

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента Бреки Александра Джалюльевича на диссертацию Ефимовой Марии Владимировны на тему: «Технологическое обеспечение качества поверхности сопрягаемых изделий из алюминиевых сплавов для летательных аппаратов на основе магнитно-абразивной обработки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. Технология машиностроения.

1. Актуальность темы диссертации

Проблема повышения усталостной долговечности заклепочных соединений, широко применяемых в авиастроении, напрямую связана с качеством обработки поверхностей сопрягаемых деталей из алюминиевых сплавов. Традиционные методы финишной обработки либо недостаточно производительны, либо не обеспечивают требуемого микрорельефа, способствующего равномерному распределению контактных напряжений. Ефимова Мария Владимировна предлагает использование магнитно-абразивной обработки (МАО) с оригинальной двухконтурной схемой, что позволяет решать технологическую задачу повышения опорной способности поверхности. В условиях импортозамещения и модернизации авиационного производства тема работы является безусловно актуальной.

2. Научная новизна диссертации

Работа обладает научной новизной, которая заключается в следующем:

1. Выявлены количественные зависимости, описывающие, как технологические параметры двухконтурной магнитно-абразивной обработки (а именно: величина магнитной индукции, скорость вращения детали и продолжительность обработки) влияют на формирование качества поверхностного слоя в зоне заклёпочного соединения деталей из алюминиевых сплавов.

2. Установлены интервалы значений параметров качества поверхностного слоя, определяющие плотность контакта между сопрягаемыми деталями из алюминиевых сплавов и опорной головкой заклёпочного соединения.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-136 от 04.06.26
АУ УС

3. Степень обоснованности и достоверности научных результатов

Диссертация имеет чёткую, логически выстроенную структуру. В первой главе проведён глубокий анализ современного состояния проблемы обеспечения качества неразъёмных соединений летательных аппаратов, что позволило автору корректно сформулировать цель и задачи исследования. Теоретическая часть работы включает обоснованный выбор ферроабразивного порошка и смазочно-охлаждающей жидкости, а также моделирование распределения магнитной индукции в рабочей зоне с использованием программной среды ANSYS, что подтверждается достаточным объёмом математического планирования эксперимента. Экспериментальные исследования проведены на сертифицированном оборудовании (фрезерный станок с ЧПУ Emco Concept Mill 250, профилометр Mitutoyo Surftest SJ-210, инвертированный микроскоп Leica DM ILM HC, сканирующий нанотвердомер Nanoscan 4D+), что обеспечивает достоверность полученных результатов.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 9 печатных работах, в том числе в 3 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Основные положения и выводы по работе прошли апробацию на 5 научно-практических мероприятиях, в том числе на 2 международных.

4. Научные результаты, их ценность

Научная ценность диссертационной работы определяется совокупностью полученных автором результатов. В первую очередь это установленные количественные закономерности влияния режимных факторов двухконтурной магнитно-абразивной обработки (магнитной индукции в первом и втором контурах, частоты вращения обрабатываемой детали, продолжительности обработки и расстояния между контурами) на формирование шероховатости и упрочнение поверхностного слоя алюминиевых сплавов. Полученные регрессионные зависимости расширяют научные представления о механизме магнитно-абразивного микрорезания применительно к немагнитным материалам и позволяют прогнозировать качество поверхности без дополнительных экспериментальных исследований. Далее, автором теоретически обоснована и экспериментально

подтверждена эффективность разработанного способа, заключающаяся в возможности ведения черновой и чистовой стадий обработки в одном технологическом переходе за счёт независимого регулирования магнитной индукции в каждом из контуров, что подтверждено патентом на изобретение. Важным результатом является выявленная взаимосвязь между характеристиками микрорельефа поверхности (R_a , R_{sm} , R_{mr}) и качеством контакта в заклёпочном соединении: показано, что предложенная технология обеспечивает повышение относительной опорной длины профиля R_{mr} с 70% до 89%, что способствует увеличению плотности контакта и более равномерному распределению напряжений в зоне соединения. На основе моделирования распределения магнитного поля в программной среде ANSYS определены рациональные конструктивные параметры установки для двухконтурной обработки, включая оптимальное расстояние между контурами (70...75 мм), при котором минимизируется взаимное влияние магнитных полей, а также обоснованные значения магнитной индукции и частоты вращения, позволяющие достичь шероховатости $R_a = 0,2...0,3$ мкм. Перечисленные научные результаты имеют существенное значение для развития технологии машиностроения в части финишных методов обработки неметаллических и слабомагнитных материалов и могут служить основой для дальнейшего совершенствования технологических процессов подготовки поверхностей перед сборкой неразъёмных соединений в авиастроении.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

В ходе выполнения диссертационной работы автором установлены математические зависимости, описывающие влияние значений магнитной индукции, частоты вращения обрабатываемого образца и времени обработки при проведении магнитно-абразивной обработки поверхностей сопрягаемых изделий из алюминиевых сплавов для летательных аппаратов, позволяющие оценить степень воздействия режимных факторов на показатели шероховатости поверхности.

На основании экспериментальных исследований разработан способ магнитно-абразивной обработки (патент на изобретение RU2800274C1), включающий одновременную двухконтурную обработку поверхностей деталей, при которой благодаря первому контуру из трёхполюсных наконечников осуществляется черновая обработка при рабочем зазоре 2–3 мм, а второй контур при зазоре 4–5 мм позволяет произвести чистовую обработку и достичь значений шероховатости в диапазоне R_a от 0,2 до 0,3 мкм.

Определены рациональные режимные параметры магнитно-абразивной обработки поверхностей зоны заклёпочного соединения сопрягаемых изделий из алюминиевых сплавов, позволяющие обеспечить увеличение относительной опорной длины профиля R_{mr} с 70 до 89 %.

Результаты диссертационной работы прошли апробацию на предприятии АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт воздушного транспорта «Ленаэропроект», что подтверждено актом от 26.11.2025 г.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертационного исследования Ефимовой Марии Владимировны целесообразно использовать в следующих направлениях:

1. В производственной деятельности предприятий авиастроительной отрасли – при разработке технологических процессов финишной обработки кромок листовых деталей из алюминиевых сплавов перед сборкой заклёпочных соединений. Предложенный способ двухконтурной магнитно-абразивной обработки может быть внедрён на участках механосборочного производства взамен ручного полирования или шлифования.

2. При проектировании специализированного оборудования – полученные в работе зависимости (магнитная индукция, частота вращения, расстояние между контурами) могут служить основой для создания промышленных установок МАО, в том числе встраиваемых в автоматизированные линии.

3. В технологической подготовке производства – математические модели, связывающие параметры режима обработки с шероховатостью R_a , позволяют технологам назначать рациональные режимы без проведения дополнительных экспериментальных исследований.

4. В учебном процессе технических университетов – материалы диссертации могут быть использованы при чтении курсов «Технология машиностроения», «Физико-химические методы обработки», «Технологическая оснастка», а также при курсовом и дипломном проектировании для студентов направления «Машиностроение».

5. При проведении дальнейших исследований – рекомендуется распространить предложенный метод на другие материалы авиационного назначения (алюминий-литиевые сплавы, титановые сплавы), а также изучить возможность использования МАО для обработки поверхностей отверстий под крепёж.

7. Замечания и вопросы по работе

1. Отсутствие оценки влияния МАО на коэффициент трения в зоне контакта «лист–лист». В работе основное внимание уделено геометрическим параметрам микрорельефа (R_a , R_{sm} , R_{mr}). Однако для заклёпочного соединения важны также трибологические характеристики: коэффициент трения в пакете листов, склонность к фреттинг-коррозии, сопротивление микроперемещениям. Автор не приводит экспериментальных данных по изменению коэффициента трения после магнитно-абразивной обработки. Рекомендовано было бы сопоставить его значения для исходной поверхности, обработанной по базовой технологии, и после МАО.

2. Не рассмотрен вопрос об износе ферроабразивного инструмента и его влиянии на трибологические свойства обработанной поверхности. В процессе МАО абразивные частицы изнашиваются, их режущая способность меняется. Автор не приводит данных о том, как изменяется микрорельеф (распределение высот, радиусы вершин неровностей) по мере наработки порошка. Между тем, радиус скругления вершин микровыступов непосредственно влияет на коэффициент трения при последующей сборке соединения.

3. Не исследовано, эффективно ли магнитное поле удаляет ферромагнитные частицы от поверхности детали, или, наоборот, способствует их закреплению в микроуглублениях. Это важно для обеспечения чистоты поверхности перед клепкой.

4. В экспериментальной части отсутствуют сведения о погрешности используемых измерительных приборов (профилометр Mitutoyo SurfTest, микроскоп Leica, нанотвердомер). Хотя сам факт применения сертифицированного оборудования гарантирует достоверность, указание конкретных значений погрешности повысило бы научную строгость работы.

5. В тексте диссертации встречаются разночтения в обозначении единиц измерения: например, в одном месте указано «об/мин», в другом — «мин⁻¹», что нарушает единообразие оформления технической документации.

8. Заключение

Отмеченные недостатки не влияют на общую высокую оценку научной и практической значимости работы. Диссертация выполнена автором самостоятельно и является завершённым научным трудом. В ходе исследования получено и обосновано новое технологическое решение проблемы обеспечения качества поверхности сопрягаемых алюминиевых

