

М 276142

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО
ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

ФЕЙГИН АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА НАРЕЗАНИЯ
ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗОЙ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КОЛЕС С ВНУТРЕННИМИ ЗУБЬЯМИ

(01.02.02 – Теория механизмов, машин и автоматических линий)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Москва

1975

Работа выполнена в Хабаровском политехническом институте и в МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Научные руководители:

Заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор ГАВРИЛЕНКО В.А.

Доктор технических наук, профессор ЕРИХОВ М.Л.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор - КРЫЛОВ Н.Н.

кандидат технических наук - ЗАК И.С.

Ведущее предприятие- Станкостроительный завод, г.Хабаровск.

Автореферат разослан "___" _____ 197__ г.

Защита диссертации состоится "___" _____ 197__ г.

на заседании Совета конструкторско-механического факультета Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана по адресу: 107005 Москва Б-5, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просьба высылать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
училища.

Ученый секретарь Совета
к.т.н., доцент

Л.КОЛОБОВ

М 246142

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1276142

Фейгин А.В. Геометрическое

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. Одной из основных тенденций современного редукторостроения является увеличение нагрузок, передаваемых зубчатыми передачами, и как следствие этого все увеличивающееся применение передач внутреннего зацепления. Совершенствование технологии нарезания внутренних венцов, являющихся обязательной частью конструкции волновых, планетарных и комбинированных передач, одна из наиболее важных задач сегодняшнего дня редукторостроения.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ. Целью настоящей работы является исследование способа зубофрезерования прямозубых внутренних венцов бочкообразной червячной фрезой, полученной на базе производящего колеса.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. В работе использовались методы теории зубчатых зацеплений, базирующиеся на дифференциальной геометрии и векторной алгебре.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Проведено аналитическое исследование зубофрезерования новым инструментом. Определена область существования колес, нарезаемых этим инструментом. Предложен и геометрически исследован способ получения задней поверхности инструмента. Показано, что возможности нового инструмента позволяют расширить область существования нарезаемых внутренних венцов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. На основании проведенных исследований предлагается новый метод нарезания прямозубых внутренних венцов бочкообразной червячной фрезой со специальной геометрией. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие возможность осуществления предлагаемой схемы обработки на существующих станках.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. По основным разделам работы сделаны доклады на научном семинаре кафедры "ТМ и детали машин" Хабаровского политехнического института и научном семинаре кафедры ТМ ИВТУ им. Н.Э. Баумана.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация изложена на 132 страницах машинописного текста, включающего введение, пять глав и выводы по работе, содержит 32 рисунка, список литературы из 78 наименований.

Постоянно растущая потребность различных отраслей промышленности в высокоэффективных механических передачах приводит к все увеличивающейся тенденции применения в различного рода приводах комбинированных передач (планетарные с цилиндрическими; планетарные с волновыми), волновых и планетарных, как более полно отвечающих предъявляемым требованиям.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

И В Т У
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

Технологичность процесса изготовления этих передач во многом определяется технологичностью обработки зубчатых колес с внутренними зубьями, являющихся обязательной деталью конструкции вышеуказанных передач.

Известно несколько способов обработки внутренних венцов, которые могут быть отнесены к двум методам: копирования и обкатки. По первому методу внутренние венцы нарезаются дисковыми и пальцевыми модульными фрезами и модульными протяжками. Эти способы обладают существенными недостатками, которые не позволяют улучшить качество изделий и усовершенствовать технологический процесс их изготовления при обработке дисковыми и пальцевыми фрезами.

Поэтому в настоящее время основным методом изготовления внутренних венцов является метод обкатки, а основной способ — долбление на зубодолбежных станках. Геометрические исследования станочного зацепления при зубодолблении подробно проведены в работах В.А.Гавриленко, Н.И.Колчина, Ф.Л.Литвина, Н.А.Скворцовой, Э.Б.Вулгакова, М.С.Задиной и др.

Однако, как показывает практика, способ долбления обладает серьезными недостатками. В передачах современных машин и механизмов применяются венцы, диаметры делительных окружностей которых достигают 2000 + 3000 мм и более. Точность изготовления зубчатых венцов в ответственных передачах должна находиться в пределах 4 + 5 степеней точности. В целях уменьшения габаритов колеса таких передач изготовлены из материалов, имеющих высокие механические свойства. Поэтому к зубообрабатывающему инструменту предъявляются высокие требования не только в отношении точности, но и в отношении стойкости с целью получения высокопроизводительного метода зубообработки. В целом, всем этим требованиям способ долбления удовлетворяет недостаточно.

Поэтому на повестку дня стал вопрос о замене зубодолбления зубофрезерованием. В пользу этого говорят и имеющиеся в литературе сравнительные данные по производительности процесса. При чистовом нарезании по данным Я.И. Адама и Г.О. Овумяна производительность зубофрезерования почти в 4 раза выше, чем при зубодолблении.

Первым инструментом червячного типа, примененным для обработки внутренних венцов, является одновитковая фреза — улитка. Недостатки этого способа фрезерования очевидны: относительно низкая стойкость инструмента, что объясняется наличием лишь одного калибрующего витка, и невысокая точность обработки, так

как один виток не может спрофилировать активный участок боковой поверхности зуба колеса полностью.

В связи с этим в последнее десятилетие появились работы как советских, так и зарубежных исследователей, посвященные разработке геометрии инструмента типа червячной фрезы для внутреннего зубофрезерования. Из отечественных работ следует отметить в первую очередь работу Ю.А. Державца, О.А. Пыжа и А.К. Абрамова. Ими была разработана геометрия бочкообразной червячной фрезы, в основу которой положена схема образования с производящей рейкой. Такая фреза изготовлена и используется на одном из предприятий г. Ленинграда.

Из зарубежных исследований наибольший интерес представляет работа японских авторов.

К недостаткам указанных выше инструментов можно отнести то, что они являются теоретически приближенными.

Наиболее близкой к точной была схема образования подобного инструмента, предложенная в 1940 г. советским исследователем С.П. Карцевым, но в производстве она не была реализована.

Таким образом, вопрос создания теоретически точного инструмента для зубофрезерования внутренних венцов, остается открытым.

В реферируемой работе представлены результаты исследования способа зубофрезерования внутренних прямозубых венцов бочкообразными червячными фрезами, являющимися теоретически точными.

Цель реферируемой работы состояла в решении следующих задач:

а) основываясь на существующих методах теории зацепления, выбрать теоретически точную геометро-кинематическую схему образования бочкообразной червячной фрезы;

б) выполнить аналитическое исследование станочного зацепления при образовании фрезы. При этом круг рассматриваемых вопросов ограничен выбором реальной схемы обработки инструмента при условии обеспечения полиса шлифуемости поверхности витков фрезы при отсутствии ее подрезания;

в) геометрически исследовать метод затылования полученной фрезы;

г) аналитически исследовать станочные зацепления при обработке бочкообразной червячной фрезой внутреннего венца с прямыми зубьями. Определить степень универсальности предлагаемого инструмента для внутреннего зубофрезерования;

д) экспериментально проверить возможности изготовления указанной фрезы и нарезания ею прямозубых внутренних венцов.

І. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС С ВНУТРЕННИМИ ЗУБЬЯМИ

Заметим, что способ обработки внутренних венцов червячной фрезой является одним из способов, в которых используется геометро-кинематическая схема с двумя параметрами относительного движения. При этом условии касание поверхностей может быть только точечным.

При исследовании воспользуемся выполненным М.Л.Ериховым обобщением первого способа Г.Оливье, при котором был использован метод последовательного огибания и учтены замечания В.С.Лукшиним свойства огибающей двухпараметрического семейства поверхностей.

Результатом этого обобщения является сформулированный М.Л.Ериховым принцип образования поверхностей, сопряженных в относительном движении двумя параметрами.

Руководствуясь правилами синтеза геометро-кинематических схем с точечным касанием, являющимися следствием упомянутого выше принципа, мы рассмотрели две теоретически точные схемы нарезания внутренних венцов: 1) с производящим колесом и 2) с производящей рейкой.

В первой схеме суммарное двухпараметрическое движение фрезы и колеса получено суммированием двух однопараметрических движений: зацепление фрезы с производящим колесом и зацепление внутреннего венца с производящим колесом. При этом суммарное движение сводится к вращению вокруг трех осей, две из которых не изменяют своего относительного расположения в пространстве. Действительно, в реальной схеме обработки эти движения должны быть следующими: вращение заготовки вокруг своей оси; вращение фрезы вокруг оси вспомогательного производящего колеса и вращение фрезы вокруг собственной оси. Первые два вращения происходят вокруг неподвижных в пространстве осей. Если обозначить угловую скорость вращения фрезы вокруг собственной оси ω_1 , угловую скорость вращения фрезы вокруг оси производящего колеса ω_n и угловую скорость вращения заготовки ω_2 , то в системе отсчета, жестко связанной с осью фрезы и осью вспомогательного производящего колеса получим

$$\omega_n = \omega_1 \frac{Z_1}{Z} + \omega_2 \frac{Z_2}{Z},$$

где Z_1 - число заходов фрезы; Z и Z_2 - число зубьев производящего и нарезаемого колес соответственно.

В работе рассмотрена и вторая из указанных теоретически точных схем синтеза с использованием производящей рейки.

В качестве базовой схемы для образования фрезы с целью обработки внутренних венцов в реферируемой работе использована схема

с вспомогательным производящим колесом.

П. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАНОЧНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ БОЧКООБРАЗНОЙ ЧЕРВАЧНОЙ ФРЕЗЫ

Основываясь на результатах анализа, проведенного при выборе схемы образования фрезы, в качестве производящей поверхности выберем поверхность эвольвентного цилиндра.

Образование винтовой поверхности бочкообразной червячной фрезы по предложенному в работе способу, отличающемуся от известных геометрической формой производящей поверхности и ее положением относительно заготовки, можно представить следующим образом. Производящая поверхность и заготовка устанавливаются так, что оси их вращений Z и Z_1 соответственно перекрещиваются в пространстве под углом λ , определяющим угол подъема винтовой линии фрезы в расчетной точке. Относительное движение звеньев складывается из вращения производящего колеса вокруг собственной оси Z с угловой скоростью ω и связанного вращения заготовки вокруг оси Z_1 с угловой скоростью ω_1 . Таким образом, боковая поверхность витков фрезы получается как огибающая производящей поверхности в относительном движении с одним независимым параметром.

В системе координат $S_1 (x_1, y_1, z_1)$, жестко связанной с огибающей, уравнение поверхности витков бочкообразной червячной фрезы может быть представлено в виде

$$\left. \begin{aligned} \tilde{F} &= \tilde{A}_{10} \cdot F; \\ f_1(u, v, q_2) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $\tilde{F}$ — столбцевая матрица четвертого порядка радиуса-вектора текущей точки поверхности червяка; полученная путем преобразования радиуса-вектора F производящей поверхности с учетом матрицы перехода $\tilde{A}_{10}$ от системы координат, жестко связанной с производящей поверхностью, к системе координат, связанной с червяком; u, v — параметры производящей поверхности; q_2 — параметр относительного движения поверхностей.

Реальное воплощение предложенного метода формообразования витков фрез сопряжено со значительными технологическими трудностями из-за особенностей конструкции и кинематики современных станков для обработки зуборезного инструмента, которые, как правило, реализуют схему образования с производящей рейкой, а не с производящим колесом. Целесообразнее обрабатывать бочкообразные червячные фрезы на токарно-заточном станке со специальными приспособле-

нием. В этом случае в качестве инструмента для финишной обработки фрезы может быть использован профильный шлифовальный круг, рабочая поверхность которого заправлена по эвольвенте.

Возможность замены в действительной схеме формообразования витков фрезы производящего эвольвентного цилиндра таким шлифовальным кругом определяется величиной погрешности профиля получаемого инструмента (фрезы), которую можно оценить по величине отклонений между теоретической и реальной производящими поверхностями.

В системе координат $S_0(x, y, z)$ уравнение рабочей поверхности шлифовального круга имеет вид

$$\left. \begin{aligned} x_k &= [r \cos \psi_k + r \psi_k \cos \alpha \sin(\psi_k + \alpha) - (R+r)] \cos \psi_k + (R+r); \\ y_k &= r \sin \psi_k - r \psi_k \cos \alpha \cos(\psi_k + \alpha); \\ z_k &= -[r \cos \psi_k + r \psi_k \cos \alpha \sin(\psi_k + \alpha) - (R+r)] \sin \psi_k \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где ψ_k — угол поворота шлифовального круга вокруг собственной оси; ψ_k^* — параметр эвольвенты шлифовального круга; R — расчетный радиус круга. Значения параметров ψ_k и ψ_k^* точек пересечения нормали к теоретической производящей поверхности с поверхностью профильного шлифования круга определяются в результате совместного решения системы трансцендентных уравнений

$$\left. \begin{aligned} \vec{F}_k &= \vec{F}_k(\psi_k^*, \psi_k); \\ z_k &= z; \\ \frac{x_k - x}{n_x} &= \frac{y_k - y}{n_y} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Здесь $\vec{F}_k$ — радиус-вектор поверхности профильного шлифовального круга; n_x и n_y — проекция вектора нормали к теоретической производящей поверхности на соответствующие оси координат.

Тогда зазор между поверхностями может быть найден из известной зависимости

$$\delta = \sqrt{(x_k - x)^2 + (y_k - y)^2} \quad (4)$$

По разработанному алгоритму для ряда исходных данных на ЭЦВМ "И-222" были произведены расчеты по определению погрешности профиля образуемого инструмента.

Оказалось, что максимальные погрешности имеют место у ножки правого и головки левого витков фрезы. На средней витке погрешность чрезвычайно мала (10^{-3} мм) и почти не меняется по высоте витка. При малых значениях радиуса шлифовального круга (например, $R = 20$ мм) максимальная величина погрешности не превышает 7 мкм, что укладывается в допуск на погрешность профиля фрез

класса АА (ГОСТ 9324-60). В целях обеспечения высокой точности профиля инструмента расчетный радиус шлифовального круга следует выбирать в интервале 30-45 мм.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что замена теоретической производящей поверхности поверхностью профильного шлифовального круга, заправленного по эвольвенте, не оказывает существенного влияния на точность профиля получаемого инструмента.

Исследование подрезания 1-го рода поверхности витков фрез в процессе их образования сводится к отысканию на производящей поверхности точек предельной кривой, которой ограничиваются при необходимости размеры инструмента. Координаты точек предельной кривой определялись из системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} \bar{r} &= \bar{r}(\varphi, \theta); & a) \\ f_2(\varphi, \theta, \varphi_2) &= 0; & б) \\ \Delta(\varphi, \theta, \varphi_2) &= 0. & в) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В этой системе уравнение (5в) выражает в преобразованной форме условие равенства нулю вектора нормали в особой точке поверхности витков фрез.

Результаты расчетов показали, что подрезание первого рода при образовании фрез отсутствует.

Наличие подрезания II-го рода характеризуется появлением на сопряженной поверхности точек, имеющих нулевую полную приведенную кривизну. Так как при линейном касании поверхностей одно из главных значений приведенной кривизны равно нулю, то "опасными" являются точки сопряженной поверхности, в которых и второе главное значение приведенной кривизны K_{II} равно нулю. Координаты этих точек определяются при решении системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} \bar{r} &= \bar{r}(\varphi, \theta, \varphi_2); & a) \\ f_2(\varphi, \theta, \varphi_2) &= 0; & б) \\ K_{II}(\varphi, \theta, \varphi_2) &= 0. & в) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Результаты расчетов различных вариантов станочного зацепления, выполненных на ЭЦМ "М-222", показали, что условие (6в) ни в одной точке сопряженной поверхности не выполняется и, следовательно, подрезание второго рода отсутствует.

II. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ЗАТЫЛОВАНИЯ БОЧКООБРАЗНЫХ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ

В настоящее время практически все червячные фрезы для обработки зубчатых колес выполняются затылованными со шлифованным профилем, что увеличивает стойкость инструмента и качество нарезаемых колес.

В реферируемой работе предлагается использовать для затылования профильный шлифовальный круг, которому кроме движения круговой подачи сообщается также движение затылования, направленное по радиусу условного производящего колеса.

Уравнение задней поверхности получено в виде:

$$\left. \begin{aligned} \bar{r}_{z3} &= \bar{r}_{z3}(\varphi, \vartheta, \varphi_2); & a) \\ f_{z3}(\varphi, \vartheta, \varphi_2) &= 0. & б) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Одной из задач, решаемых в этом разделе работы, была задача по определению погрешности профиля фрезы после переточки. Перетачивается фреза по передней поверхности так, чтобы кромки после переточки лежали в осевой плоскости. При этом положение плоскости переточки определяется угловой координатой φ_2 , а ее уравнение может быть записано так:

$$\frac{y_{z3}}{x_{z3}} = \tan \varphi_2. \quad (8)$$

Погрешность профиля инструмента после переточки определялась на основании следующих предпосылок. Так как после переточки фреза при нарезании колеса смещается в радиальном направлении на величину спада "затылка", соответствующую положению плоскости переточки, то соответственными следует считать точки, лежащие на одном соосном фрезе цилиндре. В этом случае

$$x_{z1c} = x_{z3c} + K \varphi_2, \quad (9)$$

где x_{z1c} — координата осевого сечения теоретической поверхности; x_{z3c} — координата сечения задней поверхности плоскостью переточек; K — коэффициент падения "затылка".

Значение параметров ϑ и φ_2 , определяющих положение соответственных точек на режущей кромке, получившейся после переточки, найдутся при совместном решении уравнений (7, 8, 9).

Искомая погрешность в этом случае определится как

$$\bar{\delta}_3 = (Z_{1c} - Z_{z3}) \cos \alpha, \quad (10)$$

здесь Z_{1c} и Z_{z3} — координаты соответственных точек теорети-

ческой и получающейся после переточки режущих кромок: α_r — угол между проекцией нормали к теоретической поверхности на плоскость $X_1 O_1 Z_1$ и ось Z_1 .

Анализ полученных результатов расчета позволил определить максимальный угол переточки, который оказался равным 5° .

Последний раздел этой части работы включает в себя рассмотрение вопроса об определении задних углов на боковых поверхностях витков фрезы.

При этом были получены расчетные зависимости для определения искомой величины как теоретически точные, так и приближенные с использованием свойств первой основной квадратичной формы поверхности.

Разница в результатах, полученных при счете точным и приближенным зависимостям не превышала 8%, что можно считать удовлетворительным и рекомендовать в практике расчетов использование приближенных зависимостей, как более простых.

IV. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАНОЧНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ ПРИ НАРЕЗАНИИ ПРЯМОЗУБЫХ ВНУТРЕННИХ ВЕНЦОВ БОЧКООБРАЗНЫМИ ЧЕРВЯЧНЫМИ ФРЕЗАМИ

Реальное воплощение точной схемы нарезания внутренних венцов, которое рассматривалось в первой части работы, связано со значительными технологическими трудностями.

Стремясь к возможным технологическим упрощениям, мы остановились на схеме нарезания, при которой заготовка и фреза находятся в относительном движении с двумя независимыми параметрами, одним из которых является связанное вращение фрезы и заготовки вокруг собственных осей, а вторым — поступательное движение фрезы вдоль оси нарезаемого колеса.

Очевидно, что при таком отступлении от теоретически точной схемы неизбежно возникновение погрешности профиля зубьев нарезаемых колес, которая должна быть определена при исследовании станочного зацепления.

Образование поверхности зуба колеса в предложенной схеме происходит следующим образом. Инструменту (бочкообразной червячной фрезе), занимающему по отношению к обрабатываемой заготовке определенное положение, определяемое углом скрепления звеньев, сообщается вращательное движение вокруг собственной оси

Z_1 , параметр которого φ_2 , и поступательное вдоль оси заготовки с параметром a . Заготовка имеет связанное с фрезой движение вращения вокруг собственной оси.

Уравнение сопряженной поверхности (поверхности зуба колеса) получено в виде

$$\left. \begin{aligned} \vec{R} &= \vec{R}(\varphi, \vartheta, \varphi_2, \varphi_2, a); & a) \\ f_1(\varphi, \vartheta, \varphi_2) &= 0; & \beta) \\ f_2(\varphi, \vartheta, \varphi_2, \varphi_2, a) &= 0; & \beta) \\ f_3(\varphi, \vartheta, \varphi_2, \varphi_2, a) &= 0 & \alpha) \end{aligned} \right\} \quad (II)$$

Здесь $\vec{R}$ - радиус-вектор сопряженной поверхности; выражения (IIa) и (IIг) представляют собой уравнения связи параметров.

При исследовании подрезания I-го рода применен метод Ф.Л.Литвина, основывавшийся на отыскании предельной кривой на производящей поверхности, соответствующей кривой особых точек сопряженной поверхности. Расчеты, выполненные для различных вариантов станочного зацепления, показали, что подрезание первого рода при нарезании прямозубых внутренних венцов бочкообразной червячной фрезой отсутствует.

При исследовании подрезания 2-го рода использована математическая модель этого явления, предложенная И.Л.Ериховым.

Анализ расчетов на ЭЦВМ "М-222" рассматриваемых вариантов станочного зацепления показал, что в случае, когда число зубьев нарезаемого колеса меньше числа зубьев производящего, на базе которого была получена фреза, выполняется условие равенства нулю полной приведенной кривизны, что свидетельствует о наличии подрезания второго рода. Ввиду этого нижний предел чисел зубьев колес, которые могут быть нарезаны данной фрезой, совпадает с числом зубьев производящего колеса.

Диапазон зубьев колес, нарезаемых одной фрезой, может иметь ограничение по трем причинам: 1) недопустимо большая погрешность профиля; 2) наличие подрезания; 3) невозможность полного формирования профиля зуба колеса данной фрезой.

Выше в результате исследования явления подрезания была установлена нижняя граница этого диапазона.

Исследования по определению величины погрешности профиля зуба колеса, подтвержденные расчетами различных вариантов ста-

ночного зацепления на ЭЦВМ "М-222" позволили сделать следующее заключение. Погрешность профиля определяется величинами порядка $(2+3) \cdot 10^{-4}$ мм, и, следовательно, не ограничивает диапазон зубьев колес, нарезаемых одной фрезой.

Требование полного формирования профиля активного участка зуба колеса данной фрезой выполняется, как показали проведенные расчеты, только до определенных значений чисел зубьев нарезаемого колеса (Z_2). При дальнейшем увеличении Z_2 оказывается, что ножка зуба колеса формируется не полностью, что определялось по значениям криволинейных координат соответственных точек зуба колеса и витка фрезы.

Это позволило определить верхнюю границу диапазона чисел зубьев колес, нарезаемых одной фрезой. Построен ограничивающий контур в координатах $Z - Z_2$, по которому можно подобрать фрезу, зная число зубьев нарезаемого колеса.

У. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФРЕЗЫ И НАРЕЗАНИЯ КОЛЕСА

Экспериментальное исследование включало в себя проверку возможности изготовления фрезы и нарезания колеса на существующем станочном оборудовании.

В работе приведено описание приспособления для нарезания фрезы к токарно-заточному станку модели 1811.

Была изготовлена фреза из стали ХВГ со следующими геометрическими характеристиками: модуль $m_n = 5$ мм, максимальный диаметр окружности выступов $D_d = 142,5$ мм, угол подъема винтовой линии в расчетной точке $\lambda = 2^\circ 12'$, длина фрезы $L_f = 50$ мм, число зубьев производящего колеса $Z = 82$. Твердость после термообработки $HR060$.

Этой фрезой на зубофрезерном станке 5Б32 со специально спроектированным и изготовленным для этой цели приспособлением был нарезан прямозубый внутренний венец с $Z_2 = 82$. Материал венца — сталь 45, твердость 190-220 НВ.

К основным результатам данной работы можно отнести следующие:

1. Рассмотрено станочное зацепление при образовании бочкообразной червячной фрезы. Получены уравнения боковой поверхности витков фрезы и сечения их осевой плоскостью, решена задача

по определению величины погрешности профиля инструмента, возникающая при замене теоретической производящей поверхности поверхностью профильного шлифовального круга.

2. Проведено аналитическое исследование подрезания 1-го и 2-го рода при образовании фрез. Показано, что при реализации выбранной схемы образования фрезы это явление отсутствует.

3. Получены зависимости для вычисления погрешности профиля фрез после переточек. Найдена максимальная величина переточки из условия, что возникающие при этом погрешности не превышают допустимых.

4. Получены расчетные зависимости для теоретически точного определения значений угла на боковой поверхности зуба фрез. Предложен упрощенный способ определения искомой величины и показано, что возникающая при этом относительная погрешность не превышает 8%.

5. Исследовано станочное зацепление при нарезании бочкообразной червячной фрезой прямозубых колес с внутренними зубьями в относительном движении с двумя независимыми параметрами. В результате исследований установлено, в частности, что подрезание первого рода отсутствует, а подрезание второго рода имеет место, если число зубьев нарезаемого колеса меньше числа зубьев производящего, на базе которого получена фреза.

6. Решена задача по определению погрешности профиля зуба колеса, возникающей от отличия выбранной схемы формообразования сопряженной поверхности от "идеальной". Показано, что для различных вариантов станочного зацепления эта величина мала и не ограничивает диапазон чисел колес, нарезаемых одной фрезой.

7. Определен диапазон чисел зубьев колес, которые могут быть нарезаны одной фрезой. Установлено, что необходимый комплект фрез одного модуля можно ограничить 5-ю. Построен ограничивающий контур, с помощью которого можно подобрать фрезу для изготовления внутреннего венца с заданным числом зубьев.

8. Разработано и изготовлено приспособление, с помощью которого произведено опытное изготовление бочкообразной червячной фрез.

9. Разработано и изготовлено приспособление к зубофрезерному станку для нарезания внутренних венцов и произведено опытное

нарезание колеса.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Фейгин А.В. Исследование станочного зацепления при образовании бочкообразной червячной фрезы для нарезания колес с внутренними зубьями. Тр. Хабаровского политехнического института "Автоматический контроль и управление". Хабаровск, 1974.
2. Ратманов Э.В., Фейгин А.В. Приспособление к зубофрезерному станку БЕЗ2 для обработки колес с внутренними зубьями. Тр. Хабаровского политехнического института "Автоматический контроль и управление". Хабаровск, 1974.
3. Фейгин А.В. Границы шлифуемости бочкообразной червячной фрезой профильным шлифовальным кругом. Тр. 5-ой зональной конференции "Проблемы исследования, проектирования и изготовления зубчатых передач". Хабаровск, 1974.