

На правах рукописи

КЕКСИН Александр Игоревич



**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВНУТРЕННИХ РЕЗЬБОВЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО
МАГНИТНО-АБРАЗИВНОГО ПОЛИРОВАНИЯ
СЛОЖНОПРОФИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель:

Максаров Вячеслав Викторович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Машиностроения» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет».

Официальные оппоненты:

Чулкин Сергей Георгиевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология судового машиностроения» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет».

Жуков Эдуард Леонидович, канд. техн. наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Ведущая организация:

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики».

Защита диссертации состоится 27 июня 2017 г. в 16-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.30 при ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» по адресу 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29, лабораторно-аудиторный корпус, аудитория кафедры «ТКМ и М».

Отзыв на автореферат в двух экземплярах (заверенных печатью) просим направлять по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО СПбПУ Петра Великого и на сайте www.spbstu.ru.

Телефон для справок 8(812) 552-95-30.

Автореферат разослан «___» _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, профессор



ПЕТКОВА
Ани Петрова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований

Разрушение резьбовых соединений, работающих в условиях динамических нагрузок, приводит к аварийным и внеплановым остановкам машин, вследствие которых увеличивается время простоя оборудования и финансовые затраты.

Эксплуатационные свойства резьбовых соединений в значительной степени зависят от качества сопрягаемых поверхностей, в частности, от их высотных параметров шероховатости. На данный момент при формировании микрорельефа наружных резьбовых поверхностей больших сложностей не возникает, что нельзя сказать про внутреннюю резьбу, на боковых сторонах профиля которой довольно трудно обеспечить шероховатость по параметру $Ra \leq 1,6$ мкм. Особенно затруднительно, когда это касается изделий из коррозионно-стойкого материала.

В настоящее время для оценки шероховатости резьбовых поверхностей в основном применяют только два параметра Ra или Rz . Полноценно охарактеризовать действительный профиль сложнопрофильной поверхности, используя данные параметры, не представляется возможным. Это становится актуальным не только потому, что высотные параметры профиля оказывают огромное влияние на эксплуатационные свойства сопрягаемых поверхностей, но и по причине трудоемкого процесса контроля сложнопрофильных резьбовых деталей.

Повышение качественных показателей внутренних резьбовых поверхностей неразрывно связано с улучшением состояния контактных поверхностей зубьев резьбонарезного инструмента, которое возможно осуществлять посредством применения финишных операций.

Одним из наиболее эффективных методов финишной обработки сложнопрофильных поверхностей является магнитно-абразивное полирование (МАП). Однако вопрос повышения качества внутренних резьбовых поверхностей на основе предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента изучен не достаточно. Вследствие этого решение вышеизложенного вопроса представляет собой актуальную научно-техническую задачу.

Объект исследования. Технология изготовления внутренних резьбовых поверхностей в заготовках из коррозионно-стойкого материала марки 08X18H10T с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента.

Предмет исследования. Параметры шероховатости боковых сторон внутреннего резьбового профиля в заготовках из коррозионно-стойкого материала марки 08X18H10T.

Целью диссертационной работы является повышение качества внутреннего резьбового профиля посредством использования в технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей сложнопрофильного инструмента, предварительно подвергнутого магнитно-абразивному полированию в соответствии с функциональными особенностями его рабочих участков и закономерностями черновой, получистовой и чистовой операций.

Научная новизна работы:

1. Получены математические зависимости радиуса скругления, шероховатости и микротвердости режущих кромок, а также количества снимаемого материала при МАП сложнопрофильных поверхностей от технологических факторов магнитно-абразивного полирования (зернистость порошка, магнитная индукция, время обработки).

2. Выявлены закономерности влияния технологических факторов процесса МАП (зернистость порошка, магнитная индукция, время обработки) на производительность и параметры качества (радиус скругления, шероховатость, микротвердость) при магнитно-абразивном полировании сложнопрофильных поверхностей.

3. Установлены зависимости параметров шероховатости боковых сторон внутреннего резьбового профиля от состояния контактных поверхностей зубьев сложнопрофильного инструмента, сформированного при различных условиях магнитно-абразивного полирования.

4. Разработан алгоритм выбора рациональных микрогеометрических параметров на каждом рабочем участке резбонарезного инструмента для технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента.

Защищаемые научные положения:

1. Математические зависимости и закономерности влияния технологических факторов процесса МАП (зернистость порошка, магнитная индукция, время полирования) на производительность и параметры качества (радиус скругления, шероховатость, микротвердость) при магнитно-абразивном полировании сложнопрофильных поверхностей, которые являются основой для предварительной подготовки метчиков в технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента.

2. Результаты экспериментальных исследований технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента, которые позволили установить влияние состояния контактных поверхностей зубьев резьбонарезного инструмента, сформированного при различных условиях магнитно-абразивного полирования, на параметры шероховатости боковых сторон внутреннего резьбового профиля в заготовках из коррозионно-стойкого материала марки 08Х18Н10Т.

Практическая значимость работы:

1. Разработан способ магнитно-абразивного полирования метчика с учетом функциональных особенностей его рабочих участков (Патент на изобретение № 2569261, которое зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 26 октября 2015 г.).

2. На базе фрезерного станка с ЧПУ разработано устройство для магнитно-абразивного полирования сложнопрофильных поверхностей диаметром от 5 до 50 мм с обеспечением магнитной индукции в рабочем пространстве от 0,1 до 2,2 Тл.

3. Выполнены научно обоснованные технические разработки и предложены практические рекомендации по технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента.

Методика исследований. При решении поставленных задач

были использованы теоретические и экспериментальные методы исследований. Теоретические исследования включали в себя научный анализ и обобщение современной теории и практики технологии машиностроения и резания металлов. Экспериментальные исследования заключались в проведении опытов в соответствии с разработанным планом экспериментальных исследований и в обработке полученных результатов методами математической статистики в современных программных средах.

Достоверность научных положений и рекомендаций подтверждена достаточной сходимостью результатов теоретических и лабораторных исследований, а также их опробованием в промышленных условиях.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: III Международной научно-практической конференции «Приоритетные научные направления: от теории к практике» (г. Новосибирск, 2013 г.), ежегодной вузовской научной конференции студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение» (г. Санкт-Петербург, 2014 г.), IV международной научно-практической конференции «Инновации на транспорте и в машиностроении» (г. Санкт-Петербург, 2016 г.), XV Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки» (г. Нижний Новгород, 2016 г.).

Основные положения работы и результаты исследований отражены в научно-технических отчетах в рамках участия в федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы».

Технология изготовления внутренних резьбовых поверхностей с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента опробована в промышленных условиях АО «61 БТРЗ», г. Санкт-Петербург, пос. Стрельна.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, из них 3 в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1 в журнале международной базы Scopus, получен 1 патент.

Реализация результатов работы. Результаты исследований,

представленные в настоящей работе, могут быть применены на предприятиях машиностроения.

Научные и практические результаты работы могут быть использованы в учебном процессе Санкт-Петербургского горного университета при изучении дисциплин «Основы технологии машиностроения», «Технология машиностроения», «Техническая физика» студентами специальности 15.03.01 - Машиностроение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы, изложенных на 200 страницах. Содержит 104 рисунка, 10 таблиц, список использованных источников из 122 наименований, 5 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы научная новизна и практическая значимость, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ современного состояния вопроса повышения качества сопрягаемых резьбовых поверхностей, работающих в условиях динамических нагрузок.

Функционирование резьбовых соединений зачастую осуществляется в условиях переменных нагрузок, многократно изменяющихся во времени. В таких условиях резьбовые детали разрушаются при значительно меньших напряжениях, чем в случае статической нагрузки. Амплитуда переменной нагрузки, приводящей к разрушению резьбового соединения, оказывается в 10-20 раз меньшей, чем при статическом разрушении.

Особое значение в этом процессе приобретают микронеровности сопрягаемых резьбовых поверхностей, параметры которых оказывают существенное влияние на эксплуатационные свойства резьбовых соединений. Анализ влияния шероховатости резьбовых поверхностей на усталостную прочность резьбовых соединений показал, что чем глубже микронеровности и острее их впадины на контактных поверхностях, тем в большей степени снижается усталостная прочность резьбовых соединений, так как возрастают местные напряжения, способствующие образованию усталостных трещин.

Формирование шероховатости сопрягаемых резьбовых поверхностей осуществляется в процессе их изготовления. Вопросу изготовления наружных резьбовых поверхностей посвящено огромное количество работ, и на данный момент он является в большей степени изученным, что нельзя сказать об изготовлении внутренних резьбовых поверхностей.

Сложности в механической обработке внутреннего резьбового профиля связаны с существенными ограничениями, в основном обусловленными худшими условиями резания и деформирования в закрытом пространстве, проблематичностью размещения в отверстии инструментов сложных конструкций и т.п. Особенно процесс изготовления становится проблематичным при формировании шероховатости внутренних резьбовых поверхностей по параметру $Ra \leq 1,6$ мкм.

Исследованию проблем повышения качества внутренних резьбовых поверхностей посвящены работы В.В. Головкина, А.А. Грудова, А.Е. Древаля, Ю.П. Кузьмина, В.П. Лексикова, А.Д. Никифорова, В.В. Матвеева, А.Н. Прокофьева, А.Е. Стешкова, Ю.Л. Фрумина, В.Г. Якухина, А.С. Ямникова и др. В данных работах технологический метод нарезания резьбы метчиками выделяется как самый распространенный метод для формирования внутреннего резьбового профиля. Несмотря на распространенность метода имеются существенные недостатки, связанные с обеспечением вышеуказанного технологического параметра, не говоря о других параметрах, контроль которых в большинстве случаев не осуществляется.

Уменьшение шероховатости внутренних резьбовых поверхностей неразрывно связано с улучшением состояния контактных поверхностей сложнопрофильного инструмента, которое формируется на окончательных финишных операциях.

Одним из эффективных финишных методов обработки сложнопрофильных поверхностей является магнитно-абразивное полирование, которое появилось в результате быстро возрастающих и расширяющихся требований к состоянию поверхностного слоя как деталей машиностроения, так и режущих инструментов.

Основной вклад в развитие магнитно-абразивного полирования

внесли: Ю.М. Барон, В.И. Жданович, Л.М. Кожуро, Е.Г. Коновалов, Л.К. Минин, Ф.Ю. Сакулевич, Н.Я. Скворчевский, Н.С. Хомич, Г.С. Шулев Т. Shinmura, К. Takazava, E. Hitano, S. Yin, V.K. Jain и др. отечественные и зарубежные исследователи. Проводимые исследования были направлены на обработку как внутренних, так и наружных поверхностей, а спектр геометрических форм обрабатываемых поверхностей касался практически всех видов: плоских, цилиндрических, фасонных, сложнопрофильных и т.д.

Проведенный анализ показал, что вопрос повышения качества внутреннего резьбового профиля посредством использования в технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей сложнопрофильного инструмента, предварительно подвергнутого магнитно-абразивному полированию, изучен не достаточно. В связи с этим сформулированы основные задачи исследования.

Во второй главе разработан способ магнитно-абразивного полирования резьбонарезного инструмента и устройство для обработки сложнопрофильных поверхностей. Проведены подготовительные исследования для магнитно-абразивного полирования сложнопрофильных поверхностей.

Процесс МАП позволяет обрабатывать сложнопрофильные инструменты, одним из которых является метчик для изготовления внутренних резьбовых поверхностей. Однако на данный момент при МАП либо полностью не учитывают функциональные особенности рабочих участков метчика, и тогда производят одновременное их полирование, либо частично, и тогда обрабатывают заборный и калибрующий участки вместе, а ведущий – отдельно.

В первом случае при изготовлении внутренней резьбы отсутствует процесс последовательного обеспечения параметров шероховатости внутреннего резьбового профиля в соответствии с закономерностями черновой, получистовой и чистовой операций. Во втором случае приходится сталкиваться с так называемым повышенным магнитно-абразивным воздействием, негативно влияющим на формирование качественных показателей инструмента. И первое и второе яв-

ления не позволяют контактными поверхностями зубьев резбонарезного инструмента эффективно выполнять свою работу при изготовлении внутренних резьбовых поверхностей.

Вследствие этого разработан способ магнитно-абразивного полирования рабочих участков метчика (рисунок 1), который позволяет формировать качественные показатели (радиус скругления, шероховатость, микротвердость) на каждом из рабочих участков сложнопрофильного инструмента с учетом их функциональных особенностей.

Предлагаемый способ заключается в том, что при магнитно-абразивном полировании сложнопрофильного инструмента вводится доводочное время, которое позволяет избежать повышенного магнитно-абразивного воздействия на переходных зонах рабочих участков.

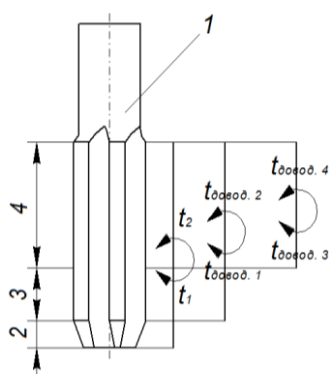


Рисунок 1 – Способ магнитно-абразивного полирования рабочих участков метчика: 1 – метчик, 2 – заборный участок, 3 – калибрующий участок, 4 – ведущий участок, t_1 , t_2 – время МАП при прямом и обратном вращениях резбонарезного инструмента, $t_{\text{довод.1}}$, $t_{\text{довод.2}}$, $t_{\text{довод.3}}$, $t_{\text{довод.4}}$ – доводочное время МАП при прямом и обратном вращениях резбонарезного инструмента

Рисунок 2 – Процесс магнитно-абразивного полирования на станке с ЧПУ

С целью реализации данного способа на базе фрезерного станка с ЧПУ разработано устройство для магнитно-абразивного полирования, процесс которого представлен на рисунке 2. Также проведены экспериментальные исследования по определению технических возможностей установки.

В результате проведенных исследований установлено, что диапазон максимальной величины магнитной индукции (B) в рабочем пространстве может варьироваться от 2,2 Тл при минимальной площади сечения полюсных наконечников ($S = 12 \text{ см}^2$) и длине рабочего пространства ($l_{pn} = 5 \text{ мм}$) до 0,5 Тл при максимальной площади сечения полюсных наконечников ($S = 44,8 \text{ см}^2$) и длине рабочего пространства ($l_{pn} = 50 \text{ мм}$).

При магнитно-абразивном полировании огромное значение имеют движения заготовки в рабочем пространстве установки и их скорости. В связи с этим были проведены исследования с целью определения режимных параметров станка с ЧПУ при магнитно-абразивном полировании заготовок из быстрорежущей стали Р6М5.

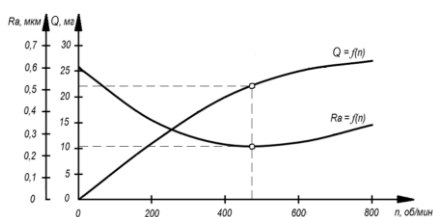


Рисунок 3 – Влияние частоты вращения заготовки n на шероховатость поверхности и съем материала при подаче $S = 120 \text{ мм/мин}$ и определении режимных параметров (условия МАП: $\Delta = 100/40 \text{ мкм}$; $B = 0,8 \text{ Тл}$; $t = 60 \text{ с}$)

Анализ графических зависимостей, построенных по экспериментальным данным, показал, что минимальная шероховатость ($Ra = 0,25 \text{ мкм}$) получается при скорости подачи заготовки вдоль полюсных наконечников $S = 120 \text{ мм/мин}$ и частоте вращения заготовки $n = 475 \text{ об/мин}$, при этом количество снимаемого материала в данном случае составляет

$Q = 22 \text{ мг}$ (рисунок 3). В дальнейших исследованиях данные режимные параметры приняты постоянными.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований магнитно-абразивного полирования сложнопрофильных поверхностей, целью которых являлось нахождение математических зависимостей и закономерностей влияния технологических факторов магнитно-абразивного полирования на производительность и параметры качества (радиус скругления, шероховатость, микротвердость) сложнопрофильных поверхностей.

По результатам проведенных исследований была выполнена ста-

тистическая обработка экспериментальных данных, которая позволила получить следующие математические зависимости:

1. Влияние технологических факторов магнитно-абразивного полирования на радиус скругления режущих кромок:

$$\rho = 0,988 \cdot \Delta^{0,51} \cdot B^{0,4} \cdot t^{0,23}. \quad (1)$$

2. Влияние технологических факторов магнитно-абразивного полирования на шероховатость режущих кромок:

$$Ra = 0,197 \cdot \Delta^{-0,077} \cdot B^{-0,153} \cdot t^{-0,13}. \quad (2)$$

3. Влияние технологических факторов магнитно-абразивного полирования на микротвердость режущих кромок:

$$Hv = 141,599 \cdot \Delta^{0,139} \cdot B^{0,455} \cdot t^{0,279}. \quad (3)$$

4. Влияние технологических факторов магнитно-абразивного полирования на производительность обработки:

$$Q = 4,43 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta^{0,416} \cdot B^{0,639} \cdot t^{0,576}. \quad (4)$$

Полученные математические зависимости позволяют определять радиус скругления, шероховатость и микротвердость режущих кромок сложнопрофильного инструмента, а также производительность обработки при МАП сложнопрофильных поверхностей от технологических факторов магнитно-абразивного полирования.

В ходе проведенных исследований удалось выявить общие закономерности изменения исследуемых параметров от технологических факторов магнитно-абразивного полирования. На рисунке 4 приведены графические зависимости для радиуса скругления режущих кромок и количества снимаемого материала. Аналогичные графики также построены для микротвердости и шероховатости режущих кромок и представлены в тексте диссертации.

В исследуемом диапазоне технологических параметров процесса МАП радиус скругления режущих кромок сложнопрофильного инструмента изменяется в пределах $\rho = 26 \dots 64$ мкм, шероховатость режущих кромок $Ra = 0,061 \dots 0,09$ мкм, микротвердость режущих кромок $Hv = 766 \dots 1505$ кгс/мм², а величина снимаемого металла изменяется в пределах $Q = 3 \dots 13 \cdot 10^{-3}$ г.

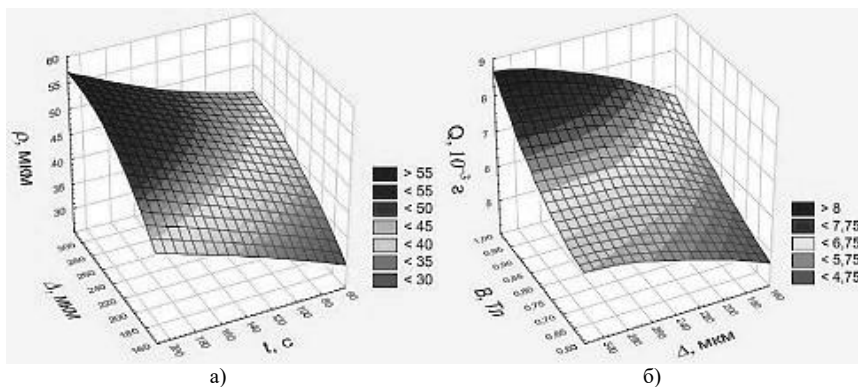


Рисунок 4 – Графические зависимости влияния технологических факторов МАП на контролируемые параметры, где: ρ – радиус скругления режущих кромок; Q – количество снимаемого материала; Δ – зернистость порошка; B – магнитная индукция; t – время полирования

Особое внимание в данной главе было уделено визуальному контролю состояния контактных поверхностей зубьев сложнопрофильного инструмента. В качестве примера на рисунке 5 представлены снимки режущих кромок и задних поверхностей зубьев метчика до и после МАП.

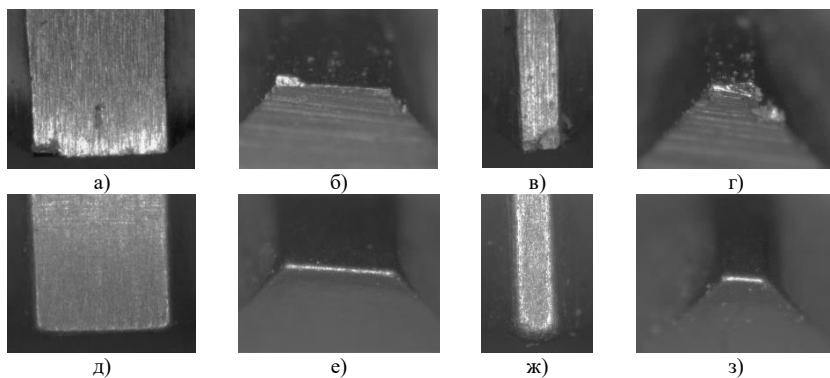


Рисунок 5 – Визуальный контроль задней поверхности зуба и режущей кромки до (а, б, в, г) и после (д, е, ж, з) МАП ($\Delta = 315$ мкм; $B = 1,0$ Тл; $t = 210$ с) при увеличении $\times 150$: а, б, д, е – 5 зуб заборного участка метчика; в, г, ж, з – 9 зуб ведущего участка метчика

Сравнительный анализ контактных поверхностей зубьев сложнопрофильного инструмента, обработанных в различных условиях МАП, позволяет сделать вывод о том, что часто встречаемые дефекты

поверхностей могут быть устранены методом магнитно-абразивного полирования полностью – при времени полирования $t = 210$ с вне зависимости от индукции и зернистости порошка (исследуемый диапазон), частично – при времени полирования $t = 120$ с, и практически никогда – при времени полирования $t = 60$ с за исключением, когда зернистость порошка равняется $\Delta = 315$ мкм, а магнитная индукция принимается $B = 1,0$ Тл.

Таким образом, результаты, полученные во второй и третьей главах данной диссертационной работы, являются основой при предварительной подготовке метчиков для технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента.

В четвертой главе описаны экспериментальные исследования технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента.

Изготовление внутренних резьбовых поверхностей производилось в заготовках из коррозионно-стойкого материала марки 08Х18Н10Т. Контроль шероховатости боковых сторон резьбового профиля велся по 6 высотным параметрам: Ra , Rz , Rq , Rk , Rpk , Rvk . Пример контроля представлен на рисунке 6.

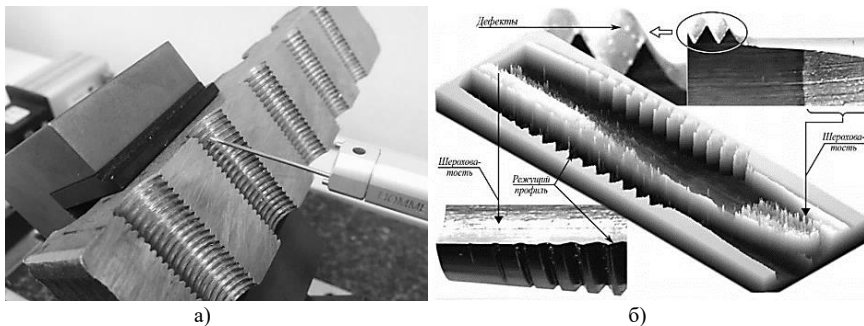


Рисунок 6 – Контроль боковых сторон резьбового профиля (а) и трехмерная модель изображения профиля и микрорельефа поверхности метчика (б)

Экспериментальные исследования технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента

показали, что огромное влияние на параметры шероховатости боковых сторон внутреннего резьбового профиля оказывает радиус скругления режущих кромок инструмента, сформированный при различных условиях магнитно-абразивного полирования. На рисунке 7 приведены графические зависимости для параметров шероховатости Ra и Rz . Аналогичные графики также построены для Rq , Rk , Rpk , Rvk и представлены в тексте диссертации.

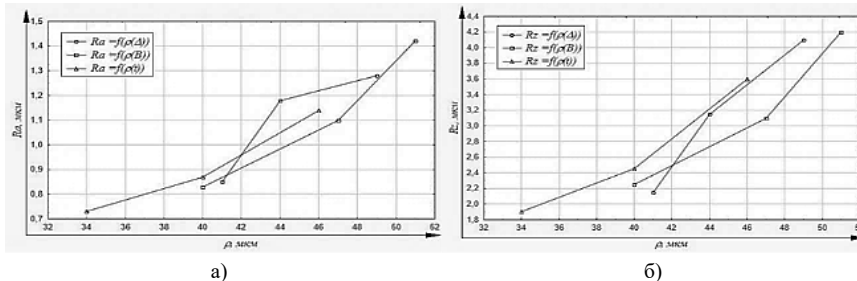


Рисунок 7 – Графические зависимости параметров шероховатости Ra (а) и Rz (б) боковых сторон внутреннего резьбового профиля от радиуса скругления режущих кромок сложнопрофильного инструмента, сформированного в различных условиях магнитно-абразивного полирования

Анализ полученных графических зависимостей позволил установить, что подготовка метчиков для технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента должна производиться при следующих технологических параметрах процесса МАП: зернистость порошка $\Delta = 160$ мкм и магнитная индукция $B = 1,0$ Тл являются постоянными; формирование качественных показателей на контактных поверхностях зубьев резьбонарезного инструмента необходимо осуществлять оперированием временем полирования в пределах $t = 60 \dots 210$ с.

Наилучшие условия магнитно-абразивного полирования и разработанный во второй главе способ, представленный на рисунке 1, позволили подготовить сложнопрофильный инструмент в соответствии с функциональными особенностями его рабочих участков и закономерностями черновой, получистовой и чистовой операций.

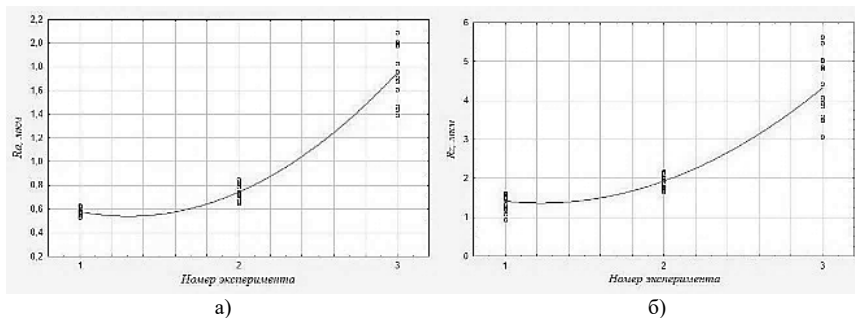


Рисунок 8 – Графические зависимости параметров шероховатости Ra (а) и Rz (б) боковых сторон внутреннего резьбового профиля от номера эксперимента, где: эксперимент №1 – метчик, предварительно подготовленный в соответствии с функциональными особенностями его рабочих участков и закономерностями черновой, получистовой и чистовой операций; эксперимент №2 – метчик, предварительно подготовленный по всей рабочей зоне при наилучших условиях магнитно-абразивного полирования; эксперимент №3 – метчик, предварительно не подвергнутый процессу МАП

После подготовки резбонарезного инструмента были проведены сравнительные экспериментальные исследования по изготовлению внутренних резьбовых поверхностей различными образцами метчиков. На рисунке 8 приведены графические зависимости для параметров шероховатости Ra и Rz . Аналогичные графики также построены для Rq , Rk , Rpk , Rvk и представлены в тексте диссертации. Средние значения всех параметров шероховатости сведены в таблицу.

Таблица – Результаты экспериментальных исследований по изготовлению внутренних резьбовых поверхностей различными образцами метчиков

Номер эксперимента	Параметры шероховатости боковых сторон резьбового профиля, мкм					
	Ra	Rz	Rq	Rk	Rpk	Rvk
№1	0,58	1,5	0,75	0,92	0,63	1,05
№2	0,73	1,9	1,01	1,35	0,9	1,52
№3	1,77	4,3	2,02	3,52	2,5	2,23

В результате проведенных сравнительных экспериментальных исследований установлено, что:

1. При технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей метчиком, предварительно подготовленным методом МАП в соответствии с функциональными особенностями его рабочих участков и закономерностями черновой, получистовой и чистовой операций, уменьшение параметров шероховатости боковых сторон внутреннего

резьбового профиля происходит в 2,1 – 4,0 раза по сравнению с метчиком, предварительно не подвергнутым процессу МАП.

2. При технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей метчиком, предварительно подготовленным методом МАП в соответствии с функциональными особенностями его рабочих участков и закономерностями черновой, получистовой и чистовой операций, уменьшение параметров шероховатости боковых сторон внутреннего резьбового профиля происходит в 1,3 – 1,5 раза по сравнению с метчиком, предварительно обработанным при наилучших условиях магнитно-абразивного полирования.

3. При технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей метчиком, предварительно подготовленным при наилучших условиях МАП, уменьшение параметров шероховатости боковых сторон внутреннего резьбового профиля происходит в 1,5 – 2,8 раза по сравнению с метчиком, предварительно не подвергнутым процессу МАП.

На основе проведенных в диссертационной работе исследований построен алгоритм выбора рациональных микрогеометрических параметров на каждом рабочем участке резбонарезного инструмента. Алгоритм разработан для технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей диаметром от 16 до 24 мм в заготовках из коррозионно-стойких сталей марки 08X18H10T с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Анализ современного состояния вопроса повышения качества сопрягаемых резьбовых поверхностей из коррозионно-стойкого материала, работающих в условиях динамических нагрузок, показал, что поиск новых технологических решений является актуальной научной и производственной задачей. Новые современные методы, основанные на микропроцессорной технологии и тонких средствах измерения, позволяют устранить зоны перекрытий МАП и обеспечить качественную подготовку сложнопрофильного инструмента.

1. В соответствии с поставленной целью проведены комплексные экспериментальные исследования магнитно-абразивного полирования

сложнопрофильных поверхностей, которые позволили получить математические зависимости и выявить закономерности влияния технологических факторов процесса МАП на производительность обработки и параметры качества сложнопрофильных поверхностей. Результаты магнитно-абразивного полирования сложнопрофильных поверхностей являются основой при подготовке метчиков для технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента.

2. Проведены экспериментальные исследования технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента, которые позволили установить влияние состояния контактных поверхностей зубьев резьбонарезного инструмента, сформированного при различных условиях магнитно-абразивного полирования, на параметры шероховатости боковых сторон внутреннего резьбового профиля в заготовках из коррозионно-стойкого материала марки 08X18H10T.

3. Установлены условия МАП для подготовки метчиков в технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента. Подготовка резьбонарезного инструмента реализуется при помощи разработанного способа магнитно-абразивного полирования метчика (Патент на изобретение № 2569261, изобретение зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 26 октября 2015 г.).

4. Разработан алгоритм выбора рациональных микрогеометрических параметров на каждом рабочем участке резьбонарезного инструмента для технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей диаметром от 16 до 24 мм в заготовках из коррозионно-стойкого материала марки 08X18H10T с учетом предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента.

5. Выполнены научно обоснованные технические разработки и предложены практические рекомендации по технологии изготовления внутренних резьбовых поверхностей диаметром от 16 до 24 мм в заготовках из коррозионно-стойкого материала марки 08X18H10T с учетом

предварительного магнитно-абразивного полирования сложнопрофильного инструмента.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Кексин, А.И. Пути повышения качества нарезаемой резьбы / А.И. Кексин, В.В. Максаров // *Металлообработка*. – 2013. – 5-6 (77-78). – С. 17-21.

2. Кексин, А.И. Повышение эффективности технологического процесса изготовления внутренних резьб в изделиях горных машин / А.И. Кексин, В.В. Максаров // *Металлообработка*. – 2016. – №2 (92). – С. 27-33.

3. Кексин, А.И. Технологическое повышение качества сложнопрофильных поверхностей методом магнитно-абразивного полирования / А.И. Кексин, В.В. Максаров // *Металлообработка*. – 2017. №1 (97). – С. 47-57.

Результаты интеллектуальной деятельности:

4. Кексин, А.И. Пат. 2569261 Российская Федерация, МПК В24В 31/12 Способ магнитно-абразивного полирования метчика / А.И. Кексин, В.В. Максаров; заявитель и патентообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» – № 2014113868/02; заявл. 08.04.2014; опубл. 20.11.2015, Бюл. № 32 – 7 с.: ил.

Публикации в иностранных изданиях:

5. Keksin, A.I. Methods of increasing the quality of the thread pitches / A.I. Keksin, V.V. Maksarov // *Agronomy Research*. – 2013. – Vol. 11, №1. – pp. 139-146.

Публикации в других отечественных изданиях:

6. Кексин, А.И. Магнитно-абразивная полировка метчиков для глухих отверстий / А.И. Кексин, В.В. Максаров // *Сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Приоритетные научные направления: от теории к практике»*. – 2013. – С. 88-93.

7. Кексин, А.И. Назначение и возможности магнитно-абразивной обработки / А.И. Кексин, В.В. Максаров // *Сборник материалов II*

Международной конференции «Инновационные материалы и технологии в машиностроительном производстве». – 2013. – С. 119-121.

8. Кексин, А.И. Повышение качества нарезаемой резьбы / А.И. Кексин, В.В. Максаров // Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции «Научная дискуссия: вопросы технических наук». – 2013. – С. 69-73.

9. Кексин, А.И. Повышение качества резьбовых поверхностей / А.И. Кексин, В.В. Максаров // Сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Теория и практика актуальных исследований». – 2013. – С. 259-261.

10. Кексин, А.И. Повышение стойкости метчиков магнитно-абразивным полированием / А.И. Кексин, В.В. Максаров // Сборник материалов X Международной научно-практической конференции «Научная дискуссия: инновации в современном мире». – 2013. – С. 30-34.

11. Кексин, А.И. Технология магнитно-абразивного полирования резьбонарезного инструмента // Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции «Инновации на транспорте и в машиностроении». – 2016. – С. 58-61.

12. Кексин, А.И. Повышение качества поверхностного слоя изделий при нарезании внутренних резьб метчиками / А. И. Кексин, В.В. Максаров // Сборник материалов XV Международной молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки». – Нижний Новгород, 2016. – С. 170-171.