




Утверждаю
директор по перспективному
исследованию ФГБОУ ВО БГТУ
И.И.И., профессор


А.В. Киричек
3 июля 2024г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»
на диссертацию Ненахова Николая Николаевича
«Технология комбинированного электромагнитного импульсного
восстановления эксплуатационных характеристик высоконагруженных
изделий», представленную на соискание учёной степени кандидата
технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование
механической и физико-технической обработки»

Актуальность темы диссертационной работы

Одним из факторов работоспособности изделий, работающих в условиях больших перепадов давлений и температур (тепловые двигатели), является наличие остаточных напряжений в структуре материала, величина и характер которых зависит от метода изготовления заготовок, видов термообработки, методов и режимов обработки деталей и др. Для снятия напряжений используют комбинированные методы обработки, включающие импульсные механические, химические, тепловые воздействия. В серийном производстве для этих целей наиболее применяют отпуск, отжиг и другие термические операции, требующие применения сложного и дорогостоящего оборудования.

В условиях опытных производств, характерных для авиакосмической отрасли машиностроения, эффективным является применение технологических операций, устраняющих остаточные напряжения в изделиях и отличающиеся низкой себестоимостью и малой трудоёмкостью. Одним из таких методов является магнитно-импульсный процесс воздействия на поверхностные слои заготовок. Применение технологических методов магнитно-импульсных воздействий не всегда является эффективным для изделий с большими значениями остаточных напряжений, нередко превышающих предел прочности изделия.

Нанесение различных видов покрытий на поверхности деталей также влияет на величину остаточных напряжений, которые распределяются неравномерно по глубине, включая покрытие и поверхность напряжённого участка заготовки. Поэтому перспективным является применение аддитивных технологий нанесения покрытий в совокупности с магнитно-импульсными воздействиями. В таком случае объектом исследования является граница действия по глубине остаточного напряжения от действия импульса без наращивания

слоёв детали. Эта область проектирования технологий практически не исследована, и работы в этом направлении актуальны для машиностроения и востребованы для изделий авиакосмической промышленности, транспортного машиностроения, станкостроения и других отраслей.

Таким образом, актуальность темы диссертационной работы определяется необходимостью создания комбинированных технологий послойного выравнивания остаточных напряжений в изделиях с применением электромагнитных импульсных воздействий.

Актуальность работы подтверждается тем, что она выполнялась в рамках федеральной космической программы РФ на 2016 – 2025 г, утверждённой постановлением Правительства РФ № 1513 от 09.12.2017 г.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация Ненахова Николая Николаевича состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 130 наименований, 3 приложения. Диссертация выполнена на 124 страницах, содержит 30 рисунка, 3 таблицы.

Во введении обоснована актуальность работы, указана степень разработанности темы, определены цели и задачи диссертационной работы, объект и предмет исследований, отмечены научная новизна, практическая значимость работы, указаны методы исследований, положения, выносимые на защиту, соответствие диссертации паспорту научной специальности, степень достоверности результатов, представлены сведения об апробации работы, публикациях автора, структуре и объёме работы.

В первой главе диссертации представлен анализ отечественных и зарубежных публикаций и опыта применения технологий с использованием электромагнитных воздействий, позволяющих снижать внутренние остаточные напряжения поверхностных слоёв обрабатываемых изделий. Предложено применять комбинированные технологические процессы на основе магнитно-импульсной обработки поверхностей изделий для управления формированием остаточных напряжений. Определены цель и задачи исследования.

Во второй главе рассмотрены технологические методы и пути решения поставленных задач для достижения цели работы. Дано описание объекта и предмета исследования. Сформулированы научные гипотезы, позволяющие обосновать разработку комбинированных технологических методов на основе применения электромагнитных воздействий. Представлены технологические схемы операций сборки шаровых баллонов. Предложен алгоритм проведения научных исследований, позволяющих спроектировать типовые комбинированные техпроцессы с управляемыми электромагнитными воздействиями для восстановления эксплуатационных характеристик высоконагруженных изделий.

В третьей главе рассматривается механизм протекания и управления процессом комбинированного электромагнитного импульсного восстановления эксплуатационных характеристик высоконагруженных изделий. Предло-

жена физическая модель процесса, определяющая возможности управления электромагнитными воздействиями в индукторе. Рассмотрен механизм влияния магнитно-импульсных воздействий на остаточные напряжения в материале изделий. Представлена методика расчета параметров магнитно-импульсной установки, а также результаты исследования влияния режимов магнитно-импульсной обработки на изменение остаточных напряжений.

В четвертой главе рассматривается методология проектирования технологического процесса магнитно-импульсной обработки заготовок и математическое моделирование для расчета режимов обработки и изготовления оригинальных узлов оборудования. Представлен алгоритм расчёта параметров комбинированных технологических процессов на основе магнитно-импульсных воздействий на обрабатываемое изделие.

В пятой главе представлен обзор перспектив применения результатов исследования комбинированных методов на основе электромагнитных воздействий на обрабатываемые изделия с целью управления остаточными напряжениями. Предложено описание метода комбинированной обработки изделий с узкой горловиной (баллоны) на основе применения импульсных механических и электромагнитных воздействий (электроабразивная обработка) с возвратно-поступательными перемещениями электрода-инструмента. Дано описание технологии подготовки поверхности деталей под нанесение в электромагнитном поле теплозащитных покрытий из минералокерамических гранул с токопроводящей связкой.

В заключении представлены выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований диссертационной работы.

В приложении представлен акт внедрения результатов научно-исследовательской работы по электромагнитной импульсной стабилизации геометрии сварных конструкций корпусных деталей оборудования и технологической оснастки в ООО «ПФК «ВСЗ-Холдинг».

Таким образом, анализ содержания диссертации позволяет судить о завершенности и полноте проведенных исследований, достоверности и обоснованности полученных выводов.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Представленные в работе результаты исследований позволили обосновать возможности и расширить области применения комбинированных методов обработки на основе применения электромагнитных импульсных воздействий для снижения остаточных напряжений в материале поверхностных слоёв высоконагруженных изделий (баллонов). Применение предложенных технологий позволяет исключить из производственных процессов использование термических операций и сложного энергозатратного оборудования и снять ограничения по размерам обрабатываемых изделий, расширить зону эффективного использования комбинированных методов обработки. В работе научно обоснованы новые закономерности комбинированного воздействия

импульсного электромагнитного поля на динамику перераспределения остаточных напряжений и снижение деформаций при управляемых внешних воздействиях.

Научная новизна результатов работы определяется:

1) установлением закономерностей взаимного комбинированного импульсного электромагнитного воздействия на крупногабаритные напряженные изделия для выравнивания поверхностных и внутренних напряжений и исключения деформации;

2) предложенным описанием процессов взаимодействия накладываемых импульсов на распределение внутренних напряжений, вызывающих деформацию и разрушение крупногабаритных деталей.

Практическая значимость полученных результатов определяется методикой проектирования и применения комбинированных технологических процессов и средств технологического оснащения с управляемым воздействием на объект обработки импульсного электромагнитного поля и обеспечение заданного качества и уровня работоспособности силовых крупногабаритных деталей.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Теоретические и прикладные исследования комбинированных технологий с применением электромагнитных импульсных воздействий выполнялись с применением аттестованной научной, в том числе вычислительной, базы, а также оригинальной, разработанной автором по собственным патентам, экспериментальной и опытно-промышленной техники при многократном (не ниже критерия оценки по Стьюденту) дублировании результатов.

Оценка достоверности проводилась по степени сходимости с исследованиями других ученых, а также данными о производстве объектов при запуске изделий в серийное производство.

Основные положения диссертационного исследования изложены в 14 научных работах, в том числе 4 работы опубликовано в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, 3 работы опубликованы в изданиях, индексируемых в международных библиографических базах Scopus, 2 патента РФ, 4 публикации в научных сборниках и материалах конференций, издана коллективная монография.

Выводы в заключении диссертационной работы в достаточной степени обоснованы, соответствуют поставленным задачам и целям работы.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки

Значимость для науки результатов диссертационного исследования заключается в том, что разработаны и научно обоснованы новые закономерности комбинированного воздействия импульсного электромагнитного поля на

динамику перераспределения остаточных напряжений и снижение деформаций при управляемых внешних воздействиях.

Разработана оригинальная теория управления качеством изделий различными технологическими воздействиями с использованием электромагнитных полей, что позволило снять ограничения по размерам обрабатываемых изделий и расширить зону эффективного использования комбинированных методов обработки.

Представлена новая трактовка термина «аддитивные технологии», в котором вместо понятия «аддитивное изготовление деталей путём наращивания слоёв» используется «изменение размеров и (или) физических свойств изделий, определяющих эксплуатационные свойства объектов», что, в свою очередь, позволяет отнести к аддитивным технологиям комбинированные методы обработки с использованием механических, тепловых, химических, лучевых и других воздействий.

Для достижения поставленной цели соискатель провел теоретические и прикладные исследования, правомерность которых подтверждена экспериментально и доказана в процессе внедрения результатов в Воронежском центре жидкостных ракетных двигателей и на Воронежском станкостроительном заводе «Холдинг» с реальным экономическим эффектом. Основные положения теоретических и прикладных разработок переданы для использования с поставляемым оборудованием в КНР.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Считаем целесообразным использование полученных теоретических результатов и практических рекомендаций на предприятиях-изготовителях и ремонтных предприятиях на этапе технологической подготовки производства. Разработанные комбинированные технологии на основе электромагнитных импульсных воздействий на обрабатываемые изделия позволяют снизить остаточные напряжения в поверхностных слоях заготовок, что, в свою очередь, повышает ресурс изделий в 4...5 раз.

Замечания по диссертационной работе

Наряду с общей положительной оценкой диссертационной работы необходимо отметить некоторые недостатки.

1. Экспериментальные исследования проводились на магнитно-импульсных установках, которые можно охарактеризовать как морально устаревшие, несмотря на отмеченную в работе возможность их модернизации. Таким образом, сложно утверждать, что исследования обеспечили высокую достоверность полученных результатов. Применение современного оборудования позволило бы расширить область использования полученных результатов.

2. Не представлено технико-экономическое обоснование замены применяемых термических методов снятия остаточных напряжений в заготовках

на технологию с использованием электромагнитных импульсных воздействий.

3. Из материалов главы 3 (раздел 3.2) трудно понять, можно ли использовать для расчёта параметров импульсов постоянную времени в условиях предшествующего затухающего кратковременного импульса, представленного на рис. 3.3. Очевидно, что часть энергии затухающего импульса будет накладываться на последующие импульсы, что будет нарушать количественные показатели процесса и расчётные режимы протекания процесса.

4. Из главы 3 не ясно, как плотности электромагнитных сил (3.14), (3.15) влияют на изменение остаточных напряжений в изделии, что не позволяет оценить возможность управления процессом обработки.

5. В работе не представлены технологические рекомендации по применению предлагаемых комбинированных технологий с использованием электромагнитных импульсных воздействий на обрабатываемые изделия. Представленный в работе алгоритм построения комбинированного технологического процесса с импульсным воздействием (рис. 4.1 диссертации) требует дополнительных пояснений.

Перечисленные недостатки не умаляют достоинств, научной и практической ценности рассматриваемой диссертационной работы.

Соответствие диссертации и автореферата паспорту научной специальности

Содержание диссертации и автореферата соответствует областям исследований паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» по п. 2 «Теоретические основы, моделирование и методы экспериментального исследования процессов механической и физико-технической обработки, включая процессы комбинированной обработки с наложением различных физических, химических и комбинированных воздействий»; п. 4 «Создание, включая проектирование, расчеты и оптимизацию, параметров рабочего инструмента и других компонентов оборудования, обеспечивающих технически и экономически эффективные процессы обработки»; п. 7 «Новые технологические процессы механической и физико-технической обработки и создание оборудования и инструментов для их реализации».

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

Диссертационная работа Ненахова Николая Николаевича «Технология комбинированного электромагнитного импульсного восстановления эксплуатационных характеристик высоконагруженных изделий» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой выполнены теоретические и прикладные исследования по обоснованию возможностей и расширению области использования комбинированных технологий обработки изделий на

основе применения электромагнитных импульсных воздействий с целью снятия остаточных напряжений. Полученные результаты имеют существенное значение для развития машиностроительных отраслей.

Выводы и рекомендации обоснованы теоретически и экспериментально, опубликованы в рецензируемых научных изданиях, прошли необходимую апробацию на профильных конференциях и семинарах.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

Таким образом, диссертация Ненахова Николая Николаевича «Технология комбинированного электромагнитного импульсного восстановления эксплуатационных характеристик высоконагруженных изделий» соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Отзыв составлен на основании заключения, принятого на совместном расширенном заседании кафедр «Технология машиностроения» и «Металлорежущие станки и инструменты» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», состоявшегося «28» июня 2024 г, протокол № 1 при участии 8 докторов технических наук (в т.ч. 4 - по специальности 2.5.5 и 4 - по специальности 2.5.6).

Заведующий кафедрой «Технология машиностроения»
к.т.н. (05.02.08), доцент Польский Евгений Александрович

Заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»
к.т.н. (05.02.08 и 05.02.04), доцент Щербаков Андрей Николаевич

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет».

Почтовый адрес: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, дом 7.

Телефон: +7(4832) 58-83-32; +7(4832) 58-82-20

E-mail: rector@tu-bryansk.ru; tm-bgtu@yandex.ru

Оф. сайт: <http://www.tu-bryansk.ru>

