решение важной технической задачи, связанной с повышением эффективности операций магнитно-импульсной штамповки тонкостенных полых осесимметричных заготовок в условиях серийного производства путем научно обоснованного проектирования инструмента и управления параметрами разрядного контура.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения и четырех разделов, заключения, общих выводов по работе, списка использованных источников из 140

наименований, приложений и включает 121 страницу машинописного текста, содержит 55 рисунков и 10 таблиц. Общий объем – 126 страниц.

Целью работы является повышение эффективности технологических процессов обработки тонкостенных полых осесимметричных заготовок методом магнитно-импульсной обработки металлов (МИОМ) в условиях серийного производства путем совершенствования алгоритма расчета параметров обработки и теоретического исследования прочностных характеристик индукторных систем на «обжим», а также использования новых технических и технологических решений, снижающих себестоимость и повышающих точность изготавливаемых изделий. Для достижения поставленной цели были поставлены **задачи исследования**, заключающиеся в разработке научно обоснованной методики расчета параметров процесса МИОМ; исследовании влияния основных параметров на прочность индукторных систем; выработке рекомендаций по изготовлению и эксплуатации индукторных систем на «обжим» в условиях серийного производства.

Научная новизна. Установлено влияние на прочность индукторной системы на «обжим» с осевым закреплением без внешнего бандажа его геометрических параметров и механических характеристик материала токопровода и межвитковой изоляции, выявлена зона опасного сечения, в которой возможно разрушение токопровода вследствие максимальных механических напряжений, возникающих при разряде, что позволяет уточнить расчёт сечения витков токопровода.

Практическая ценность: разработана конструкция индукторных систем с токопроводом сварного типа на «обжим» (внедрены на серийном производстве ПАО «Императорский Тульский оружейный завод»); разработаны конструкции оснастки для выполнения операции «обжим» с использованием сборных оправок, для повышения качества изготовления полых осесимметричных деталей в условиях серийного производства; создано программное обеспечение по расчету технологических параметров процессов МИОМ (необходимое количество витков индуктора, собственные сопротивления и индуктивности индуктора и заготовки, энергии разряда); результаты исследований были использованы для разработки новых технологических процессов изготовления деталей «Корпус» и «Обтюратор», внедренных на серийном производстве ПАО «Императорский Тульский оружейный завод»; методики расчета параметров МИОМ и прочностных расчетов токопровода индукторных систем на «обжим» внедрены в производство на предприятии АО «Тулаточмаш»; результаты исследований использованы в учебном процессе.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулирована научная новизна, практическая значимость полученных результатов, выносимых на защиту.

Первая глава носит обзорный характер и посвящена состоянию вопросов, связанных с технологическими процессами МИОМ. Сделан анализ работ отечественных и зарубежных ученых, показано современное состояние отрасли МИОМ. Выполнен обзор возможностей современных магнитно-импульсных установок, приведена классификация деталей, которые возможно производить данным методом. Большое внимание уделено индукторным системам и возможностям их применения в условиях серийного производства. Выполнен обзор работ, где рассматривается увеличение ресурса индукторных систем. Отмечено отсутствие научно обоснованных рекомендаций по геометрии спирали индукторов, работающих по схеме «обжим» без применения внешнего бандажа. Проанализированы методики расчета основных параметров обработки МИОМ. При этом показана сложность известных аналитических расчетов технологий и индукторных систем. Тем самым обоснована необходимость компьютерного моделирования. Рассмотрены основные численные методы решения поставленных задач и возможности использования результатов для проверки корректности инженерных расчетов параметров МИОМ. Сформулирована цель работы, поставлены задачи диссертационного исследования.

В целом автор в данной главе достаточно полно и глубоко проанализировал основные литературные источники, касающиеся темы диссертационной работы.

Во второй главе описана разработка алгоритма инженерных расчетов параметров МИОМ. Основываясь, по сути, на упрощенной методике Попова Ю. А., разработанной им до 1970 г., автор определяет необходимую энергию штамповки через максимальное давление, эквивалентный зазор между индуктором и заготовкой, площадь рабочей поверхности индуктора, пользуясь системой полуэмпирических коэффициентов K_1, K_2, K_3, K_4 . При этом приближенно определяются добротности контура заготовки и добротности контура системы «индуктор-заготовка». При определении индуктивностей и сопротивлений не учитывается нестационарность диффузии магнитного поля и переменность по времени скин слоя магнитного потока. Определяются также параметры разрядного тока и энергия заряда конденсаторной батареи.

Автор сумел хорошо разобраться в сложном физико-механическом процессе и после создания усовершенствованной расчетной методики получил зависимости в удобном и доступном для практического применения в заводских условиях виде.

В третьей главе приведены результаты компьютерного моделирования токопровода индукторной системы на «обжим» в условиях МИОМ. При этом на внутренней поверхности токопровода индуктора задавалось давление по приближенному треугольному закону, с параметрами, полученными в предыдущей главе. Задача решалась с помощью конечно-элементного (КЭ) комплекса ANSYS-LS-DYNA. Выполнен численный эксперимент по влиянию внутреннего диаметра индуктора, предела текучести материала и момента сопротивления сечения витка индуктора на максимальное давление на индуктор. Остальные факторы и параметры при

расчетах и моделировании принимались как условия опыта и при проведении вычислительного эксперимента не изменялись. Был реализован полный факторный эксперимент с учетом центральной точки плана. В результате обработки машинных данных получена эмпирическая модель зависимости максимального давления на токопровод индуктора без перехода материала из упругого в пластическое состояние при условии сохранности изоляции от трех указанных выше варьируемых параметров. В качестве уравнения регрессии выбран полином второй степени. Сделан анализ степени влияния отдельных параметров на параметр отклика. Результаты также наглядно иллюстрированы набором трехмерных графических поверхностей. На основе компьютерных экспериментов выявлено влияние на прочность токопровода индукторной системы закрепления и межвитковой изоляции. Показано, что опасная зона, где достигаются максимальные напряжения, находится на внутренней поверхности второго или предпоследнего витков, что важно для практического проектирования индукторных систем.

Полученные автором результаты компьютерного моделирования токопровода индукторной системы могут в будущем стать основой разработки соответствующих РТМ по проектированию индукторов.

В четвертой главе представлены результаты разработанных и внедренных на ПАО «Императорский Тульский оружейный завод» технологических процессов изготовления деталей «Корпус» и «Обтюратор», разработанные приспособления для МИОМ. Дано описание заводского участка МИОМ и представлены основные параметры магнитно-импульсной установки. Показаны конструкции разработанных автором индукторных систем и штамповочной оснастки. При определении технологических режимов использованы полученные научно обоснованные рекомендации. Описаны особенности и показаны реальные заводские детали, полученные автором, что подтверждает корректность расчетных методик. Следует отметить, что конструкции индукторов и технологической оснастки защищены патентами РФ на изобретения. Применение КЭ комплекса ANSYS-LS-DYNA с электромагнитным модулем позволило автору подтвердить корректность полученных ранее научных результатов. При этом было бы целесообразно учесть упругие и электрические свойства материала матрицы.

Особо следует отметить высокий уровень компьютерной подготовки соискателя, который для расчета реальных заводских процессов использует эффективный КЭ комплекс ANSYS-LS-DYNA с электромагнитным модулем.

В выводах работы подведены основные результаты исследования.

Диссертация Зверева И. В. обладает внутренним единством, соответствует требованиям к оформлению диссертаций, содержит новые научные результаты и положения, полученные лично автором. Достоверность и обоснованность научных результатов обеспечены корректностью постановки задач, обоснованном использованием теоретических зависимостей, использованием

современных методов компьютерного моделирования, применением в экспериментах современной измерительной техники, а также практическим использованием результатов на предприятиях военно-промышленного комплекса. Содержание автореферата соответствует содержанию самой диссертационной работы. Публикации также полностью соответствуют представленным исследованиям.

Замечания по диссертации.

1. Коэффициенты динамичности кривой деформационного упрочнения, приведенные в табл. 2.1 для меди и алюминиевых сплавов из работы “Post R.H. Guest Appearance on / R.H. Post // Science in Action, KQED [Journal]. - San Francisco: [б.н.]. April, 1958 г.» кажутся завышенными. Наши исследования, сделанные дублированием испытаний методом раздачи кольцевых образцов и поперечным ударом (Вагин В.А., Здор Г.Н., Мамутов В.С. Методы исследования высокоскоростного деформирования металлов. Минск: Наука и техника, 1990) дали результаты более чем в 1.5 раза ниже.

2. Процесс МИОМ – импульсный, и следовало бы дать оценку точности расчета скорости и перемещения заготовки (2.8...2.11), исходя из инерционности заготовки (ρ , s) и частоты разрядного тока, а не только по величине h (2.12).

3. Раздел 3. «В разделе Model с помощью функции Pressure задается давление ... по треугольному закону.» Непонятно, почему нельзя было задать точнее по закону квадратной синусоиды, как в формуле (2.7).

4. Раздел 3. Не понятно какие задавались в расчете модель и параметры для изоляции из текстолита ПТК.

5. Судя по аperiodической форме импульса тока и наводкам в начале (рис. 4.10) посчитать период разрядного тока и его частоту с точностью 3% проблематично.

Мелкие замечания по терминологии, которые бросились в глаза:

«Unigraphics» вместо «NX», с.35;

«делительный коэффициент петли Роговского» вместо «делительный коэффициент пояса Роговского», с. 84;

«со встроенным редактором LS-DYNA» вместо «с решателем (или процессором) LS-DYNA», с. 38;

«редакторе КОМПАС-3D» вместо «графической системе трехмерного проектирования КОМПАС-3D», с. 64.

Несмотря на указанные недостатки, диссертационная работа является значительным вкладом в развитие теории и технологии МИОМ. Диссертационная работа Зверева Ивана Вячеславовича «Совершенствование технологических операций магнитно-импульсной обработки по схеме «обжим» тонкостенных полых осесимметричных заготовок в условиях серийного

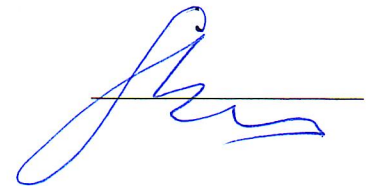
производства» является законченной научно-квалификационной работой, имеющей научное и практическое значение. Представленное диссертационное исследование полностью соответствует требованиям ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Зверев Иван Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.7. «Технологии и машины обработки давлением».

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор, профессор «Высшей школы машиностроения», института машиностроения, металловедения и транспорта федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Вячеслав Сабайдинович Мамутов

Дата: 12.11.2024 г.



Ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, 195251,

E-mail: mamutov_vs@spbstu.ru,

Тел.: 812-5529302.

Выражаю согласие на включение своих персональных данных в аттестационные документы соискателя ученой степени кандидата технических наук Зверева Ивана Вячеславовича и их дальнейшую обработку.

Подпись	<u>Мамутова В.С.</u>
УДОСТОВЕРЯЮ	
Ведущий специалист	<u>Мамутов</u>
по кадрам	<u>Сабайдинович</u>
«12» 11 2024 г.	

