В диссертационный Совет ГУ.9
Санкт-Петербургского горного
университет императрицы Екатерины II
199106, Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д. 2

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-93 от 14.05.25
АУ УС

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, доцента Дмитриева Сергея Ивановича на диссертацию *Минина Александра Олеговича* на тему: «Технологическое обеспечение качества растачиваемых поверхностей изделий из коррозионностойких алюминиевых сплавов на основе высокочастотного волнового воздействия», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. – Технология машиностроения.

1. Актуальность темы диссертации

Высокое значение коррозионной стойкости алюминиевых сплавов обуславливает их широкое применения при изготовлении ответственных изделий, например корпусов элегазовых трансформаторов. Применение элегаза в качестве изоляционной среды объясняется его высокой электрической прочностью по сравнению с трансформаторным маслом.

Корпус элегазового трансформатора выполняет комплекс функциональных задач. Прежде всего, он защищает внутреннюю конструкцию трансформатора от воздействия окружающей среды, предотвращая возможные механические повреждения и негативное влияние погодных условий. Кроме того, корпус формирует герметичную полость, предназначенную для заполнения элегазом (SF6), что обеспечивает надежную работу устройства. Однако дефекты внутренней поверхности корпуса, такие как вырывы и надиры, могут спровоцировать образование коронного разряда в газовой среде, что часто служит первопричиной выхода трансформатора из строя.

В современной производственной практике изготовление корпусов, экранов и цилиндрических элементов элегазовых трансформаторов завершается операцией шлифования. Данная процедура реализуется в ручном или полуавтоматическом режимах с применением абразивных губок, бумаг и кругов. Трудоемкость этапа шлифования составляет значительную долю — до 35% от общего времени, затраченного на весь технологический процесс изготовления корпуса элегазового трансформатора. Использование абразивных инструментов как на жесткой, так и на гибкой основе сопряжено с риском проявления эффекта шаржирования, а проведение обработки вручную усиливает вероятность снижения качества обработки внутренних отверстий.

Соискателем предложено применение растачивания с применением высокочастотного волнового воздействия в изделиях из коррозионностойкого алюминиевого сплава АМц, которое позволит обеспечить заданное качество внутренних поверхностей за счет снижения величины и периодичности наростообразования. Применение разработанного способа позволяет повысить

производительность технологического процесса изготовления корпуса элегазового трансформатора.

Тема диссертации Минина А.О. является актуальной, а материалы диссертации содержат научно обоснованное решение рассматриваемой задачи.

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

2.1 Установлены закономерности влияния технологических параметров растачивания с применением высокочастотного волнового воздействия на шероховатость и микротвердость обработанной внутренней поверхности из алюминиевого сплава марки АМц.

2.2 Разработана математическая модель технологической системы механической обработки, учитывающая применение высокочастотного волнового воздействия и позволяющая оценить динамическую устойчивость системы при различных технологических параметрах.

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

Достоверность сформулированных Мининым А.О. научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректным применением методик планирования промышленного эксперимента, анализа и интерпретации полученных результатов, а также повторяемостью экспериментальных исследований, количеством проводимых измерений и используемым оборудованием.

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработан способ растачивания отверстий в изделиях из коррозионностойких алюминиевых сплавов, включающий в себя схему обработки, подбор сочетания рабочих движений, диапазоны технологических параметров обработки, позволяющий снизить величину и периодичность наростообразования и, тем самым, обеспечить качество растачиваемых поверхностей.

Научная новизна выводов и рекомендаций заключается в выявленных закономерностях влияния технологических факторов разработанного способа растачивания с применением высокочастотного волнового воздействия на такие параметры, как шероховатость, микротвердость, величину и периодичность наростообразование при обработке внутренних поверхностей изделий из алюминиевого сплава марки АМц. На основании анализа полученных результатов экспериментальных исследований были получены математические зависимости, позволяющие получить значения контролируемых параметров обработки в зависимости от значений технологических факторов.

4. Научные результаты, их ценность

Научные результаты исследования сформулированы соискателем в следующих положениях, выносимых на защиту:

1) Разработанный и реализованный на практике способ растачивания отверстий в изделиях из коррозионностойкого алюминиевого сплава АМц, включающий в себя схему обработки, сочетание рабочих движений и высокочастотное волновое воздействие в направлении, противоположном сходу стружки, позволяет обеспечить параметры шероховатости внутренних поверхностей в диапазоне $Ra = 0{,}7\ldots0{,}9$ мкм и равномерное упрочнение поверхностного слоя растачиваемых отверстий до значения $H_v = 360\ldots440$ МПа.

Доказательством *первого защищаемого положения* являются теоретические и экспериментальные исследования по технологическому обеспечению качества растачиваемых поверхностей изделий из коррозионностойкого алюминиевого сплава марки АМц, по результатам которых установлено, что необходимо обеспечить плотный контакт высокочастотного преобразователя с поверхностью режущего инструмента. Это позволит обеспечить равномерное воздействие, исключить появление биений в процессе обработки, а также обеспечить динамическую устойчивость технологической системы и тем самым получить равномерное качество обработанной поверхности за счет постоянства технологических параметров. Кроме того, следует определить направление высокочастотного волнового воздействия с целью исключения наложения колебаний на путь инструмента, а также исключить влияние колебаний на узлы технологической системы.

В ходе проведения серии предварительных экспериментов установлены диапазоны варьируемых технологических параметров растачивания с применением высокочастотного волнового воздействия: частота вращения заготовки n = 300–2000 мин$^{-1}$, подача резания S = 0,04–0,12 мм/об, границы значений частоты воздействия f = 10–30 кГц и угла воздействия ω = 0–30°. Вследствие анализа теоретических и экспериментальных исследований установлены оптимальные значения геометрических параметров режущей части инструмента, величины вылета, поперечного сечения державки, обеспечивающие повышение жесткости технологической системы при растачивании отверстий с применением высокочастотного волнового воздействия. В результате моделирования процесса распространения высокочастотных колебаний установлены основные закономерности влияния формы концентратора и точки приложения воздействия на эффективность растачивания отверстий с применением высокочастотного волнового воздействия.

Разработан способ растачивания отверстий в изделиях из коррозионностойких алюминиевых сплавов, основанный на применении высокочастотного волнового воздействия в направлении, противоположном направлению сходящей стружки, при котором в результате обработки происходит снижение величины и периодичности наростообразования и, как результат, улучшение шероховатости поверхностей.

2) Использование установленных математических зависимостей между параметрами технологического процесса и высокочастотным волновым воздействием позволяет получить заданные параметры шероховатости поверхности и микротвердости при растачивании отверстий в изделиях из коррозионностойкого алюминиевого сплава АМц.

Доказательством *второго защищаемого положения* являются результаты статистической обработки полученных экспериментальных данных, которая позволила получить полиномиальные математические модели, учитывающие влияние технологических параметров растачивания с применением высокочастотного волнового воздействия на шероховатость внутренних поверхностей из алюминиевого сплава АМц. Результаты экспериментальных исследований показали, что применение предлагаемых способа позволяет обеспечить равномерную шероховатость внутренней поверхности Ra = 0,7…0,9 мкм и микротвердость H_v = 360…440 МПа. На основании полученных моделей, а также анализа результатов экспериментов удалось установить, что минимальные значения шероховатости растачиваемой поверхности достигаются при следующих значениях технологических параметров: частота воздействия f до 15 и свыше 25 кГц; угол воздействия ω = 30–45°; подача резания S = 0,04–0,06 мм/об; частота вращения заготовки $n \geq 1250$ мин$^{-1}$. Тогда как наибольшие значения Hv = 440 МПа достигаются при следующих параметрах: подача резания S = 0,08–0,12 мм/об, частота вращения заготовки n = 750–1250 мин$^{-1}$, частота воздействия f до 15 или свыше 25 кГц, угол воздействия ω = 30–45°, при этом шероховатость поверхности составляет Ra = 0,8 мкм. Таким образом, проведенная статистическая обработка экспериментальных данных позволила получить полиномиальные математические модели, с помощью которых возможно оценить эффективность варьирования технологических параметров растачивания с применением высокочастотного волнового воздействия, а по полученным графическим и математическим зависимостям прогнозировать изменение шероховатости и микротвердости внутренней поверхности.

3) Математическая модель технологической системы механической обработки, учитывающая применение высокочастотного волнового воздействия в направлении, противоположном сходу стружки, позволяет оценить динамическую устойчивость системы при различных технологических параметрах и подтверждает повышение динамической стабильности изготовления изделий из коррозионностойкого алюминиевого сплава АМц с заданными параметрами шероховатости Ra = 0,7…0,9 мкм.

Доказательством *третьего защищаемого положения* является математическая модель технологической системы механической обработки с применением высокочастотного волнового воздействия, учитывающая особенности подсистемы «инструмент-заготовка» и подтверждающая существенное изменение динамической устойчивости технологической системы и граничных условий перехода к автоколебательному процессу.

Ряд проведенных экспериментальных и теоретических исследований по влиянию высокочастотного волнового воздействия на динамическую устойчивость динамической системы доказал, что растачивание с применением высокочастотного волнового воздействия позволяет изменить условия виброактивности процесса и вводит систему в устойчивое состояние.

Экспериментально установлено, что растачивание с применением высокочастотного волнового воздействия позволяет обеспечить равномерное качество по всей обрабатываемой поверхности, тем самым исключая трудоемкую финишную шлифовальную операцию из технологического процесса изготовления корпуса и экранов элегазового трансформатора. Даны практические рекомендации по применению высокочастотного волнового воздействия в процессе растачивания отверстий, что позволит обеспечить шероховатость внутренней поверхности до $Ra = 0{,}726$ мкм, а также обеспечить микротвердость $Hv = 440$ МПа.

Идея исследования заключается в технологическом обеспечении качества и равномерного упрочнения поверхностного слоя растачиваемых отверстий в изделиях из коррозионностойких алюминиевых сплавов при их обработке режущим инструментом, реализуется на основе высокочастотного волнового воздействия в направлении, противоположном направлению сходящей стружки.

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 (Перечень ВАК), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus; получен 1 патент на изобретение.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Автором разработан способ растачивания отверстий в изделиях из коррозионностойких алюминиевых сплавов. Предлагаемое техническое решение включает в себя схему высокочастотного волнового воздействия, конструкцию установки для реализации способа с возможностью изменения направления воздействия. Применяемая конструкция крепления установки позволяет оснащать станки без применения специального инструмента, используя лишь приспособления для закрепления различных типов.

В ходе экспериментальных исследований соискателем установлены закономерности влияния величины подачи резания, частоты вращения, частоты и угла высокочастотного волнового воздействия на шероховатость и микротвердость обработанной внутренней поверхности в изделиях из коррозионностойкого алюминиевого сплава марки АМц. Также определены технологические параметры растачивания с применением высокочастотного волнового воздействия, позволяющие обеспечить равномерную шероховатость $Ra = 0{,}8$ мкм. Установленные закономерности и определенные диапазоны технологических параметров растачивании внутренних поверхностей являются основой для составления рекомендаций по назначению технологических параметров высокочастотного волнового воздействия.

Установлено, что применение метода растачивания с применением высокочастотного волнового воздействия позволяет заменить процесс шлифования, обеспечивая при этом достижение равномерной шероховатости $Ra = 0{,}8$ мкм. Автором доказано, что применение

метода повышает производительность обработки по сравнение со шлифованием в 8–12,5 раз.

Значимость результатов диссертации подтверждается их апробацией на промышленном предприятии АО ВО «Электроаппарат».

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертации могут быть применены на предприятиях машиностроительного и энергетического комплексов, на которых изготавливают ответственные детали из алюминиевых сплавов. В частности, результаты могут быть внедрены в технологический процесс изготовления корпусов, экранов, цилиндров и труб элегазового трансформатора на АО ВО «Электроаппарат».

Работа определенно содержит в себе вопросы, требующие более подробного изучения в последующих трудах, которые позволят развить исследование высокочастотного волнового воздействия.

7. Замечания и вопросы по работе

1. Экспериментальные исследования выполнялись лишь для алюминиевого сплава марки АМц, в результате чего возникает вопрос, применимо ли растачивание на основе высокочастотного волнового воздействия для других материалов, например, титановых сплавов?

2. Не ясно влияет ли высокочастотное волновое воздействие на стойкость инструмента?

3. На странице 41, рисунок 2.7 приведены изображения наружной обработки. Возникает вопрос, проводились ли исследования для токарной обработки наружной поверхности с применением высокочастотного волнового воздействия?

4. При моделировании процесса высокочастотного волнового воздействия исследования выполнялись в 2D системе, насколько достоверными в данном случае являются результаты?

5. Очевидно, что обработка с применением высокочастотного волнового воздействия требует дополнительных затрат, что приведет к повышению технологической себестоимости операции растачивания. Желательно было бы отразить данный вопрос в работе.

Указанные замечания не снижают общей важности и обоснованности предлагаемого научно-технического решения.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Технологическое обеспечение качества растачиваемых поверхностей изделий из коррозионностойких алюминиевых сплавов на основе высокочастотного волнового воздействия», 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 Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм., а ее автор **Минин Александр Олегович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6. – Технология машиностроения.

Официальный оппонент
Доцент отделения инженерных технологий
Передовой инженерной школы гибридных технологий
в станкостроении Союзного государства
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Псковский государственный университет»
к.т.н., доцент **Дмитриев Сергей Иванович**

Согласовано
Проректор по инновационной
деятельности ПсковГУ **Антал Тарас Корнелиевич**

Сведения об официальном оппоненте:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Псковский государственный университет»
Почтовый адрес: 180000, Псковская обл., г. Псков, пл. Ленина, дом 2.
Официальный сайт в сети Интернет:www.pskgu.ru
эл. почта: rector@pskgu.ru телефон: +7(8112) 201-699

Подпись С.И. Дмитриева,
Т.К. Антала удостоверяю
Ж.А. Громова
05 05 25