

АННОТАЦИЯ
диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 6D071200 - «Машиностроение»

Сагитова Алмата Ардаковича

**РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА
МНОГОЛЕЗВИЙНОЙ РОТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ
ПОВЕРХНОСТИ СОПРЯГАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Актуальность исследовательской работы

Машиностроение является важнейшей отраслью экономики любого индустриально развитого государства. Выпуская все устройства, машины, станки, приборы, а также товары, необходимые населению, машиностроительная отрасль обеспечивает стабильность работы агрокомплекса, энергетического и металлургического секторов, транспорта и других отраслей экономики. Поэтому развитие отрасли сельскохозяйственного и производственного машиностроения является главной целью государственной программы Республики Казахстан по развитию машиностроения.

Механическая обработка деталей составляет 60% от общей трудоемкости их производства. Кроме того, несмотря на широкое использование прогрессивных методов производства деталей машин, таких как, точная штамповка и литье, порошковая металлургия и т. д., в течение длительного времени можно увидеть, что обработка материалов путем резания является наиболее универсальным методом, и во многих случаях это единственный возможный метод, который может обеспечить получение деталей с определенными эксплуатационными свойствами. Повышения производительности обработки достигается за счет применения новых инструментов для механической обработки и методов их упрочнения, оптимизация рабочих углов режущего инструмента, использования новых технологических средств (жидкостей) смазки и охлаждения, а также подготовки способов подачи их в зону резания.

Проведенные исследования показали, что в механообрабатывающей отрасли самым узким местом является изготовления деталей с сопрягаемыми поверхностями. В машиностроении качества сопрягаемых поверхностей деталей обеспечивается преимущественно на финишных операциях технологического процесса- шлифованием, притиркой, полированием, доводкой и т.д. К сопрягаемым поверхностям деталей тело вращения можно отнести наружные цилиндрические поверхности, на которых устанавливаются подшипники, шестерни, зубчатые колеса и др. Типовой технологический процесс механической обработки сопрягаемых поверхностей состоит из следующих операции: токарная (черновая, чистовая), шлифование (черновая, чистовая), полирование.

Известно также, что использование таких различных операций обработки имеет много недостатков. К ним относятся появление отклонений в установке при использовании различных станков для выполнения различных операций, отрицательно влияющих на чистоту и точность поверхности, и необходимость

выполнения множества процессов для обеспечения необходимых требований к поверхности. Это увеличивает стоимость обработки детали. В этой связи для решения вышеуказанных задач целесообразно создание эффективного комбинированного способа многолезвийной ротационно-фрикционной обработки.

При комбинированной многолезвийной ротационно-фрикционной обработке выполняется две разные операции: нагревание слоя обрабатываемой поверхности и резание. После нагрева обрабатываемой поверхности создаются хорошие условия для выполнения процесса резания, что благоприятно сказывается на шероховатости и точности обрабатываемой поверхности.

Цель исследования

Целью работы является разработка комбинированного способа многолезвийной ротационно-фрикционной обработки сопрягаемых поверхностей деталей, которая обеспечить повышение показателей качества и сокращение механических операции технологического процесса.

Задачи исследования:

- Анализ проблемы обеспечения требований к деталям, имеющим наружные сопрягаемые цилиндрические поверхности в условиях отечественных машиностроительных производств;
- Анализ существующих способов и методов обработки наружных сопрягаемых цилиндрических поверхностей деталей;
- Разработка комбинированного способа многолезвийной ротационно-фрикционной обработки и конструкции инструмента с возможностью нагрева обрабатываемого слоя для обработки наружных цилиндрических поверхностей;
- Исследование напряженно-деформированного состояния деталей комбинированного многолезвийного ротационно-фрикционного инструмента и оптимизация их параметров с помощью специальных компьютерных программ (Apm Winmachine, ANSYS, Solidworks);
- Экспериментальное исследование процесса комбинированной многолезвийной ротационно-фрикционной обработки с возможностью нагрева обрабатываемого слоя наружных сопрягаемых цилиндрических поверхностей;
- Повышение износостойкости ротационного чашечного резца путем исследования и применения способа приработки;
- Моделирование формирования температуры в зонах соприкосновения нагревающего чашечного резца и обрабатываемой поверхности, режущего чашечного резца и снимаемого слоя в процессе комбинированной многолезвийной ротационно-фрикционной обработки, а также процесса приработки чашечного резца с помощью программ ANSYS и LS Pre-Post;
- Расчет экономической эффективности разработанной технологии и разработка рекомендаций для внедрения в производство.

Объект исследования

Технологии обработки наружных сопрягаемых цилиндрических поверхностей деталей.

Предмет исследования

Закономерности процесса резания при комбинированной многолезвийной ротационно – фрикционной обработке с нагревом обрабатываемого слоя.

Методология исследования

- Теоретические исследования выполнялись, опираясь на основы науки о теории резания материалов, технологии машиностроения, технологии металлов и основы материаловедения.

- Экспериментальные исследования проводились в условиях научных лабораторных баз кафедр «ТОМиС» КарТУ им. А. Сагинова и «ТМО» КАТИУ им. С.Сейфуллина.

- Качественные показатели обработанных поверхностей измеряли с помощью электронных устройств: портативного измерителя шероховатости TR 100 и малогабаритного динамического измерителя твердости МЕТ У1. В процессе резания и после остановки процесса обработки температуру измеряли мультиметром и пирометром.

- Исследование напряженно-деформированного состояния деталей специального инструмента и оптимизация их параметров, формирование температуры в зонах соприкосновения нагревательного чашечного резца и обрабатываемой поверхности, режущего чашечного резца и снимаемого слоя в процессе комбинированной многолезвийной ротационно–фрикционной обработки, а также процесс приработки и формирования чашечного резца определялись с помощью программ ANSYS и LS Pre-Post.

Научная новизна работы заключается:

1. В комплексной разработке комбинированной технологии многолезвийной ротационно-фрикционной обработки наружных сопрягаемых цилиндрических поверхностей деталей, который включают:

- комбинированного способа многолезвийной ротационно-фрикционной обработки позволяющий нагрев срезаемого слоя;

- конструкцию специального комбинированного многолезвийного ротационно-фрикционного инструмента (СКМРФИ);

- способа повышения износостойкости режущей кромки чашечно-режущего резца специального комбинированного многолезвийного ротационно-фрикционного инструмента.

2. Установлено, что

- при комбинированной многолезвийной ротационно-фрикционной обработке температура нагрева обрабатываемого слоя достигает 180°C, что благоприятно сказывается на реализации механизма резания;

- при использовании оптимальных режимов приработки ($n_{штп} = 40$ об/мин; $\beta = 100$; $S = 0,81$ мм/об; $t = 0,5$; $\tau_{п} = 3$ мин) период стойкости режущего чашечного резца увеличивается на 25-30 мин.

3. В выявлении зависимостей:

– для оценки шероховатости обработанной поверхности $Ra=18,137+0,0002n^2-0,18n-0,855\beta+0,014\beta^2-16,07t+6,12t^2+0,87t\cdot\beta$.

– для определения периода стойкости инструмента $T=119,13+0,816 \tau_n - 3,42S+0,83 n_{\text{ум}}$.

4. Впервые предложена метод приработки как способ повышения износостойкости чашечных резцов и выполнены моделирование процесса и оптимизация конструкции СКМРФИ с использованием ПК ANSYS и LS Pre-Post.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Комбинированный способ многолезвийной ротационно-фрикционной обработки сопрягаемых поверхностей деталей. Конструкция комбинированного многолезвийного ротационно-фрикционного инструмента.

2. Результаты экспериментального исследования способа комбинированной многолезвийной ротационно – фрикционной обработки сопрягаемых поверхностей деталей позволяющей нагрев срезаемого слоя.

3. Результаты экспериментального исследования способа приработки режущего чашечного резца комбинированного многолезвийного ротационно – фрикционного инструмента.

4. Уравнение зависимости шероховатости поверхности от режимов резания после обработки комбинированным многолезвийным ротационно – фрикционным способом позволяющий нагрев срезаемого слоя и уравнение зависимости периода стойкости чашечного резца от режимов резания.

5. Результаты моделирование процесса комбинированного многолезвийного ротационно-фрикционного способа обработки, а также процесса приработки чашечного резца с помощью программ ANSYS и LS Pre-Post.

Практическая значимость заключается в проектировании специальной конструкции комбинированного многолезвийного ротационно-фрикционного инструмента и подготовка его опытного образца, определении оптимальных значений режимов резания для обеспечения требуемого качества обрабатываемой поверхности сопрягаемых деталей. Определение оптимальных значений режимов предварительной приработки чашечного резца для увеличения периода стойкости резца. Разработка методики исследования тепловых явлений в процессе обработки в специальных компьютерных программах, а также оптимизация конструкции инструмента.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов подтверждается корректностью постановки задачи, адекватностью теоретических и экспериментальных исследований. Получены патенты Республики Казахстан (РК) на способ ротационно-фрикционной обработки и конструкцию чашечного резца. На методику расчета конструкции многолезвийного ротационно-фрикционного инструмента в среде ANSYS WB получено свидетельство РК о государственной регистрации прав на объект авторского права на интеллектуальную собственность.

Выполнение работы

Научно-исследовательские работы по диссертации выполнены в рамках грантовой темы «Повышение износостойкости металлорежущих инструментов методом приработки (регистрация №АР14972884)». Результаты диссертационной работы внедрены в производство ТОО «Механический завод РАПИД» (г. Астана, 2023г.) и в процесс обучения бакалавров по программе механики и металлообработки Казахского агротехнического исследовательского университета им. С. Сейфуллина.

Личный вклад автора состоит в постановке задач и разработке методики исследования; разработке специальных конструкций и подготовке опытных образцов комбинированного многолезвийного ротационно-фрикционного инструмента, определении оптимальных режимов обработки, планировании и проведении экспериментальных исследований комбинированной многолезвийной ротационно-фрикционной обработки сопрягаемых поверхностей.

Апробация работы

Основные положения докторской диссертации докладывались и обсуждались:

- международная научно-практическая конференция Сагиновские чтения (г. Караганда, 2018-2020гг.);
- на заседании кафедры ТОМиС НАО "Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова" (2023 г.);
- на научных семинарах кафедры "Технология машиностроения" Саратовского государственного технического университета им. Ю. А. Гагарина и ее филиала кафедры «Технологии и технологии обработки материалов» Энгельсского технологического института (г. Энгельс, Россия, 2018 г.);
- на техническом совещании ТОО «ИНТЕХКОМ» (г. Саратов, Россия, 2018г.).

Публикации

По результатам докторской диссертации опубликовано 18 работ на русском, казахском и английском языках, в том числе: 4 статьи в международном научном издании, по данным базы Clarivate или входящем в базу Scopus, 5 статей в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан. Доклады представленной работы были рассмотрены на 5 международных конференциях. Получено 2 патента РК на полезную модель, 1 патент РК на изобретение и 1 свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права.

Объем и структура работы

Докторская диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 169 страницах машинописного текста, которые поясняются 102 рисунками, 18 таблицами, списком литературы из 108 наименований, 8 приложениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научные исследования выполненные в условиях отечественных машиностроительных производств, показали, что существует проблема в изготовлении деталей с сопрягаемыми цилиндрическими поверхностями. Технологический процесс механической обработки таких деталей состоит в основном из следующих механических операции: точение (черновое и чистовое), шлифование (черновое и чистовое), полирование, доводка и др. Известно, что применение большего количества механических операции увеличивает погрешности и себестоимости обработки, при этом снижается точность и производительность обработки. При выполнении научно-исследовательских работ направленные для решения данной проблемы были получены следующие результаты.

1. Разработан метод комбинированной многолезвийной ротационно-фрикционной обработки с возможностью нагрева обрабатываемой поверхности и разработан опытный образец конструкции комбинированного многолезвийного ротационно-фрикционного инструмента, позволяющий осуществлять ее.

2. Разработан метод повышения износостойкости режущих чашечных резцов комбинированного многолезвийного ротационно-фрикционного инструмента.

3. При проектировании комбинированного многолезвийного ротационно-фрикционного инструмента были определены и оптимизированы параметры, обеспечивающие прочность инструмента.

4. Методом комбинированной многолезвийной ротационно-фрикционной обработки с возможностью нагрева обрабатываемой поверхности определены оптимальные значения режимов резания для обработки деталей с сопрягаемыми цилиндрическими наружными поверхностями:

- для обработки заготовок из материала сталь 45: $n_{\text{штп}} = 800$ об /мин; $s = 0,12$ мм/об; $t = 0,3$ мм, $\beta = 15^\circ$;

- для обработки заготовок из материала сталь 40X: $n_{\text{штп}} = 850$ об /мин; $s = 0,11$ мм/об; $t = 0,3$ мм, $\beta = 15^\circ$.

5. Путем обработки результатов исследований были выявлены зависимости:

- для оценки шероховатости обработанной поверхности $Ra = 18,137 + 0,0002n^2 - 0,18n - 0,855\beta + 0,014\beta^2 - 16,07t + 6,12t^2 + 0,87t \cdot \beta$.

– для определения периода стойкости инструмента $T=119,13+0,816 \tau_n - 3,42S+0,83 n_{min}$.

6. По результатам имитационного исследования, выполненного в программе ANSYS WB, установлено, что увеличение частоты вращения шпинделя при нагревании обрабатываемой поверхности заготовки из материала стали 45 положительно влияет на повышение температуры в зоне нагрева.

7. По результатам моделирования процесса резания металла с помощью программы ANSYS/LS-Dyna (LS Pre-Post) установлено, что нагрев обрабатываемой поверхности заготовки благоприятно влияет на повышение температуры в зоне резания и уменьшение величины общих сил при обработке режущим чашечным резцом.

8. Определены оптимальные режимы приработки чашечных резцов: при обработке заготовок из стали 45 и стали 20X: $n_{шп} = 40$ об/мин, $\beta = 10^\circ$, $S=0,81$ мм/об, $t = 0,5$; $\tau_n = 3$ мин.

9. По результатам имитационных исследований, выполненных в программе ANSYS WB, установлено, что в процессе приработки на режущей кромке чашечного резца образуется упрочненный слой и его толщина составляет 0,7 мм при обработке материала сталь 45 и 0,3 мм при обработке материала сталь 20X.

10. Установлено, что себестоимость обработки детали способом комбинированной многолезвийной ротационно-фрикционной обработки уменьшается на 156,6%, а трудоемкость обработки – на 174,8% по сравнению с традиционным методом обработки деталей с сопрягаемыми поверхностями.

11. Результаты диссертационной работы внедрены в производство ТОО «Механический завод Рапид». Ожидаемая экономическая эффективность составляет ~1,37 млн. тенге в год.