

АННОТАЦИЯ

**диссертации на соискание степени доктора философии PhD по
направлению подготовки: 8D071 – «Инженерия и инженерное дело»,
ГОП D103 – «Механика и металлообработка»
образовательной программе: 8D07105 – «Механическая инженерия»**

Таттимбек Гулерке

«Разработка способа термофрикционной обработки зубьев крупномодульных зубчатых колес»

Актуальность исследования. Государственная программа индустриально-инновационного развития (ГПИИР) РК на 2020–2025 годы направлена на диверсификацию экономики и рост конкурентоспособности обрабатывающей промышленности, включая машиностроение, через привлечение инвестиций, развитие экспорта и внедрение новых технологий. Основной акцент делается на создание наукоемких производств, развитие человеческого капитала и инфраструктуры.

В Казахстане реализуется Комплексный план развития машиностроения на 2024–2028 годы, направленный на увеличение производства в 2,17 раза и кратный рост экспорта. Основные усилия сфокусированы на автомобилестроении, железнодорожном, сельскохозяйственном, горно-металлургическом и электротехническом машиностроении, а также на локализации производства комплектующих и внедрении новых технологий.

В результате исследования состояния проблемы в условиях отечественных машиностроительных предприятий было выявлено, что существует проблема при обработке крупно модульных прямозубых зубчатых колес связанная с обеспечением качества и повышением производительности, а также с большим расходом зуборезного инструмента из-за преждевременного износа. Также было установлено, что от общего объема зубчатых колес, изготавливаемых в условиях отечественных машиностроительных производств более 45% составляет цилиндрические зубчатые колеса. Из них 60% относится к прямозубым цилиндрическим зубчатым колесам, которые подвергаются фрезерованию впадин зубьев с использованием дисковых модульных фрез методом копирования. Решения вышеуказанной проблемы требует необходимость разработки способа обработки впадин зубьев прямозубых цилиндрических зубчатых колес.

В связи с этим работа направленная к разработке ресурсосберегающего способа обработки впадин зубьев прямозубых цилиндрических зубчатых колес является **актуальной задачей**.

Целью работы является разработка ресурсосберегающего способа обработки впадин зубьев прямозубых цилиндрических зубчатых колес.

Объект исследования: Технологические процессы обработки зубьев цилиндрических зубчатых колес.

Предмет исследования: Закономерности влияния режимов резания на показатели качества термофрикционной обработки впадин зубьев цилиндрических зубчатых колес.

Методика исследования:

Методика научно-экспериментальных исследований основана на положении таких наук, как технология машиностроения, теория резания, проектирование режущего инструмента.

Экспериментальные исследования выполнены на токарно-винторезном станке 1К62 и на горизонтально фрезерном станке 6М82. Показатели качества обработанной поверхности, в частности шероховатость и твердость измерялись с помощью электронных приборов - портативный измеритель (профилометр) шероховатости TR 100 и твердомер портативный ультразвуковое ТКМ-459.

Для исследования и моделирования процесса термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением впадин зубьев цилиндрических зубчатых колес, а также для оптимизации геометрии дисковой модульной фрезы трения использовались компьютерные программы DEFORM 3D и ANSYS Workbench .

Задачи исследования:

1. Изучение состояние проблемы. Анализ существующих методов и подходов к обработке зубьев крупномодульных прямозубых цилиндрических колес. Изучение причин их преждевременного износа и износа зуборезного инструмента.

2. Разработка конструкции дисковой модульной фрезы трения и изготовление опытного образца.

3. Экспериментальное исследование процессов обработки впадин зубьев крупномодульных прямозубых цилиндрических колес термофрикционными способами.

4. Математическое моделирование тепловых явлений при термофрикционной обработке зубьев крупномодульных прямозубых цилиндрических колес и оптимизация геометрии дисковой модульной фрезы трения с использованием компьютерных программ DEFORM 3D и ANSYS Workbench.

5. Расчет экономической эффективности. Разработка рекомендаций для производства. Внедрение результатов в производство.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработка способа термофрикционной обработки впадин зубьев крупномодульных прямозубых цилиндрических зубчатых колес.

2. Экспериментально были установлены, что увеличение скорости резания и подачи оказывает положительное влияние на показатели качества (шероховатость, твердость) обработанной поверхности. Исходя из этого были определены оптимальные значения режимов резания:

- при обработке традиционным ТФФ - $n_{\text{шп}}=2000$ об/мин; $S=0,52$ мм/об;
- при обработке ТФФ с импульсным охлаждением - $n_{\text{шп}}=1250$ об/мин;
 $S_{\text{пр}}=100$ мм/мин; $t=22,5$ мм.

3. Выявлены зависимости для оценки показателей качества при обработке:

- традиционным ТФФ - $Rz=39,31-0,0155 \cdot V+64,1 \cdot S$;
- ТФФ с импульсным охлаждением - $Rz=56-0,013 \cdot n+0,194 \cdot S-0,59 \cdot L_1$;
 $HB=343,335-0,166n + 0,1 \cdot S + 6,06t - 1,94 \cdot L_1$

4. Впервые с использованием компьютерных программ DEFORM 3D и ANSYS Workbench было проведено исследование тепловых явлений при термофрикционной обработке впадин зубьев крупномодульных прямозубых зубчатых колес и оптимизация геометрии дисковой модульной фрезы трения и было установлено, что:

- с увеличением скорости резания значение температуры увеличивается, а при этом расстояние её распространения сокращается, что способствует локализацию температуры непосредственно в зоне контакта «инструмент-заготовка»;

- для лучшей кандидатной точки получены ориентировочные значения $a \approx 3$ мм, $b \approx 10$ мм и $c \approx 4$ мм при $P_4 \approx 33,306$ МПа, $P_5 \approx 295,93$ °С и $P_6 \approx -5,7488 \times 10^{-5}$ м.

Положения выносимые на защиту:

1. Способ термофрикционной обработки впадин зубьев крупномодульных прямозубых цилиндрических зубчатых колес.
2. Результаты экспериментального исследования процесса термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением впадин зубьев прямозубых цилиндрических зубчатых колес.
3. Зависимости для оценки показателей качества при обработке специальной дисковой модульной фрезой трения.
4. Результаты исследование тепловых явлений при термофрикционной обработке впадин зубьев крупномодульных прямозубых зубчатых колес и оптимизация геометрии дисковой модульной фрезы трения с использованием компьютерных программ DEFORM 3D и ANSYS Workbench.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов подтверждается корректностью постановки задачи исследования, адекватностью теоретических и экспериментальных исследований. Получены патенты Республики Казахстан (РК) на конструкцию дисковой модульной фрезы трения (№9408) и на способ термофрикционной обработки плоскости и конструкция диска трения (№7579). На методику многокритериальной оптимизации геометрии дисковой модульной фрезы трения для термофрикционной обработки впадин зубьев прямозубых цилиндрических колёс получено свидетельство РК о государственной регистрации прав на объект авторского права на интеллектуальную собственность.

Практическая значимость заключается в разработке:

- способа термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением впадин зубьев прямозубых цилиндрических зубчатых колес;
- специальной конструкции и изготовлений опытных образцов дисковых модульных фрез трения, технологической и инструментальной оснастки;
- методики многокритериальной оптимизации геометрии дисковой модульной фрезы трения для термофрикционной обработки впадин зубьев прямозубых цилиндрических колёс;
- рекомендации для производства.

Личный вклад автора заключается в постановке задач и разработке методики исследования; разработке и изготовлении специальных конструкций дисковых модульных фрез трения, технологической и инструментальной оснастки; определение оптимальных режимов обработки, организации и проведении экспериментальных исследований термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением впадин зубьев прямозубых цилиндрических зубчатых колес.

Диссертационная работа направлена на выполнение основных задач Государственной программы индустриально-инновационного развития РК на 2020–2025 годы и Комплексного плана развития машиностроения на 2024–2028 годы. А также основные результаты диссертации внедрены в производство ТОО «KAZTECHPRO» (г. Караганда, 2024).

Апробация работы. Основные положения докторской диссертации докладывались и обсуждались на заседании кафедры «Технологические машины и оборудования» КазАТИУ им. С. Сейфуллина (2022-2026 гг.), а также на конференциях международного уровня:

- международная научно-практическая конференция «Жастар жəне ғылым – болашаққа көзқарас» (Сейфуллин оқулары – 18), (Астана, 2022);
- международная конференция по комплексному инновационному развитию Зарафшанского региона: достижения, вызовы и перспективы, (Навои, 2022, 2025);
- «Машинажасау саласын дамыту жəне жаңа формациядағы жоғары білікті кадрларды даярлау» атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференция (Астана, 2025).

Публикации

По результатам докторской диссертации опубликовано 15 работ на русском, казахском и английском языках, в том числе: 2 статьи в международном научном издании, по данным базы Clarivate или входящем в базу Scopus, 3 статей в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки РК и 1 статья в Республиканском научном журнале. Доклады представленной работы были рассмотрены на 4 международных конференциях. Получено 2 патента РК на полезную модель и 3 свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права.

Объем и структура работы. Докторская диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 121 страницах машинописного текста, которые поясняются 63 рисунками, 15 таблицами, списком литературы из 101 наименований, 5 приложениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении диссертационной работы, в результате исследования состояния отечественных машиностроительных предприятий было выявлено, что существует проблема при обработке крупно модульных прямозубых зубчатых колес связанная с обеспечением качества и повышением производительности, а также с большим расходом зуборезного инструмента из-за преждевременного износа. Для решения этой проблемы была выполнена научно-исследовательская работа и достигнуты следующие результаты:

1. Разработан способ термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением впадин зубьев прямозубых цилиндрических зубчатых колес.

2. Разработана конструкция специальной дисковой модульной фрезы трения и методика для многокритериальной оптимизации её параметров с использованием программного комплекса ANSYS Workbench.

3. Выявлены зависимости для оценки показателей качества при обработке специальной дисковой модульной фрезой трения:

- традиционным ТФФ - $R_z = 39,31 - 0,0155 \cdot V + 64,1 \cdot S$;

- ТФФ с импульсным охлаждением

$$- R_z = 56 - 0,013 \cdot n + 0,194 \cdot S - 0,59 \cdot L_1$$

$$- HB = 343,335 - 0,166n + 0,1 \cdot S + 6,06t - 1,94 \cdot L_1$$

Установлено, что наиболее сильно влияющими параметрами является подача x_2 (S) и частота вращения шпинделя x_1 ($n_{\text{шп}}$), при их увеличении значение шероховатости уменьшается. Эти результаты были подтверждены при выполнении экспериментальных исследований.

4. Результаты экспериментального исследования способа термофрикционного фрезерования с импульсным охлаждением впадин зубьев прямозубых цилиндрических зубчатых колес показали, что можно обеспечить удовлетворительные значение шероховатости ($R_z = 40-18$ мкм) и твердости ($HB \leq 217-248$). Установлено, что увеличение частоты вращения шпинделя и скорости подачи оказывают положительные влияние на шероховатость и твердость обработанной поверхности. Исходя из этого были определены оптимальные режимы обработки:

- при обработке традиционным ТФФ - $n_{\text{шп}} = 2000$ об/мин; $S = 0,52$ мм/об;

- при обработке ТФФ с импульсным охлаждением - $n_{\text{шп}} = 1250$ об/мин; $S_{\text{пр}} = 100$ мм/мин; $t = 22,5$ мм.

5. Результаты исследования распространения температуры с помощью специального программного комплекса DEFORM 3D показали, что увеличение частоты вращения дисковой модульной фрезы трения положительно сказывается на повышение температуры в зоне контакта

«инструмент-заготовка». При этом диапазон её распределения вглубь по телу заготовки уменьшается.

6. Разработаны рекомендации для производства. Результаты диссертации внедрены в производство ТОО «KAZTECHPRO»
Экономический эффект из расчета на один инструмент составляет 142000 тенге.