

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОПШОНЕНТА

кандидата технических наук, доцента Помпеева Кирилла Павловича

на диссертацию Максимова Дмитрия Дмитриевича

на тему: «Технологическое обеспечение и повышение качества сложнопрофильных поверхностей из алюминиевого сплава марки АМц», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. – Технология машиностроения

### 1. Актуальность темы диссертации

Диссертация соискателя посвящена вопросу технологического обеспечения и повышения качества сложнопрофильных поверхностей из алюминиевого сплава марки АМц. Известно, что при лезвийной обработке алюминиевых сплавов и алюминия на передней поверхности режущего инструмента образуется нарост, имеющий твердость выше, чем у материала обрабатываемой заготовки. С определенной периодичностью нарост срывается с передней поверхности режущего инструмента и внедряется в обрабатываемую поверхность. При шлифовании алюминия и алюминиевых сплавов возникает шаржирование, возможно образование прижогов. Как лезвийная, так и абразивная обработка алюминиевых сплавов характеризуются высокими температурами в зоне обработки (до 350-400°C) с учетом применения смазочно-охлаждающей жидкости. Указанные факторы негативно влияют на качество обработанной поверхности, связанное с получением ее неравномерной шероховатости, а также приводят к появлению поверхностных дефектов.

Элегазовые трансформаторы имеют ряд деталей со сложнопрофильными поверхностями, изготовленными из алюминиевых сплавов марок АМц, АМцМ, АМцН. Так, например, корпус элегазового трансформатора имеет сложнопрофильную поверхность с радиусами скругления 5 мм и 15 мм, требованиями к шероховатости по параметру  $R_a = 0,8$  мкм. На данный момент обеспечение качества сложнопрофильной поверхности корпуса элегазового трансформатора осуществляется вручную, что значительно повышает трудоемкость и себестоимость изготовления.

Таким образом, диссертация посвящена решению актуальной научно-технической проблемы, для решения которой автором проведен ряд теоретических и экспериментальных исследований, позволивших научно обосновать ее предлагаемое решение.

### 2. Научная новизна диссертации

Заключается в следующем:

1) Установлены математические зависимости шероховатости поверхности и удельного съема материала от технологических параметров магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей из алюминиевого сплава марки АМц.

ОТЗЫВ  
ВХ. № 9-151 от 19.06.24  
АУ УС

2) Установлены закономерности изменения твердости сложнопрофильной поверхности из алюминиевого сплава марки АМц в результате магнитно-абразивной обработки.

### **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Обоснованность и достоверность научных положений подтверждается результатами теоретических и экспериментальных исследований, проведенным компьютерным моделированием распределения магнитного поля в зоне обработки сложнопрофильной поверхности. Соискателем проведен научный обзор литературы, посвященной особенностям магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей, патентный поиск технических решений, позволяющих производить равномерную магнитно-абразивную обработку. По результатам патентного поиска предложено и разработано техническое решение, заключающееся в применении устройства с постоянными магнитами, специально ориентируемых относительно обрабатываемой поверхности, получен патент на изобретение.

Комплексные экспериментальные исследования, в которых рассмотрено влияние типа магнитно-абразивного порошка, смазочно-охлаждающей жидкости, технологических параметров обработки (магнитной индукции, времени обработки, частоты вращения заготовки, амплитуды осцилляции устройства), а также проведенная статистическая обработка результатов экспериментов, позволили автору разработать математические модели, описывающие изменение шероховатости и удельного съема материала при различных значениях технологических параметров магнитно-абразивной обработки. Максимовым Д.Д. проведены экспериментальные исследования влияния применяемого метода окончательной обработки на производительность процесса и твердость обработанной поверхности. При проведении исследований автором применялись поверенные средства измерения и исправные приборы, станок и инструменты.

### **4. Научные результаты, их ценность**

Научные результаты диссертации Максимова Д.Д. выражены в следующем:

1) Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что способ магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей, включающий в себя схему ориентации постоянных магнитов, сочетание рабочих движений, и устройство для его осуществления, обеспечивают равномерную магнитную индукцию  $B \geq 0,6$  Тл в рабочем зазоре и, как следствие, равномерную шероховатость сложнопрофильной поверхности меньше требуемой  $R_a = 0,8$  мкм.

2) Разработанные полиномиальные математические модели, учитывающие параметры магнитно-абразивной обработки – магнитную индукцию, частоту вращения, время обработки, амплитуду осцилляции, позволяют оценить эффективность варьирования технологических

параметров, получить прогнозируемые значения шероховатости сложнопрофильной поверхности и удельного съема материала.

3) Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что способ магнитно-абразивной обработки сложнопрофильной поверхности и устройство для его осуществления при рекомендуемых режимах МАО позволяют повысить производительность обработки по сравнению со шлифованием до 1,4 раза, а также повысить твердость сложнопрофильной поверхности по всему обработанному профилю до 1,2 раза.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, как и сами исследования, проведенные Максимовым Д.Д. на достаточно высоком уровне, безусловно обладают научной ценностью. Ввиду острой производственной необходимости в разработке и внедрении новых современных методов окончательной обработки сложнопрофильных поверхностей из алюминиевых сплавов разработанное соискателем обоснованное научно-техническое решение может быть предложено для реализации. Методики проведенных экспериментальных исследований могут быть рассмотрены авторами других работ по схожей тематике в качестве примера. Таким образом, исследования расширяют имеющуюся базу знаний в области магнитно-абразивной обработки, а также способствуют проведению новых научных исследований в области технологического обеспечения и повышения качества сложнопрофильных поверхностей методом МАО.

Основные научные результаты диссертационного исследования освещены в 13 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 (Перечень ВАК), в 3 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus; получен 1 патент на изобретение.

## **5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

Соискателем проведена серия экспериментальных исследований, по результатам которой установлены закономерности влияния величины магнитной индукции, времени обработки, частоты вращения и амплитуды движения устройства в процессе магнитно-абразивной обработки на шероховатость обработанной сложнопрофильной поверхности изделия из алюминиевого сплава марки АМц и удельный съем материала.

Разработан способ магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей и устройство для его осуществления (патент на изобретение RU 2787597 C1), включающий в себя схему магнитно-абразивной обработки сложнопрофильной поверхности, конструкцию устройства с постоянными магнитами, рабочие поверхности которых расположены параллельно касательным к обрабатываемой сложнопрофильной поверхности. Работоспособность устройства предварительно оценивалась методом компьютерного моделирования распределения

магнитного поля в зоне обработки. Устройство реализовано и может быть применено для магнитно-абразивной обработки на станках как токарной, так и фрезерной групп, универсальных или с ЧПУ. По сравнению с существующими техническими решениями устройство характеризуется своими малыми габаритами и возможностью переориентации под различные обрабатываемые профили.

Статистически обработанные результаты экспериментальных исследований позволили разработать математические модели, описывающие зависимость шероховатости и удельного съема материала от технологических параметров магнитно-абразивной обработки поверхностей деталей из алюминиевого сплава марки АМц. Установлено, что применение метода магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей позволяет заменить процесс шлифования финишным процессом магнитно-абразивной обработки, обеспечивающим достижение равномерной шероховатости по всему обработанному профилю меньше требуемого параметра  $R_a = 0,8$  мкм, что должно положительно сказаться на эксплуатации элегазового оборудования, повысив срок его использования.

Автором установлены рекомендуемые режимы магнитно-абразивной обработки сложнопрофильных поверхностей изделий из алюминиевого сплава марки АМц, позволяющие не только снизить параметр их шероховатости, но и повысить производительность обработки по сравнению со шлифованием до 1,4 раза, а также твердость поверхностного слоя по всему обработанному профилю до 1,2 раза.

Результаты диссертационной работы прошли апробацию на промышленных предприятиях АО ВО «Электроаппарат», ООО «ИСО», а также отдельные положения приняты к внедрению в учебный процесс подготовки бакалавров по направлению 15.03.01 – Машиностроение, программа подготовки «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, что подтверждается соответствующими актами внедрения результатов диссертации.

## **6. Рекомендации по использованию результатов работы**

Основные результаты диссертации Максимова Д.Д. могут быть внедрены в производственные процессы механообрабатывающих предприятий, занимающихся изготовлением изделий из алюминиевых сплавов, имеющих сложнопрофильные поверхности. Разработанные рекомендации по назначению технологических параметров магнитно-абразивной обработки могут быть использованы технологами при составлении технологических карт.

Принцип работы разработанного устройства может быть взят за основу для создания новых технических решений в области магнитно-абразивной обработки.

Диссертация Максимова Д.Д. открывает перспективы дальнейшего развития

исследований в области технологического обеспечения качества сложнопрофильных поверхностей при использовании метода магнитно-абразивной обработки. Например, следует подробнее рассмотреть изменение скорости абразивных частиц в различных точках обрабатываемого профиля, вопрос периодичности добавления СОЖ, изменение магнитной индукции в процессе обработки с целью улучшения перемешивания магнитно-абразивных частиц.

## 7. Замечания и вопросы по работе

По работе имеются следующие замечания:

1) По утверждению автора наиболее ответственной деталью элегазового трансформатора является его корпус. При этом внутренняя поверхность корпуса, параметр шероховатости которой составляет  $R_a \geq 0,8$  мкм, имеет вогнутую форму, а разработанное устройство для MAO предназначено для отделки наружных поверхностей выпуклой формы, что подходит только для обработки торцевой сложнопрофильной поверхности корпуса, которая при этом имеет вогнутый участок при переходе к его внутренней цилиндрической поверхности.

2) Утверждение автора на с.22, что при лезвийной обработке алюминиевых сплавов, обладающих высокой пластичностью и ударной вязкостью, образуется элементная стружка – некорректно. При этом на с.23 автор уже корректно говорит о сливной стружке.

3) В тексте диссертации содержатся опечатки, связанные со ссылками на источники из списка использованной литературы.

4) На с.27 приводится рисунок 1.10, иллюстрирующий классификацию методов отделочно-чистовой обработки поверхностей, в подрисуночном тексте которого (и в тексте диссертации перед ним) говорится о классификации методов окончательной обработки, что некорректно, так как в зависимости от требуемой шероховатости, например, поверхности вращения и точности ее размера, в качестве окончательного метода ее обработки может выступать и черновое точение.

5) Непонятно, из каких соображений по графику, представленному на рисунке 2.20, иллюстрирующему зависимость изменения шероховатости поверхности от величины рабочего зазора, определен выбор величины рабочего зазора в 2 мм для проведения дальнейших экспериментальных исследований.

6) В п.2.3.2 говорится о проведении экспериментов по исследованию влияния применения СОЖ на плотность МАИ, в ходе которых выяснилось, что добавление полусинтетической СОЖ повысило плотность магнитно-абразивной массы. При этом не сказано, как измерялась эта плотность.

7) В работе отсутствует обоснование выбора периода осцилляции  $T = 2$  с.

8) В автореферате на с.12 и в диссертации на с.107 и 112 указан диапазон амплитуды осцилляции  $A = 0,25-1,5$  мм. При этом на графике, представленном на рисунке 4,  $z$  в автореферате и на рисунке 3.6,  $z$  в диссертации, значения 0,25 мм нет, шкала амплитуды начинается со значения 0,4 мм. В то же время в других местах диссертации этот диапазон амплитуды осцилляции начинается с  $A = 0,5$  мм.

9) Судя по схеме, представленной на рисунке 3.1, отрезков на сфероиде для измерения шероховатости должно быть 12, а не 9. Также на рисунке 4.5 отмечено 9 зон на сфероиде для измерения твердости его сложнопрофильной поверхности, в то время как их 12. Следовало дать соответствующие пояснения к рисункам.

10) Анализ графиков, представленных на рисунке 3.6, позволяет сузить рекомендуемые в выводе 3 главы 3 на с.112 диапазоны изменения магнитной индукции  $B$  и амплитуды осцилляции  $A$  для обеспечения параметра шероховатости  $R_a$  в пределах 0,68...0,77 мкм, который может быть достигнут при рассматриваемых в работе технологических параметрах МАО, то есть принять  $B = 0,92...1,1$  Тл вместо 0,7...1,15 Тл и  $A = 0,9...1,2$  мм вместо 1...1,5 мм.

11) Закрепление сфероида в тисках для измерения твердости его сложнопрофильной поверхности следовало проводить с использованием деревянных губок или прокладок, чтобы не заминать эту поверхность, тем самым ее упрочняя. Или использовать для закрепления сфероида в тисках цилиндрическую поверхность его хвостовой части, не подвергаемой МАО.

12) В выводе о повышении в 1,2 раза твердости поверхности после МАО корректнее было бы указать, что это получается в среднем.

13) В п.5 заключения в диссертации и автореферате делается вывод об увеличении производительности при использовании МАО по сравнению со шлифованием сложнопрофильной поверхности и повышении при этом ее твердости по всему профилю в конкретное число раз, в то время как частота вращения заготовки изменяется в определенном диапазоне  $n = 115...750$  мин<sup>-1</sup>. Более корректно было бы также указать диапазон увеличения производительности МАО, а также повышения твердости сложнопрофильной поверхности.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости результатов диссертации и носят рекомендательный характер.

## 8. Заключение по диссертации

Диссертация на тему: «Технологическое обеспечение и повышение качества сложнопрофильных поверхностей из алюминиевого сплава марки АМц», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. – Технология машиностроения, полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»,

утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм., а ее автор Максимов Дмитрий Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. – Технология машиностроения.

Официальный оппонент

Доцент факультета систем управления и робототехники

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»,

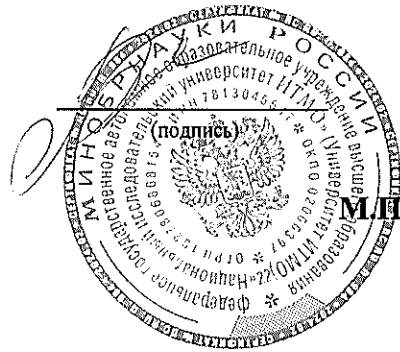
кандидат технических наук, доцент



Помпеев Кирилл Павлович

Дата подписания отзыва «12» 06. 2024 г.

Подпись Помпеева К.П. заверяю



  
Должность, ФИО

**Сведения об официальном оппоненте:**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Почтовый адрес: 197101, г. Санкт-Петербург, Кроверкский проспект, д.49, литер А

Официальный сайт в сети Интернет: itmo.ru

эл. почта: robots@itmo.ru телефон: +7 (812) 480-06-11