

ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ЛУКИЧЕВ Александр Владимирович

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УВЕЛИЧЕНИЯ
СРОКА СЛУЖБЫ ЗУБЧАТЫХ МУФТ

Специальность 05.02.02 — «Машиноведение и детали машин»,
05.02.08 — «Технология машиностроения»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ХАРЬКОВ 1994

118 23. 11. 94

Диссертация является рукописью.
Работа выполнена на кафедре "Основы проектирования машин"
Донецкого политехнического института.

Научный руководитель: - доктор технических наук,
профессор Терник Н. Э.
- кандидат технических наук,
доцент Финиченко В. А.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук,
профессор Гапонов В. С.
- кандидат технических наук,
доцент Котляров Б. С.


Ведущее предприятие - Новокраматорский машино-
строительный завод

Защита состоится 22 апреля 1994 г. в 10 часов на
заседании специализированного совета Д 068.39.06 при Харьковском
политехническом институте по адресу: 310002, Харьков, ГСП, ул.
Фрунзе, 21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан 22 марта 1994 г.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук, доцент)  В. В. Воробовой

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00801538 (P)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Ускорение темпов технического прогресса ведет к непрерывному повышению требований к нагрузочной способности и долговечности элементной базы технологических систем. Это в полной мере относится к зубчатым муфтам, обеспечивающим связь между агрегатами ТС в условиях наличия несоосности соединяемых валов. При этом значительный рост напряженности их работы сочетается с необходимостью снижения массы и увеличения ресурса работы, что является ограничивающим фактором при создании высокоэффективных производств с требуемым уровнем автоматизации и интенсификации производственных процессов.

Одним из важнейших направлений совершенствования зубчатых муфт является применение различных видов модификаций зубьев. Эффективность их применения во многом зависит от изнашивания активных поверхностей зубьев, совершенствования геометрии зубьев и технологии их изготовления. Однако анализ опыта эксплуатации зубчатых муфт показал, что используемые мероприятия не позволяют в достаточной мере повысить несущую способность и ресурс работы зубчатых муфт. Более 54% зубчатых муфт работают в условиях скватывания I рода, 11% в условиях абразивного износа, 9% подвержены фреттинг-коррозии и только около 20% работают в условиях окислительного износа. Это связано со сложностью условий эксплуатации зубчатых муфт металлургического оборудования: повышенными температурами, запыленностью, загазованностью; непрерывностью производственного цикла; сложностью смазки, регулировки и замены в процессе эксплуатации; возникающим крошечным контактом зубьев; несоосностью и т.п. В абсолютном большинстве случаев преждевременный выход муфт из строя вызван несовершенством конструкции (профиля) зубьев втулки, недостаточной точностью нарезки заданного профиля, отсутствием надежных методов изготовления современных модификаций зубьев, упрощенной методикой расчета ресурса муфт. А использование пространственной модификации, обеспечивающей теоретически беззазорное соединение зубчатых втулки и обоймы, ограничивается сложностью ее изготовления. Поэтому возникает проблема создания модификации с геометрическими параметрами близкими к пространственной, но обрабатываемой традиционными методами.

Исходя из вышеизложенного, проблема исследования пространственной модификации, разработки приближенной к ней модификации с учетом условий реального изнашивания активных поверхностей зубьев и способов точного получения этой модификации, является актуальной научной проблемой.

Целью работы является разработка методов увеличения срока службы зубчатых муфт на основе дальнейшего развития теории зацепления зубчатых муфт за счет разработки приближенной к пространственной модификации активных поверхностей зубьев зубчатых муфт с учетом реального процесса их изнашивания и создание комплекса методов их получения.

Для достижения поставленной цели определены следующие основные задачи:

- исследовать особенности разрушения зубчатых муфт и выявить основные факторы, влияющие на их срок службы;

- разработать приближенную к пространственной геометрии модификацию активных поверхностей зубьев зубчатых муфт, основанную на расчете параметров линии смещения исходного контура для ее получения, обеспечивающую повышение нагрузочной способности и увеличение срока их службы;

- разработать комплекс методов проектирования, обработки, настройки зубчатых муфт с предлагаемым новым профилем;

- разработать методику расчета срока службы зубчатых муфт, с учетом особенностей изнашивания активных поверхностей зубьев, позволяющую на стадии проектирования выполнить сравнительный анализ сроков службы муфт и оценить эффективность предлагаемых мероприятий.

Методы исследования. В работе использовались основные положения теории зацепления зубчатых муфт, теории изнашивания и теории автоматизированного проектирования, аппарат синтеза зубчатых профилей, методы моделирования на ЭВМ. Эффективность предложенных методов и средств оценивалась экспериментальным путем при разработке и эксплуатации предложенных профилей, способов и устройств для их получения.

Научная новизна состоит в следующем:

- впервые разработана геометрия зубьев приближенная к пространственной модификации зубьев зубчатых муфт, основанная на анализе процесса изнашивания активных поверхностей зубьев и формо-

образования естественной, пространственной модификации как в процессе нарезания так и в процессе приработки;

- предложен новый метод расчета линии смещения исходного контура зубообрабатываемого инструмента, позволяющий оптимизировать процесс синтеза приближенной к пространственной модификации и получить возможность обработки ее на традиционном зубообрабатываемом оборудовании;

- разработан комплекс методов проектирования, обработки, настройки, центрирования, приработки зубчатых муфт, позволяющий полностью реализовать преимущества пространственной и приближенной к ней модификаций, включающий специальные конструкции, способы и устройства;

- разработан метод расчета срока службы зубчатых муфт численными методами, учитывающий изменение профиля зуба, нагрузок, площадок взаимодействия в процессе изнашивания, обеспечивающий возможность оптимизации предлагаемого приближенного к пространственному профилю зубьев.

Основные положения, выносимые на защиту,

1. Результаты исследования процесса зацепления зубчатых муфт показывают, что распределение нагрузки между зубьями муфты, форма и размеры пятна контакта, путь и скорость трения скольжения зубьев являются функцией модификации активных поверхностей зубьев и могут быть определены и учтены на этапе проектирования зубчатого зацепления.

2. Новая геометрия зубьев муфт, приближенная к пространственной модификации.

3. Результаты экспериментальных исследований показали, что формирующаяся в процессе приработки естественная модификация зубьев втулки определяется условиями зацепления и зависит в основном от угла перекоса и смещения осей соединяемых валов. Поэтому получение пространственной или приближенной к ней модификации в процессе изготовления зубьев позволяет увеличить срок службы.

4. Новые способы обработки зубчатых муфт, нетрадиционный комплекс методов проектирования, обработки, настройки, центрирования, приработки зубьев зубчатых муфт, позволяющий получить и полностью реализовать достоинства пространственной либо приближенной к ней модификаций.

5. Метод расчета срока службы зубчатых муфт технологического оборудования с учетом реальных условий их эксплуатации, отличающийся учетом в процессе расчета изменения вследствие изнашивания нагрузки, профиля зуба, площадок взаимодействия, пути трения, примененный на стадии проектирования.

Практическая ценность работы заключается в том, что в результате проведенных исследований разработаны и реализованы пространственная и приближенная к ней модификация зубьев, обеспечивающая возможность повысить срок службы в 1,8...2,0 раза, а также способы их изготовления, позволяющие увеличить производительность и точность обработки зубьев на 20-40%, снизить себестоимость изготовления в 2...3 раза.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы использованы при модернизации зубообрабатывающего оборудования, разработке новых профилей с продольной модификацией зуба и способов их обработки традиционными методами, ресурсных исследованиях в ПО "Электростальтяжмаш", при конструировании зубчатых муфт с повышенными нагрузочной способностью и сроком службы в ПО "Завод им. Малышева", при экспериментальных исследованиях натуральных зубчатых муфт и в учебном процессе в Донецком политехническом институте, при проектировании зубчатых муфт в Херсонском индустриальном институте, при экспериментальных исследованиях новых разработанных способов и устройств для получения пространственной и приближенной к ней модификации на Макеевском металлургическом комбинате.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались на научно-педагогической конференции ДПИ (1988г.), расширенных заседаниях кафедр "Детали машин" (1987г.) и "Основы проектирования машин" ДПИ (1989, 1992 годы), VI Всесоюзной конференции "Теплофизика технологических процессов" (Ташкент, 1984 г.), Всесоюзной научно-технической конференции "Новые технологические процессы и оборудование для поверхностной пластической обработки материалов" (Брянск, 1986 г.), IV Всесоюзной конференции "Контактная гидродинамика" (Куйбышев, 1986 г.), Республиканской научно-технической конференции "Проблемы повышения прочности и надежности элементов конструкций и приводов в машиностроении" (Севастополь, 1990 г., 2 доклада), Республиканской научно-технической конференции "Научные достижения

и опыт отраслей машиностроения - народному хозяйству" (Севастополь, 1991 г., 2 доклада), научно-технической конференции "Проблемы зубчатых передач и редукторостроения" (Харьков, 1993 г.), научно-технических семинарах лабораторий долговечности ПО "Электростальтяжмаш" (1986г.) и Макеевского металлургического комбината (1987 г.).

П у б л и к а ц и и. По теме диссертации опубликовано 20 работ. Из них 11 научно-технических статей, 8 авторских свидетельств.

С т р у к т у р а и о б ъ е м р а б о т ы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов и рекомендаций, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 140 страниц основного машинописного текста, 87 рисунков, 1 таблицы, 181 наименование использованных источников и приложения на 30 страницах. Общий объем работы - 265 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В о в в е д е н и и обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, сформулированы и обоснованы задачи исследования и представлены основные теоретические и экспериментальные положения, выносимые на защиту.

П е р в а я г л а в а посвящена аналитическому обзору и обоснованию цели исследования. Проанализировано состояние проблемы точности производства зубчатых муфт на всех этапах жизненного цикла технологической системы: проектирование, изготовление, настройка, приработка, работа, ликвидация. Предложена общая методика исследования. Дан обзор отечественных и зарубежных исследований по вопросам увеличения срока службы зубчатых муфт, видов продольной модификации зубьев и способов ее обработки, изучено влияние видов износа на износостойкость и проведен анализ зависимости износа зубьев от факторов взаимодействия их активных поверхностей.

В настоящее время промышленность выпускает рекомендуемые ГОСТ 5006-83 зубчатые муфты с бочкообразными зубьями втулок и допускаемые им - с прямыми зубьями втулок. Цель всех предлагаемых модификации - улучшить характеристики зацепления. Наиболее полно различные аспекты увеличения сроков службы, нагрузочной способности зубчатых муфт освещены в работах Абрамцова Э. Д., Букшгина Э. Гунзенова В. Е., Кауфмана С., Косыгина В. И., Николаева А. Ч. Мо-

кида И., Плотникова В. С., Полякова В. С., Рензо П., Робера А. И., Тернюка Н. Э., Уткина Б. С., Финиченко В. А., Ханзина К. М., Эльштейна Л. Б. и других. Наиболее характерные из предлагаемых видов модификации боковой поверхности зуба втулки: дуга окружности; параболическая, гиперболическая, эллиптические кривые; сочетание дуг окружностей разной кривизны; двухстороннескошенный зуб. Зубья с приведенными видами модификации обрабатываются следующими методами: фрезерование дисковой (пальцевой) фрезой методом копирования, фрезерование с сообщением дополнительной поперечной подачи фрезе, накатывание, зубодолбление. В результате анализа в работе установлено, что существующие виды продольной модификации и способы их обработки не обеспечивают равномерного распределения нагрузки между зубьями. Поэтому была поставлена задача разработать профиль, обеспечивающий близкую к предельной несущую и компенсирующую способность муфты и способ обработки этой поверхности на существующем серийном оборудовании.

При проведении анализа видов разрушения зубчатых муфт металлургического оборудования установлено, что при окислительном износе, обеспечивающем наибольший срок службы, работает лишь около 20 % муфт, а более 50 % работает в условиях схватывания 1 рода. Неравномерность износа рабочих поверхностей зубьев и ухудшение в результате этого качественных показателей зубчатого соединения в процессе эксплуатации является следствием неравномерного механического воздействия на активные поверхности зубьев, обусловленного особенностями работы зубчатой муфты, определяемого главным образом двумя факторами - контактным давлением и величиной пути трения скольжения. Задача обеспечения наименьшей интенсивности износа зубьев заключается в создании условий для воспроизводства окислительного износа, что возможно при уменьшении пути трения скольжения, контактных давлений, устранении возвратно-поступательного скольжения.

Изложенные обстоятельства определяют цель диссертационного исследования, сформулированную ранее и отраженную в названии работы.

Во введении главы теоретически и экспериментально исследован характер взаимодействия активных поверхностей зубьев зубчатых муфт и их приработка, разработана приближенная к пространственной модификация 1. зубьев, теоретически проанализирована наг-

ручная способность зубчатых втулок с различными видами модификации. Разработана методика расчета параметров линии смещения исходного контура при обработке приближенных к пространственной модификации зубьев.

Исследование характера взаимодействия активных поверхностей зубьев зубчатых муфт на основе динамики изменения зазоров между зубьями позволило сделать вывод о том, что возвратно-поступательное скольжение возможно лишь на некоторых участках зубьев, где перекрываются площадки взаимодействия своими периферийными зонами. Поэтому допущение о поступательном трении зубьев при изнашивании для расчета срока службы зубчатых муфт справедливо.

Разработана пространственная модификация зубьев, получаемая как огибающая семейства боковых поверхностей зуба производящей рейки, полученного при задании втулке всех положений относительно обоймы, имеющих место в реальном зацеплении муфты. Угол моделирования при обработке принимается равным расчетной компенсирующей способности муфты. Семейство боковых поверхностей производящей рейки будет двухпараметрическим: φ - угол поворота втулки относительно рейки, ψ - угол поворота муфты относительно условного начального положения. Огибающая такого семейства находится по методам Ф. Л. Литвина и представляет собой в общем виде систему уравнений, описывающих активную поверхность зубьев втулок. Основным достоинством пространственной модификации является обеспечение равномерного распределения нагрузки между всеми зубьями муфты, за счет теоретически беззазорного зацепления.

Однако получение точной пространственной модификации на существующем серийном оборудовании невозможно. Поэтому поставлена задача спроектировать профиль зуба максимально приближенный к пространственному. Профиль разработан из условий обеспечения минимального бокового зазора, повышения контактной прочности зубьев, улучшения условий взаимодействия, обеспечение возможности обработки традиционными методами. Предлагаемая модификация представляет собой зубья эвольвентные в среднем торцовом сечении венца и бочкообразные в сечении плоскостью, касательной к делительному цилиндру. Профиль представляет собой сопряжение 4-х линий: 2-х прямых и 2-х кривых (рис. 1). Угол наклона прямых определяется максимально допустимым углом компенсации зубчатой муфты T , а кривая - специальной системой уравнений, в зависимости от типа используемой

кривой (эвольвента, различные типы спирали). Входными параметрами для расчета являются угол ϑ и ширина зоны сопряжения $2B$, задаваемая в пределах 5-10% от ширины зубчатого венца.

Например, для сопрягающей кривой, выполненной в виде эвольвенты, параметры кривой определяются системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_2 - \varphi_1 = \vartheta ; \\ r_1 \cdot \varphi_1 = R_1 ; \\ r_2 \cdot \varphi_2 = R_2 ; \\ (r_2 \cdot \varphi_2 - r_1 \cdot \varphi_1) \cdot \sin \vartheta = B ; \\ R_1 \rightarrow \max . \end{array} \right.$$

Теоретический анализ нагрузочной способности втулок с эллиптической, пространственной и приближенной к ней модификациями показал, что удельная нагрузка на зубья снижается в 2,93 раза. При этом характеристики нагружения зубьев модифицированных предлагаемым образом с возрастанием угла перекоса в пределах от 0° до 3° изменяются в меньшей степени, чем для эллиптических зубьев в интервале углов от 0° до $0^\circ 45'$.

Для получения зубьев с приближенной к пространственной модификацией разработана методика расчета параметров линии смещения исходного контура и программа расчета ее на ЭВМ. Таким образом обеспечивается возможность получить требуемую модификацию традиционными методами обработки (например по копиру), на серийном оборудовании, без дополнительных приспособлений.

Чтобы определить оптимальный вид механической обработки разработанной модификации и режим приработки изготовленной зубчатой муфты были проведены экспериментальные исследования. Учитывая, что при работе зубчатых муфт создаются переменные условия взаимодействия поверхностей зубьев втулки и обоймы в пределах всего профиля, вызывавшие трудности при экспериментальных исследованиях, был сконструирован стенд для исследования зубчатых соединений. (д. с. 1392421), позволяющий широко регулировать частоты вращения и

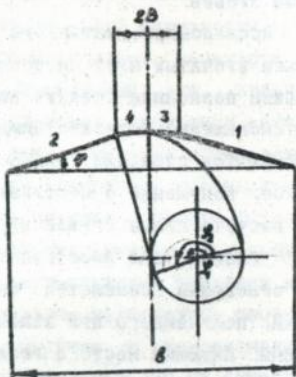


Рис. 1. Профиль приближенной к пространственной модификации

режим нагружения, проводить натурные исследования, точно моделировать условия эксплуатации зубчатых муфт при эксперименте.

Проведенное исследование приработки образцов из стали 45 и 40Х в зависимости от вида предварительной механической обработки и типа скольжения (рис. 2.) доказало, что износ пары образцов зависит как от параметров шероховатости, способа обработки, так и от сочетания образцов с различными видами механической обработки, и от вида относительного скольжения образцов.

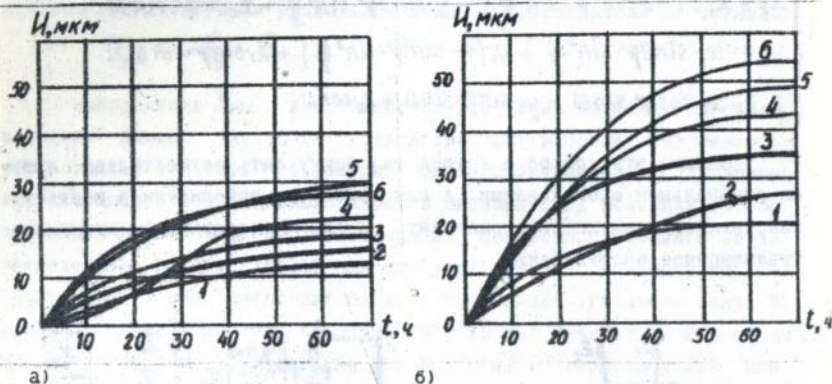


Рис. 2. Износ образцов из стали 45 при а - поступательном, б - возвратно-поступательном скольжении.

(сочетание образцов: 1 - шлифование-шлифование; 2 - фрезерование-шлифование; 3 - долбление-шлифование; 4 - фрезерование-фрезерование; 5 - долбление-фрезерование; 6 - долбление-долбление)

Установлено, что износ при поступательном трении в 1,7...2,1 раза ниже, чем при возвратно-поступательном, а наиболее благоприятным сочетанием видов предварительной механической обработки для муфты являются: долбление-фрезерование, долбление-шлифование. Таким образом применение приближенной к пространственной модификации зубьев, позволяющей реализовать в муфте поступательное скольжение, сокращает износ при приработке почти в 2 раза, а рациональный подбор сочетания видов механической обработки в 1,3...1,5 раза.

В третьей главе разрабатываются различные методы увеличения срока службы зубчатых муфт. Для изготовления пространственно модифицированных зубьев был разработан способ нарезания и ряд устройств для его осуществления. Способ основан на моделиро-

вании при обработке условий эксплуатации зубчатых муфт, то есть при обработке обеспечивается угол между осями инструмента и изделия, равный углу перекося осей втулки и обоямы, и выполняется требование равенства передаточного числа 1. Схема дополнительного движения оси заготовки представлена на рис. 3. Условие перехода от системы координат x_1, y_1, z_1 к x_2, y_2, z_2 в формообразующих движениях зубьев выражается уравнениями:

$$\begin{cases} x_2 = x_1 (1 - 2 \cos^2 \psi \cdot \sin^2 \frac{\omega}{2}) - y_1 \sin 2\psi \cdot \sin^2 \frac{\omega}{2} + z_1 \cos \psi \cdot \sin \omega ; \\ y_2 = -x_1 \sin 2\psi \cdot \sin^2 \frac{\omega}{2} + y_1 (1 - \sin^2 \psi \cdot \sin^2 \frac{\omega}{2}) + z_1 \sin \psi \cdot \sin \omega ; \\ z_2 = -x_1 \cos \psi \cdot \sin \omega - y_1 \sin \psi \cdot \sin \omega + z_1 \cos \omega . \end{cases}$$

Однако эти способ и устройства могут быть осуществлены лишь на специальном оборудовании. А для обработки приближенной к пространственной модификации может быть после модернизации применено традиционное оборудование.

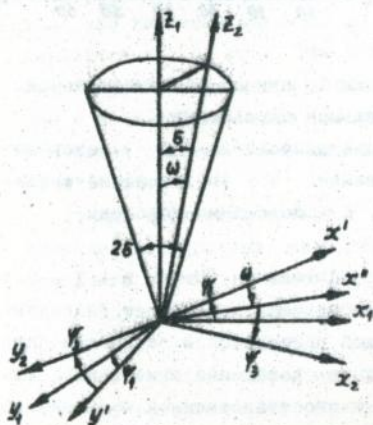


Рис. 3. Схема движений при способе обработки пространственно модифицированных зубьев.

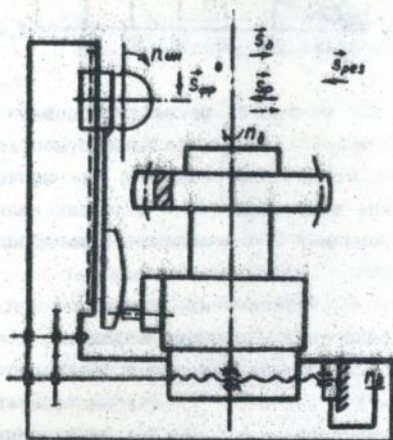


Рис. 4. Схема осуществления способа (а. с. 1348097)

Разработан способ обработки приближенной к пространственной модификации зубьев, обеспечивающий точное соответствие нарезаемого профиля профилю копира, что особенно важно для обработки предлага-

емой модификации. В способе (рис. 4.) в условиях изменения межцентрового расстояния и обката заготовки инструментом одному из элементов пары инструмент-деталь сообщают дополнительную радиальную подачу \bar{S}_g . Величина ее зависит от скорости изменения профиля копира и выбирается превышающей переменную радиальную подачу \bar{S}_p , определяемую этой скоростью. При этом столу станка сообщается некоторая результирующая радиальная подача, определяемая по формуле:

$$\bar{S}_{рез} = -\bar{S}_g - \bar{S}_p.$$

Направление $\bar{S}_{рез}$, постоянное во все время обработки профиля, а значит привод следящего устройства (СУ) работает без реверса, что повышает точность обработки. Экспериментальное исследование разработанного способа проводилось в промышленных условиях на оборудовании МСЧ5 ПО "Электростальтяжмаш". Способ исследовался на зубофрезерном станке 5К324С для зубчатых втулок с параметрами: 1) модуль $m_1 = 3$ мм, число зубьев $z_1 = 40$, ширина зубчатого венца $B_1 = 20$ мм; 2) $m_2 = 2,5$ мм, $z_2 = 38$, $B_2 = 15$ мм. Результаты измерения высоты профиля представлены на рис. 5., где 1 - теоретический профиль, 2 - обработка с реверсом привода СУ, 3 - обработка по разработанному способу. Анализ полученных результатов показал повышение точности обработки профиля на 25%, благодаря чему эксплуатационные характеристики и срок службы повышаются, что особенно важно при обработке приближенного к пространственному профилю. Ресурсные испытания проведенные лабораторией долговечности ПО "Электростальтяжмаш" показали увеличение срока службы на 20%.

Чтобы добиться эффективности эксплуатации зубчатых муфт с втулками, имеющими пространственную либо приближенную к ней модификацию, полностью реализовать преимущества модификации был разработан способ настройки, позволяющий добиваться оптимального расположения втулок и обойм друг относительно друга, заключающийся в установке втулок на межцентровое расстояние L , определяемое в процессе установки по формуле:

$$L = \frac{\Delta_g \cdot \cos \varphi_{g2}}{\sqrt{\cos^2 \varphi_{g2} - \cos^2 \varphi_p}},$$

где φ_g - угол скрещивания соединяемых валов, φ_p - расчетный угол компенсации зубчатой муфты, Δ_g - расстояние между осями. Установка производится перемещением зубчатых втулок в осевом направлении до достижения равенства φ_g и φ_p , что стабилизирует условия зацепления.

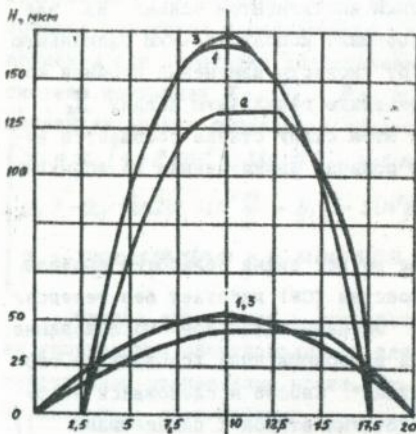


Рис. 5. Зависимость высоты профиля зуба от способа обработки.



Рис. 6. Алгоритм решения задачи изнашивания зубьев муфт.

Одним из важнейших факторов, определяющих характер зацепления зубьев в муфтах, является центрирование втулки муфты относительно обоймы. Для достижения полного центрирования предлагается одновременная обработка боковой поверхности зубьев венца и центрирующей поверхности на выступах зубьев, причем поверхность выступов венца втулки формируется как огибающая семейства цилиндров, ось которых образует своими последовательными перемещениями поверхность конуса. При этом система уравнений, описывающая эту огибающую, получается аналогично системе для поверхности зубьев и описывает центрирующую поверхность второго порядка - шаровой пояс с шириной B_k и радиусом Γ_a , определяемыми углом компенсации зубчатой муфты ϑ_k :

$$\begin{cases} x^2 \cdot \cos^2 \psi + 2x \cdot y \cdot \cos \psi \cdot \sin \psi + y^2 \cdot \sin^2 \psi + y^2 \cdot \cos^2 \vartheta \cdot \cos^2 \vartheta + x^2 \cdot \sin^2 \vartheta \cdot \cos^2 \vartheta + \\ + z^2 \cdot \sin^2 \vartheta - 2x \cdot y \cdot \cos \psi \cdot \sin \psi \cdot \cos^2 \vartheta + 2y \cdot z \cdot \cos \psi \cdot \sin \vartheta \cdot \cos \vartheta - 2z \cdot x \cdot \sin \psi \cdot \cos \vartheta \cdot \sin \vartheta = \Gamma_a^2 ; \\ -2x^2 \cos \psi \cdot \sin \psi + 2x \cdot y \cdot (\cos^2 \psi - \sin^2 \psi) + 2y^2 \sin \psi \cdot \cos \psi - 2y^2 \cos^2 \vartheta \cdot \cos \psi \times \\ \times \sin \psi + 2x^2 \sin \psi \cdot \cos \psi \cdot \cos^2 \vartheta - 2x \cdot y \cdot \cos^2 \vartheta \cdot (-\sin^2 \psi + \cos^2 \psi) - 2y \cdot z \cdot \cos \vartheta \times \\ \times \sin \vartheta \cdot \sin \vartheta \cdot \sin \psi - 2z \cdot x \cdot \cos \vartheta \cdot \sin \vartheta = 0 \end{cases}$$

где T и Y - углы поворота систем координат.

В результате исследований также установлено, что получение приближенной к пространственной формы боковой поверхности зубьев втулки при зубообработке, обеспечивает оптимальные условия приработки зубьев и позволяет получить профиль с естественной модификацией при минимальном износе зубьев на величину погрешности изготовления шага зубьев.

В целом все методы, разработанные в работе, представляют собой комплекс конструкторских и технологических методов проектирования, обработки, настройки, приработки зубчатых муфт, увеличивающих срок их службы.

В четвертой главе разработана методика расчета срока службы зубчатых муфт численными методами, учитывающая изменение профиля зуба, нагрузки, площадок взаимодействия в процессе изнашивания.

Исходными данными для решения задачи изнашивания зубьев муфт являются результаты решения известной задачи синтеза зацепления зубчатой муфты, которая сводится к отысканию радиус-векторов текущих точек на рабочик поверхностях зубьев. Так как задача изнашивания зубьев муфт объемная, то поверхность зацепления аппроксимируется в виде простых плоских элементов, а задача сводится к отысканию вектора износа в узловых точках, соединяющих конечные элементы. Таким образом непрерывный процесс изнашивания заменяется функционированием дискретной расчетной модели. Решение задачи идет до достижения величины износа допустимого значения, которое для зубчатых соединений составляет $(0,1 \dots 0,15) \cdot m$, где m - модуль зацепления.

В пятой главе приведены основные теоретические результаты работы и рекомендации по использованию предлагаемых мероприятий.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Исследованы закономерности изнашивания активных поверхностей зубьев и установлено, что возможно решение задачи проектирования новой модификации зубьев зубчатых муфт, с учетом изменения формы зуба в процессе приработки при формировании естественной модификации зуба.

2. Разработана приближенная к пространственной модификация зубьев зубчатых муфт, основанная на анализе пространственной моди-

фикации и практически сохраняющая все ее достоинства, а именно повышение нагрузочной способности и снижение контактных напряжений за счет равномерного распределения нагрузки между зубьями, уменьшение пути трения скольжения и обеспечивающая увеличение срока службы зубчатых муфт.

3. Разработан комплекс методов получения зубчатых муфт с пространственной и приближенной к ней модификацией, включающий: методику проектирования определяемого условиями эксплуатации профиля активных боковых поверхностей зубьев, способы и устройства для получения этого профиля на серийном зубообрабатывающем оборудовании, способ и устройство для монтажа и настройки муфты, метод расчета специального профиля центрирующей поверхности зубьев и способа ее получения, разработку условий для рациональной приработки зубьев зубчатых муфт.

4. Разработана методика расчета срока службы зубчатых муфт численными методами на стадии проектирования с учетом изменения профиля зуба, нагрузки на зубья, пути трения скольжения в процессе изнашивания, обеспечивающая возможность своевременной замены муфт в процессе эксплуатации.

5. Результаты работы внедрены в производство и в учебный процесс.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах :

1. А. с. 1291312 СССР МКИ В 23F9/00. Способ обработки бочкообразных зубьев /А. Н. Михайлов, В. А. Финиченко, А. В. Лукичев, Н. Э. Тернюк, А. М. Завадский(СССР), -3873978/31-08 заявлено 26. 03. 1985. -Опубл. 23. 02. 1987. -Бюллетень N7, с. 61.

2. А. с. 1346360 СССР МКИ В 23F9/00. Устройство для обработки зубчатых изделий с пространственно модифицированными зубьями/ В. А. Финиченко, Н. А. Чернышев, Е. Н. Колесник, А. В. Лукичев, А. Н. Михайлов(СССР). -3913779/31-08 заявлено 19. 06. 1985. -Опубл. 23. 10. 1987. -Бюллетень N 39 , С. 63.

3. А. с. 1348096 СССР МКИ В 23F9/00. Устройство для чистовой обработки зубчатых изделий с пространственно модифицированными зубьями / В. А. Финиченко, Е. Н. Колесник, А. В. Лукичев, Н. А. Чернышев, А. Н. Михайлов (СССР). - 3913780/31-08 заявлено 19. 06. 1985. *Опубл. 30. 10. 1987. - Бюллетень N 40, С. 51.

4. А. с. 1348097 СССР МКИ В 23F9/00. Способ нарезания зубча-

тых изделий с продольной модификацией зуба /Н. А. Чернышев, А. И. Робер, В. А. Финиченко, А. В. Лукичев, Б. С. Уткин, Е. Я. Гутенберг, В. И. Толока (СССР). - 3917819/31-08 заявлено 21.06.1985. - Оpubл. 30.10.1987. - Бюллетень N 40, С. 51.

5. А. с. 1381294 СССР МКИ F16 Д 15/00. Способ уплотнения соединений с переменной несоосностью вращающихся элементов и устройство для его осуществления / А. Н. Михайлов, В. А. Финиченко, Е. Н. Колесник, А. В. Лукичев (СССР). -4138257/31-08 заявлено 17.07.1986. -Оpubл. 15.03.1988. -Бюллетень N 10, С. 47.

6. А. с. 1392421 СССР МКИ 601 М 13/00. Стенд для исследования зубчатых и шлицевых соединений /А. В. Лукичев, В. А. Финиченко, А. Н. Михайлов, Н. А. Чернышев (СССР). -4089090/31-27 заявлено 17.07.1986. -Оpubл. 30.04.1988. -Бюллетень N 16, С. 57.

7. А. с. 1481524 СССР МКИ F16Д 3/18. Зубчатый венец /А. В. Лукичев, В. А. Финиченко, Н. А. Чернышев, Ю. Б. Похилов, М. В. Дубин, В. В. Ромашенко (СССР). - 4245051/27 заявлено 14.05.1987. -Оpubл. 23.05.1989. - Бюллетень N 19, С. 74.

8. А. с. 1493813 СССР МКИ F16 Д 3/18. Способ настройки зубчатой муфты /А. В. Лукичев, В. А. Финиченко, Н. А. Чернышев, Е. Н. Колесник, А. Н. Михайлов (СССР). - 4101694/27 заявлено 21.05.1986. - Оpubл. 19.08.1989. - Бюллетень N 24, С. 48.

9. Лукичев А. В. Исследование долговечности зубчатых муфт при тяжелых эксплуатационных условиях // Научные достижения и опыт отраслей машиностроения - народному хозяйству: Республик. научно-техн. конф. - Севастополь, Харьков: ВНТОМ, 1991. - С. 36.

10. Лукичев А. В. Повышение надежности и долговечности зубчатых муфт металлургического оборудования совершенствованием технологии обработки модифицированных зубьев// Научные достижения и опыт отраслей машиностроения- народному хозяйству: Республик. научно-техн. конф. - Севастополь, Харьков: ВНТОМ, 1991. -С. 37.

11. Лукичев А. В. Сравнительный анализ контактных напряжений в зубчатых муфтах с различными видами модификации зубчатой втулки// Проблемы зубчатых передач и редукторостроения: научно-техн. конф. - Харьков, 1993, -С. 39.

12. Лукичев А. В. Финиченко В. А. Расчет срока службы тяжело нагруженных зубчатых муфт численными методами// Проблемы повышения прочности и надежности элементов конструкций и приводов в машиностроении: Республик. научно-техн. конф. -Севастополь, 1990. -

С. 63.

13. Лукичев А. В., Финиченко В. А. Совершенствование технологии изготовления зубчатых муфт с продольной модификацией зубьев втулки // Проблемы повышения прочности и надежности элементов конструкций и приводов в машиностроении: Республик. научно-техн. конф. - Севастополь, 1990. - С. 64.

14. Лукичев А. В., Финиченко В. А. Экспериментальные исследования и расчет теплофизических процессов при приработке // Теплофизика технологических процессов. VI Всесоюзная конференция. Ташкент, 1984. - Часть 1. - С. 37.

15. Михайлов А. Н., Лукичев А. В., Финиченко В. А. Повышение изгибной выносливости зубчатых втулок методом ТНО // Новые технологические процессы и оборудование для поверхностной пластической обработки материалов. - Брянск, 1986. - С. 107.

16. Разработать и внедрить новую конструкцию зубчатой муфты для завалочной машины и способы ее нарезания с целью повышения ее долговечности: отчет / Донецк. политехн. ин-т, Руководитель темы В. С. Горелик, отв. исполнитель А. В. Лукичев, 87-126: И ГР 01870053198. - Дрнецк, 1989. - 121 с.

17. Устройство для чистовой обработки зубчатых изделий с пространственно модифицированными зубьями: Финиченко В. А., Михайлов А. Н., Лукичев А. В., Тернюк Н. Э., Завалский А. М. - Рационализаторские предложения и изобретения, рекомендуемые министерством для внедрения на заводах угольного машиностроения: Науч.-техн. реф. сб. / ЦНИИУголь, ЦЕНТИ Минуглепрома СССР, 1988, № 3. - С. 25.

18. Финиченко В. А., Лукичев А. В., Моторная А. З. Исследование приработки в зубчатых муфтах в зависимости от вида предварительной механической обработки / Донецк. политехн. ин-т. - Донецк, 1985. - 7 с. - Деп. в УкрНИИТИ. - 01.04.85. - № 0114-3-23.

19. Финиченко В. А., Лукичев А. В., Михайлов А. Н., Колесник Е. Н. Основы контактной гидродинамики в зубчатых муфтах // Контактная гидродинамика. IV Всесоюзная конференция. - Куйбышев, 1986. - С. 162.

20. Финиченко В. А., Чернышев Н. А., Лукичев А. В. Сравнительный анализ нагрузочной способности зубчатых втулок с эллиптическими и пространственно модифицированными зубьями / Донецк. политехн. ин-т. - Донецк, 1985. - 13 с. - Деп. в УкрНИИТИ. - 19.04.85. - № 0114-3-74.

Подп. в печать 17.02.94 Формат 80×84¹/₁₆. Бумага *милор*. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 0,93 . Усл. кр.-отт. 1,16 . Уч.-изд. л. 0,76 , Тираж 100 экз.
Заказ № 4227

ДМПП, 340050, Донецк, ул. Артема, 96

AB 29.478

AB 29.478

[Faint, illegible text covering the majority of the page, likely bleed-through from the reverse side.]