

На правах рукописи

Хисамутдинов Равиль Миргалимович

*Разработка методов формообразования производящей поверхности
червячных фрез и долбяков*

05.03.01 – «Технологии и оборудование механической и физико –
технической обработки»

05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (машиностроение)»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Казань – 2005

Работа выполнена в Казанском государственном техническом университете имени А.Н.Туполева.

Научный руководитель-

академик Р А Т Н,
заслуженный деятель науки и техники РТ,
доктор технических наук,
заслуженный профессор
Файзрахман Салахович Юнусов.

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор Наиль Анварович Чемборисов ;
- кандидат технических наук, Борис Иосифович Найшулер.

Ведущая организация-

ОАО «Казанское моторостроительное
производственное объединение», г.Казань

Защита состоится « 26 » декабря 2005 г. в « 10 » часов 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.079.05 при Казанском государственном техническом университете им. А. Н. Туполева, по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева.

Автореферат разослан «_24_»_декабря_2005 г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять в адрес диссертационного совета Д 212.079.05.

Ученый секретарь

диссертационного совета, профессор



В.Ф.Снигирев

2007-4

744

2.344236

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Для того, чтобы продукция была конкурентоспособна, необходимо обеспечить ее высокое качество, которое в существенной степени зависит от точности обработки резанием как в основном, так и в инструментальном производстве.

Применение сложных кинематических схем формообразования, нетрадиционных вариантов обработки предъявляет все более высокие требования к строгости и универсальности методов исследования процесса формирования поверхности детали производящими поверхностями инструмента. Развитие теоретических основ формообразования позволит не только дать решение актуальных производственных задач, но и создать перспективные оптимизационные модели процесса, а также синтезировать новые методы формирования поверхности детали при обработке резанием.

Разработанные методы и полученные расчетные формулы, приведенные графики позволяют определять размеры и число режущих пластин, аппроксимировать образующую кривую профиля режущего зуба червячной фрезы как прямоугольными и треугольными, так и радиусными твердосплавными режущими пластинами, т. е. фрезеровать трапецеидальные пазы в дисках ГТД за одну операцию и в пределах допусков, заданных рабочим чертежом. Все это позволит уменьшить потребность в дорогостоящих протяжках, снизить стоимость выпускаемых компрессорных и турбинных дисков ГТД и, следовательно, повысить конкурентоспособность предприятия.

В предлагаемой работе в целях оптимизации процессов изготовления зуборезного инструмента приведены методы решения задач формообразования при обработке резанием, в том числе метод численного моделирования процессов формирования производящей поверхности.

Эффективная работа машиностроительных предприятий в условиях рыночной экономики возможна при успешном решении широкого круга задач, связанных с освоением в кратчайшие сроки новых видов продукции при относительно небольших затратах на технологическую подготовку производства. Применение компьютерного моделирования обработки деталей в существенной степени позволяет сократить затраты времени и средств за счёт: сокращения времени на проектирование деталей; исключения доводочных операций; исключения брака при изготовлении деталей. При компьютерном моделировании обработки детали мы можем наблюдать результат выполнения той или иной операции не выполняя её непосредственно на станке. Соответственно появляется возможность своевременно принять решение для предупреждения или исключения брака. Также компьютерное моделирование обработки детали позволяет исключить длительные расчёты и при задании необходимых исходных данных позволяет быстро получить точные параметры наладки обработки.

ВНИИИТЕКА
г. С.Петербург
2007-ПК

Цель работы: разработка эффективных методов формообразования производящей поверхности червячных фрез и долбяков для повышения их стойкости и точности, а также математическое моделирование процессов формообразования и автоматизация расчетов для сокращения затрат на подготовку производства.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- I. Разработка эффективного метода формирования производящей поверхности сборных червячных фрез в технологических корпусах в положении «в червяке»;
- II. Разработка метода формирования производящей поверхности сборной червячной фрезы аппроксимацией кривой профиля режущей кромки зуба фрезы стандартными твердосплавными режущими пластинами различной формы;
- III. Разработка метода, повышающего точность формообразования зуборезного инструмента при финишной механической обработке на основе средств численного моделирования процессов;
- IV. Освоение на практике теоретических разработок и определение их эффективности в процессе механической обработки.

Научная новизна работы заключается в совокупности научно обоснованных технических решений по формообразованию производящей поверхности червячных фрез и долбяков для повышения их стойкости и точности, а также в математическом моделировании процессов формообразования и разработке программ для автоматизации расчетов:

- разработан эффективный метод формообразования производящей поверхности сборных червячных фрез в технологических корпусах в положении «в червяке»;

- разработан и предложен метод определения аппроксимирующих параметров, получены расчетные формулы, позволяющие заменить кривую профиля режущего зуба червячной фрезы твердосплавными пластинами, имеющими прямолинейные и радиусные производящие поверхности;

- разработан метод численного моделирования производящей поверхности зуборезного инструмента (процессов взаимодействия производящей поверхности с поверхностью детали).

Практическая ценность работы заключается в:

-разработке методики и получении расчетных формул, графиков, позволяющих определять размеры и число режущих пластин, аппроксимировать образующую кривую профиля режущего зуба червячной фрезы как прямоугольными и треугольными, так и радиусными твердосплавными режущими пластинами, т. е. фрезеровать трапециевидные пазы в дисках ГТД за одну операцию и в пределах отклонений, заданных рабочим чертежом, что позволит уменьшить потребность в дорогостоящих

протяжках, снизить стоимость выпускаемых компрессорных и турбинных дисков ГТД и, следовательно, повысить конкурентоспособность продукции;

- разработке численного метода моделирования инструмента, предоставляющего возможность оптимизировать условия формообразования его рабочих поверхностей на разных стадиях технологического процесса в инструментальном производстве, увеличить количество переточек инструмента, автоматизировать подготовку производства, снизить себестоимость и повысить конкурентоспособность готового изделия .

Методы исследований . Работа выполнялась с использованием теории проектирования режущих инструментов, теории винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов и технологии их изготовления, аналитической и дифференциальной геометрии, методов численного моделирования , программирования и средств компьютерной графики.

Реализация работы . Результаты работы внедрены в ОАО «Казанское моторостроительное производственное объединение » , ОАО «Заволжский моторостроительный завод» , ОАО «Камдизель» .

Апробация работы . Основные положения и результаты работы докладывались на заседаниях кафедры «Технология производства двигателей», на XXXIX Международной научно-технической конференции ААИ «Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров»(Москва , МАМИ,2002), на республиканской научно-технической конференции «Наука производству»(Наб. Челны, КАМПИ,2003), на Международной научно – технической конференции «Механика машиностроения» (Наб.Челны, КАМПИ,2002), на Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в инновационных проектах» (Ижевск, ИжГТУ,2003).

Публикации . В рамках тематики диссертации опубликовано 7 научных работ, из них 6 статей, в которых отражены основные положения диссертации, сделано 4 сообщения на международных конференциях.

Структура и объем работы . Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов , списка литературы. Работа изложена на 189 страницах машинописного текста , из них 8 страниц приложений, содержит 66 рисунков, 5 таблиц, 2 блок-схемы, список литературы включает 39 наименований.

Основное содержание работы.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, дается её общая характеристика , направления исследований, научного и практического значения решаемой проблемы.

В первой главе дан анализ современного состояния вопроса, сформулирована новизна, цель и задачи работы.

Исследования в области формообразования сложных поверхностей зуборезного инструмента приведены в работах Гречишникова В.А., Юнусова Ф.С., Родина П.Р., Сморгалова Н.В., Лашнева С.И., Юликова М.И. и др. Основное внимание уделяется формообразованию производящей поверхности.

Известны методы общих нормалей, общих касательных, совмещенных сечений. Любому из методов профилирования присущи определенные недостатки. Недостатком, как метода общих нормалей, так и метода общих касательных, является невозможность определения полного профиля режущей кромки., так как они основаны на определении характеристики. Уравнение характеристики является трансцендентным, что вынуждает использовать специальные методы вычисления. Во многих работах затрагиваются лишь вопросы определения номинального профиля инструмента при допущении, что имеется номинальный профиль детали, и производится оперирование большим массивом факторов, изолированных друг от друга. Многие факторы не формализованы, что увеличивает объем вычислений при формообразовании инструментов. Практически у этих методов нет связи с технологией изготовления деталей со сложными поверхностями. Технологические аспекты рассматриваются лишь по отношению к инструменту, а не к обрабатываемой детали.

При формообразовании и оптимизации конструкции инструмента в ряде случаев приходится исследовать вопросы, связанные с точностью обработки детали. Эти вопросы можно исследовать с помощью обратной задачи, то есть по заданному профилю инструмента формировать профиль обрабатываемой детали. Между тем методы решения обратной задачи разработаны недостаточно полно, а в методе общих нормалей вообще отсутствует решение обратной задачи.

Применение сложных кинематических схем формообразования, нетрадиционных вариантов обработки предъявляет все более высокие требования к строгости и универсальности методов исследования процесса формирования поверхности детали режущими инструментами. Развитие теоретических основ формообразования позволит не только дать решение актуальных производственных задач, но и создать перспективные оптимизационные модели процесса, а также синтезировать новые методы формирования поверхности детали при обработке резанием.

Известные аналитические методы не позволяют выполнить расчет величины подрезания с учетом погрешности зубошлифования зуборезного инструмента. В связи с этим возникает необходимость в разработке метода численного моделирования процесса формообразования поверхности зубьев инструмента с целью уменьшения величины подрезания ножки зуба шестерни.

Во второй главе рассматриваются в общем виде метод формообразования сборных червячных фрез при обработке «в червяке» без движений затылования и метод аппроксимации образующей кривой производящей поверхности режущего зуба сборной червячной фрезы ломаной линией, состоящей из твердосплавных пластин одинаковой длины, различной длины, а также радиусных пластин, для фрезерования трапецеидальных пазов в дисках компрессоров и турбин газотурбинных двигателей ГТД.

Несущим корпусом сборной червячной фрезы является деталь типа упругой втулки, куда под усилием 40тн. запрессовываются режущие

сложной кривой, которая определяется расчетным или графическим способами. После того как фрезерованием выбраны трапецеидальные припуски 1, в пазах диска производится формообразование елочного профиля со снятием припусков 2-4, последовательным протягиванием.

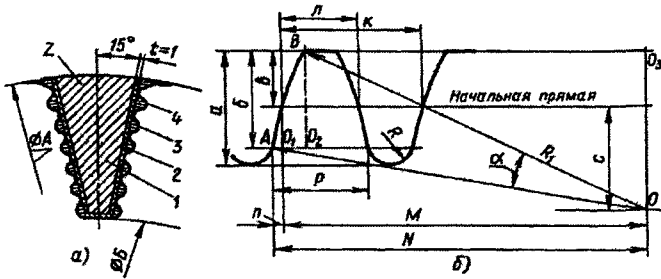


Рис 1

Высокая производительность и получаемая точность фрезерования червячными фрезами пазов в дисках обеспечили бы низкую себестоимость готовых изделий, а также более чем на порядок уменьшили бы дорогостоящие протяжки. Однако значительные габаритные размеры дисков и низкая стойкость обычных червячных фрез не позволяют выполнить обработку пазов за одну операцию и одним инструментом. Поэтому предлагается один из путей повышения стойкости и эффективности червячных фрез, а именно замена кривой образующей режущего профиля зуба фрезы специальными твердосплавными режущими пластинами различной формы (прямоугольной, треугольной, фасонной - 1..i), лежащими в пределах поля допуска (рис. 2).

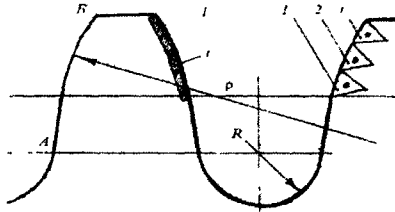


Рис. 2

Для аппроксимации образующей производящей поверхности инструмента заданной уравнением $\rho = \varphi(t)$ и ограниченной двумя радиусами-векторами ρ_k и ρ_l , ломаной линией лежащей в пределах допуска $T = \Delta_1 - \Delta_2$, необходимо определить уравнение этих эквидистантных кривых

$$\rho_k^2 = \rho^2 \left[1 + \frac{2\Delta_1}{\sqrt{\rho^2 + \rho'^2}} \right] + \Delta_1^2, \rho_l^2 = \rho^2 \left[1 + \frac{2\Delta_2}{\sqrt{\rho^2 + \rho'^2}} \right] + \Delta_2^2, \quad (1)$$

где $\rho' = \frac{d\rho}{dt} = \frac{d\varphi(t)}{dt} = \varphi'(t)$

Далее определяется максимальная кривизна (R_{\min}) на кривой Л путем дифференцирования уравнения радиуса кривизны

На основе разработанного метода аппроксимации получены аналитические зависимости, позволяющие аппроксимацию производящей поверхности инструмента, заданной сектором круга.

Установив связи центрального угла α (рис. 1а) определяются длины дуги АВ и эквидистантных дуг, отстоящих на расстояние от верхнего $\Delta_1(\Delta_{r_1})$ и нижнего $\Delta_2(\Delta_{r_2})$ предельных отклонений.

Уточнив интервалы предельных отклонений Δ_1, Δ_2 для финишных и $\Delta_{r_1}, \Delta_{r_2}$ промежуточных операций, определяется длина дуги производящей поверхности инструмента

$$L = \pi R_1 \alpha / 180 \quad (6)$$

Длины отрезков ломаной линии, лежащей между эквидистантными кривыми (дугами окружности) в пределах допусков Т (финишная операция) и T_1 (промежуточная операция) определяются по формулам:

$$l = 2\sqrt{2R_1 T + T(\Delta_1 + \Delta_2)}, \quad (7)$$

$$l_1 = 2\sqrt{2R_1 T_1 + T_1(\Delta_{r_1} + \Delta_{r_2})}$$

При замене длины L дуги (кривой) сектора круга, образующей профиль режущего зуба фрезы, ломаной линией, состоящей из отрезков равной длины, необходимое число n отрезков (твердосплавных режущих пластин) определяется по формуле

$$n \geq L/l \quad \text{шт.} \quad (8)$$

После преобразований, для финишных и промежуточных операций получим соответственно:

$$n \geq \frac{\pi R_1 \alpha}{180 \sqrt{2R_1 T + T(\Delta_1 + \Delta_2)}},$$

$$n \geq \frac{\pi R_1 \alpha}{180 \sqrt{2R_1 T_1 + T_1(\Delta_{r_1} + \Delta_{r_2})}}, \quad (9)$$

где n – число режущих твердосплавных пластин, необходимых для аппроксимации образующей профиля режущего зуба фрезы. Число режущих пластин (прямоугольных, треугольных, фасонных) может быть только целым. Поэтому полученное расчетом число n отрезков округляют до целого в большую сторону как для выпуклых, так и для вогнутых профилей режущего зуба фрезы. В этом случае аппроксимирующая ломаная линия всегда будет находиться внутри, а не в границах поля допуска, т. е. между эквидистантными (кривыми) дугами сектора круга: $R_K = R_1 + \Delta_1$, $R_L = R_1 + \Delta_2$ (финишная операция) и $R_I = R_1 + \Delta_{r_1}$, $R_P = R_1 + \Delta_{r_2}$ (промежуточная операция).

Для двух промышленных дисков определены длины l и числа n отрезков ломаной линии, а также допуски Т образующей профиля режущего зуба фрез, которые одинаковы и равны 20 мкм (табл. 2). Для допуска Т = 20 мкм длины l отрезков малы и замена образующего профиля режущего зуба фрезы экономически невыгодна и трудоемка. Величину прпуска 2 (см. рис 2.15 а)

можно значительно уменьшить и за счет этого увеличить допуск T путем увеличения верхнего Δ_1 предела отклонений без ослабления прочности режущего зуба фрезы и без ущерба формированию елочного профиля.

Таблица 1

Допуск T мкм	Диск 1 $L=25,396$ мм, $R_1=124,357$ мм		Диск 2 $L=24,869$ мм, $R_1=123,154$ мм	
	l	n	l	n
0,02	4,46	5,69	4,38	5,67
0,06	7,72	3,28	7,68	3,23
0,10	9,97	2,54	9,92	2,50
0,14	11,80	2,15	11,74	2,11
0,18	13,38	1,89	13,31	1,86
0,22	14,79	1,71	14,72	1,68
0,26	16,08	1,57	16,00	1,55
0,30	17,27	1,47	17,19	1,44
0,34	18,39	1,38	18,30	1,35
0,38	19,44	1,30	19,34	1,28
0,42	20,44	1,24	20,34	1,22
0,46	21,14	1,20	21,28	1,16
0,50	22,30	1,13	22,19	1,12
0,54	23,18	1,09	23,06	1,07
0,58	24,02	1,06	23,90	1,03
0,62	24,83	1,02	24,71	1,006
0,66	25,62	0,99	25,50	0,97
0,70	26,39	0,96	26,26	0,94

Путем последовательного увеличения верхнего Δ_1 предела отклонений с интервалом 40 мкм ($T_1 = 0,02$; $T_2 = 0,06$; $T_3 = 0, 1, \dots, T_i$) были рассчитаны длины отрезков L и число пластин n (табл. 1.). Для удобства пользования и быстрого выбора длины и числа твердосплавных пластин в аппроксимирующей ломаной линии профиля режущего зуба фрезы построены графики $l_i = f(T_i, C)$ и $n_i = f(l_i, C_i)$ (рис. 3).

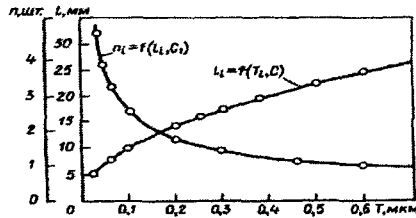


Рис 3 Графики зависимости $n_i = f(l_i, C_i)$ и $l_i = f(T_i, C)$ для выбора стандартной длины и числа твердосплавных пластин с прямолинейным режущим лезвием

Далее рассмотрена также аппроксимация образующей профиля зуба промышленных червячных фрез с радиусной режущей поверхностью твердосплавной пластины.

Расчетная формула длины l хорды после исключения из уравнения слагаемых величин высшего порядка малости и их произведения, имеет вид

$$l = 2x = 2\sqrt{2R_1 r T / (R_1 - r)}, \text{ мм} \quad (10)$$

Расчитаны соответственно длины l хорд и их числа n для различных значений допусков на изготовление и радиусов образующей профиля режущего зуба фрезы твердосплавной режущей пластины. Построены графики $n_i = f(l_i, C_i)$ и $l_i = f(r_i, T_i, C)$, которые помогут выбрать

нужные величины аппроксимирующих параметров для любого радиуса образующей профиля режущей пластины и величины допуска. При расчете графиков постоянными оставались радиус R_1 образующей и длина L профиля режущего зуба фрезы.

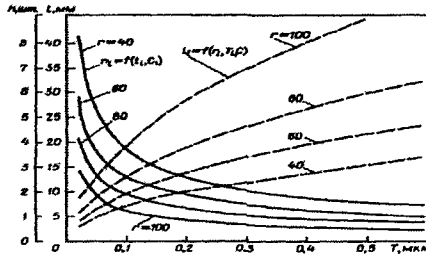


Рис 4 Графики зависимости $n_1 = f(l_1, C_1)$ и $l_1 = f(r, T_1, C)$ для выбора стандартной длины и числа твердосплавных пластин с радиусным режущим лезвием

Полученные расчетные формулы и приведенные графики позволяют определять размеры и число режущих пластин, аппроксимировать образующую кривую И профиля режущего зуба червячной фрезы как прямоугольными и треугольными, так и радиусными твердосплавными режущими пластинами, т. е. фрезеровать трапецеидальные пазы в дисках ГТД за одну операцию и в пределах отклонений, заданных рабочим чертежом.

Все это позволит уменьшить потребность в дорогостоящих протяжках, снизить стоимость выпускаемых компрессорных и турбинных дисков ГТД и, следовательно, повысить конкурентоспособность предприятия.

В третьей главе рассматривается метод численного моделирования поверхности детали и режущего инструмента.

Аналитическое описание режущей кромки лезвийного инструмента, которая является реальным формообразующим элементом при обработке поверхности детали, можно выполнить только при решении идеализированной задачи для относительно несложных инструментов. Затруднения возникают иногда даже если рабочие [передняя (ПП) и задняя (ЗП)] поверхности заданы аналитически. В случае же универсального задания рабочих поверхностей инструмента форму и размеры режущих кромок можно определить только численными методами моделирования.

Численное моделирование рабочих поверхностей инструмента предлагается выполнять с помощью двух семейств координатных линий (L_K) описанных параметрическими сплайнами. При этом каждое семейство можно получить, используя ряд осевых, торцовых или нормальных сечений, а также сечений поверхностями, полученными при вращении образующей рабочих поверхностей вокруг оси инструмента. Узловые точки для построения семейства L_K можно найти расчетным путем, решая обратную задачу формообразования, или экспериментально-расчетным методом на основе результатов измерений обработанной данным инструментом поверхности детали.

При численном методе моделирования режущих кромок необходимо в ходе формирования рабочих поверхностей получить для ПП и ЗП одно из семейств L_k принадлежащему общему для этих поверхностей семейству сечений. Затем в каждом сечении общего семейства выполняется построение одной L_k принадлежащей ПП, и второй L_k принадлежащей ЗП. Пересечения этих координатных линий L_k представляет собой точку режущей кромки инструмента.

Каждая точка и координатная линия описываются тремя параметрическими сплайнами вида:

$$S(x_0; s), S(y_0; s), S(z_0; s),$$

где x_0, y_0, z_0 - координаты текущей точки L_k в системе $X_0 Y_0 Z_0$, жестко связанной с инструментом; s - суммарная длина хорд. Точка L_k определяется при решении оптимизационной задачи по минимизации величины

$$|\Delta r_0| = |r_{0n} - r_{0s}|, \quad (14)$$

где r_{0n} и r_{0s} - радиусы-векторы текущих точек L_k , принадлежащих соответственно передней и задней поверхностям.

Метод численного моделирования поверхностей, рассматриваемый в этой работе, позволяет решать прямые и обратные задачи. Объем вычислений при этом является вполне приемлемым по сравнению с существующими на сегодняшний день методами. При решении задач, имеющих выход на инструментальное производство, имеется возможность непосредственного моделирования режущих кромок после описания передней и задней поверхности.

Для описания плоских и пространственных кривых, какими являются линии формообразования и координатные линии в общем случае, одним из наиболее универсальных средств являются параметрические кубические сплайны. Совокупность сплайнов вида $S(x; \bar{s}), S(y; \bar{s}), S(z; \bar{s})$, принято называть интерполяционным параметрическим сплайном. В приведенных выражениях \bar{s} - суммарная длина хорд. Для $\bar{s} \in [\bar{s}_i, \bar{s}_{i+1}]$ каждый из приведенных выше сплайнов можно записать в виде

$$S(f; \bar{s}) = \sum_{\alpha=0}^3 a_{i\alpha} (\bar{s} - \bar{s}_i)^\alpha, \quad (11)$$

где коэффициенты $a_{i\alpha}$, $\alpha=0,1,2,3$ вычисляются для каждого $i=0, \dots, N$ при решении системы уравнений:

$$\begin{aligned} S(f; \bar{s}_i) &= f_i, & S(f; \bar{s}_{i+1}) &= f_{i+1}, \\ S'(f; \bar{s}_i) &= f'_i, & S'(f; \bar{s}_{i+1}) &= f'_{i+1}. \end{aligned} \quad (12)$$

Для моделирования линии формообразования и двух семейств координатных линий сопряженной поверхности необходимо выполнить

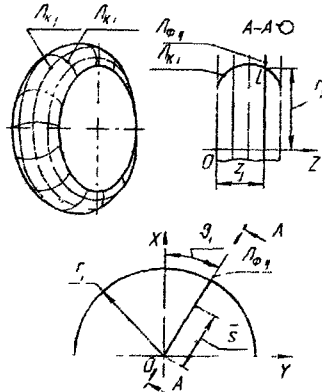


Рис 5 Схема формирования системы сечений

формирование системы сечений, которое целесообразно произвести, разбив поверхности по какому-либо формальному признаку.

В данном случае в качестве этого признака имеет смысл взять угол подъема направляющей линии. Для поверхностей с углом подъема равным нулю, к которым можно отнести поверхности, полученные путем вращения образующей вокруг оси, наиболее удобным представляется комбинация: плоскость осевая – плоскость торцевая (рис. 5).

Узловые точки сопряженной поверхности определяются на линиях формообразования (L_{ϕ_j}). В качестве L_{ϕ} целесообразно взять линии пересечения поверхностей двух семейств сечений. В данном случае роль L_{ϕ} будет выполнять прямая линия, лежащая в осевой плоскости и перпендикулярная к оси. Уравнения L_{ϕ} будут выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} x &= \bar{s} \cos \vartheta_j, \\ y &= \bar{s} \sin \vartheta_j, \\ z &= z_j, \end{aligned} \quad (13)$$

где \bar{s} – параметр, определяющий положение текущей точки на L_{ϕ} ; ϑ_j – угол между текущей осевой плоскостью и координатной плоскостью XOZ ; z_j – аппликата текущей торцевой плоскости.

Для разработки системы параметров, определяющих относительное расположение инструмента и детали, вводятся в рассмотрение системы координат $X_1Y_1Z_1$ и $X_2Y_2Z_2$, жестко связанные с инструментом и деталью соответственно (оси Z_1 и Z_2 совпадают соответственно с осями инструмента и детали); система координат XYZ , ось Y которой совпадает с межосевым перпендикуляром, а ось Z с осью инструмента Z_1 ; система координат $X_pY_pZ_p$, ось Y_p которой совпадает с межосевым перпендикуляром, а ось Z_p – с осью вращения детали Z_2 (Рис. 6).

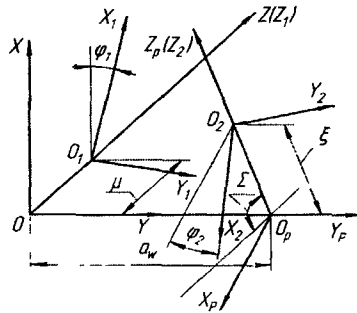


Рис 6 Обобщенная схема расположения инструмента и детали

Относительное расположение инструмента и детали в соответствии с обобщенной схемой определяется совокупностью базовых параметров – множеством $P_6 \{ \varphi_1, \mu, \alpha_w, \Sigma, \xi, \varphi_2 \}$. Элементами этого множества являются:

- φ_1 – угол поворота системы $X_1Y_1Z_1$, жестко связанной с инструментом (задается между прямой, параллельной оси X , и осью X_1);
- μ – смещение начала координат O_1 системы $X_1Y_1Z_1$ относительно начала O системы XYZ , которое принимается равным аппликате z_{01} ;
- α_w – межосевое расстояние;
- Σ – межосевой угол;
- ξ – смещение начала координат системы $X_2Y_2Z_2$, жестко связанной с деталью, относительно межосевого перпендикуляра, которое принимается равным аппликате z_{p02} ;
- φ_2 – угол поворота системы $X_2Y_2Z_2$, жестко связанной с деталью (определяется между прямой, параллельной оси X_p , и осью X_2).

К приведенной обобщенной схеме сводится большинство возможных вариантов обработки деталей на металлорежущих станках.

В четвертой главе описывается решение задачи оптимизации формообразования зуборезного инструмента с целью уменьшения величины подрезания ножки зуба шестерни. Построение поверхности выступов и впадин инструмента выполняется по схеме, являющейся универсальной для зуборезного инструмента. Определение Π_{Π} производится с применением комбинации сечений поверхностями вращения с образующими, описанными в общем случае сплайнами и сечений торцевыми плоскостями. Образующие могут быть представлены сплайнами вида $S_{k1}(r_1; z_1)$, или $S_{k1}(r_1; \bar{s}_f)$, $S_{k1}(z_1; \bar{s}_f)$. Задача решена на примере оптимизации зубошлифования долбняка на станке SRS 400 фирмы “Huth”. В ходе этой оптимизационной процедуры первоначально необходимо выбрать такие начальные приближения параметров, при которых Π_{Π} и L_{Φ} пересекаются.

Для зуборезного инструмента экстремальное положение точки L на L_{Φ} определится экстремальным значением параметра g_{1L} , которое будет соответствовать точке пересечения L_{Φ} и Π_{Π} (Рис. 7).

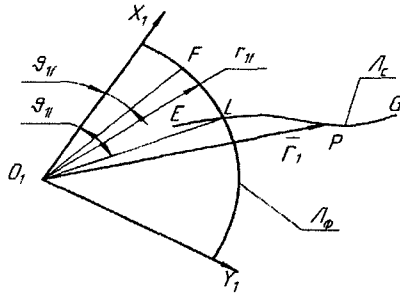


Рис 7 Схема взаимодействия L_{Φ} и L_c для зуборезного инструмента

Выражение, определяющее целевую функцию при определении экстремального положения точки L на L_{Φ} для зубчатого инструмента будет выглядеть как

$$f_O(P_O) = \pm g_{1L} + b_{q2} \left(\frac{1}{q_2} + \frac{1}{1-q_2} \right) + b_{g2} \left(\frac{1}{g_2} + \frac{1}{1-g_2} \right) + \sum_{i=1}^n b_i \frac{1}{\psi_i} \quad (15)$$

Для того, чтобы свести решение обратной задачи к обобщенной схеме, необходимо определить положение межосевого перпендикуляра. Для решения этой задачи рассмотрим вектор \bar{P} , совпадающий с указанным межосевым перпендикуляром (рис. 8). Из условия перпендикулярности векторов \bar{P} и \bar{N} , получим:

$$P_{x2} \cdot N_{x2} + P_{y2} \cdot N_{y2} = 0 \quad (16)$$

Уравнения оси абразивного круга можно записать

$$\frac{x_2' - x_{2O1}'}{N_{x2}'} = \frac{y_2' - y_{2O1}'}{N_{y2}'} = \frac{z_2' - z_{2O1}'}{N_{z2}'} \quad (17)$$

Далее решая нелинейное уравнение

$$S(AC; \varphi_K) - AC_l = 0, \quad (18)$$

рассчитываем предельную величину угла поворота кулака φ_{Kl} . Этому углу поворота кулака и величине AC_l относительного смещения круга соответствует обработка граничной точки профиля долбяка в среднем торцевом сечении. Абсцисса x_{2Nl} точки N , положение которой соответствует этой ситуации может быть с достаточной для практики точностью определена по следующей формуле (рис. 8)

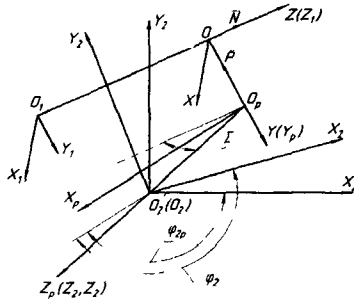


Рис 8 Схема определения межосевого перпендикуляра при зубошлифовании

$$x'_{2Nl} = -(h_{wa1n} - \frac{b}{2} \operatorname{tg} \alpha_a) \operatorname{ctg} \alpha_2 \quad (19)$$

Угол поворота долбяка φ_{2l} при этом будет равен

$$\varphi_{2l} = \varphi_{2p} + \frac{1}{r_{b2}} \left(\frac{h_{qa1n} - \frac{b}{2} \operatorname{tg} \alpha_a}{\sin \alpha_2} + \frac{b}{2} \operatorname{tg} \alpha_{in} \right) \quad (20)$$

При наличии подрезания, которое имеет место при долблении зубчатых колес с малым числом зубьев целевая функция (15) имеет два локальных экстремума. Один экстремум соответствует «правильному» взаимоотношению Π_{Π} и $\Pi_{\text{д}}$. При этом точка L удалена от точки E и разность $\bar{s}_{p \max}$ и \bar{s}_l имеет значительную величину. Значение ϑ_{2l} , соответствующее этому экстремуму, определяет координаты точек, принадлежащих профилю зуба Π_3 (рис. 9). Второй экстремум соответствует ситуации, когда точка E максимально приближена к точке L , то есть разность $\bar{s}_{p \max}$ и \bar{s}_l минимальна. Значение ϑ_{2l} , соответствующее этому экстремуму, определяет координаты точек, принадлежащих переходной кривой K_{Π} . Построив для профиля зуба Π_3 и переходной кривой K_{Π} соответствующие сплайны $S_{\Pi}(x_2; \bar{s}_{\Pi})$, $S_{\Pi}(y_2; \bar{s}_{\Pi})$, а также $S_K(y_2; \bar{s}_K)$, точку l пересечения Π_3 и K_{Π} можно определить при минимизации целевой функции

$$f_l(\bar{s}_{\Pi}, \bar{s}_K) = \sqrt{[S_{\Pi}(x_2; \bar{s}_{\Pi}) - S_K(x_2; \bar{s}_K)]^2 + [S_{\Pi}(y_2; \bar{s}_{\Pi}) - S_K(y_2; \bar{s}_K)]^2} \rightarrow \min \quad (21)$$

Результаты расчетов приведены на графике (рис. 9), где 1 – график

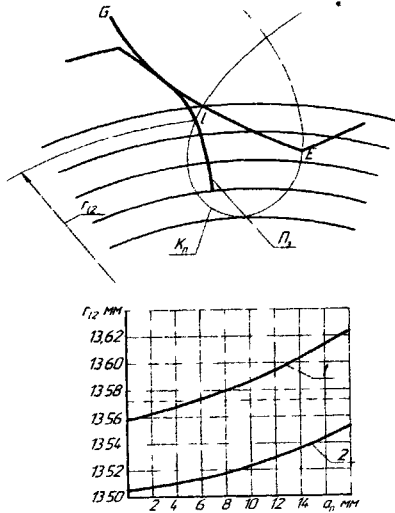


Рис 9 Результаты оптимизации процесса зубошлифования долбяков на станке SRS 400 фирмы "Hurth"

зависимости r_{12} от величины переточки для заводского варианта, а 2 – для предлагаемого варианта. Во втором случае была проведена оптимизация величины смещения обкаточного кулака с целью минимизации значения r_{12} .

Основные выводы :

1. Предложены научно обоснованные технические решения по формообразованию производящей поверхности червячных фрез и долбяков для повышения их стойкости и точности, а также математические модели процессов формообразования и разработаны программы для автоматизации расчетов;
2. Разработан эффективный метод формирования производящей поверхности сборных червячных фрез в технологических корпусах в положении «в червяке»;
3. Разработан метод определения аппроксимирующих параметров, получены расчетные формулы, позволяющие заменить кривую профиля режущего зуба червячной фрезы твердосплавными пластинами, имеющими прямолинейные и радиусные производящие поверхности, что дает возможность фрезеровать трапециевидные пазы в дисках ГТД за одну операцию в пределах отклонений, заданных рабочим чертежом, уменьшить потребность в дорогостоящих протяжках, снизить стоимость компрессорных и турбинных дисков ГТД, повысить конкурентоспособность предприятия ;

4. Разработан метод численного моделирования производящей поверхности зуборезного инструмента (процессов взаимодействия производящей поверхности с поверхностью детали), что позволяет повысить эффективность формообразования его рабочих поверхностей на разных стадиях технологического процесса в инструментальном производстве, дает возможность увеличить количество переточек инструмента, снизить себестоимость, повысить качество и конкурентоспособность готового изделия;
5. Разработана система параметров, определяющих относительное расположение инструмента и детали для обобщенной схемы, к которой может быть сведено большинство вариантов обработки деталей на металлорежущих станках;
6. Разработаны программы для автоматизации расчетов и сокращения сроков подготовки производства.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Юнусов Ф.С., Хисамутдинов Р.М. Эффективность применения фрез сборных конструкций. // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева. 2002. №4. с3-5.
2. Аппроксимирующие параметры кривой профиля режущего зуба червячной фрезы/ Ф.С. Юнусов, Р.М. Хисамутдинов, Ш.М. Ягафаров, М.М. Ягафаров// Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева 2003. №1. с 12-17.
3. Аппроксимация кривой, образующей профиль режущего зуба червячной фрезы, ломаной линией//Ф.С. Юнусов, Р.М. Хисамутдинов, Ш.М. Ягафаров, М.М. Ягафаров// Вестник машиностроения. 2003. №9. с 53-57
4. Юнусов Ф.С., Хисамутдинов Р.М. и др. Расчет аппроксимирующих параметров образующей профиля режущего зуба фрезы// Вестник машиностроения. 2004. №8 с 44-48.
5. Юнусов Ф.С., Хисамутдинов Р.М., Сморкалов Н.В., Головки А.Н. Моделирование формирования задней поверхности зубьев долбяков шлифованием // Вестник КГТУ им. А.Н.Туполева, 2004-№1
6. Юнусов Ф.С., Сморкалов Н.В., Хисамутдинов Р.М. Моделирование режущих кромок зубьев долбяков для обработки зубчатых колес масляного насоса // Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров: Тез. докл. XXXIX Междунар. науч.-техн. конф. ААИ. Секция "Методы обработки, станки и инструмент". - М.: МГТУ "МАМИ", 2002. - С. 41-42.
7. Хисамутдинов Р.М. Определение радиуса граничной точки профиля зуба колеса с целью уменьшения подрезания ножки зуба. // Вестник машиностроения. 2005. № 7. с 24-27.

05.01 -
2

РНБ Русский фонд

2007-4

744

	ЛР №	от
	ЛР №	от
	Подписано в печать	23.05.05г.
Формат 60x84/16	Бумага офсетная	Печать ризографическая
Уч.-изд.л. 1,0	Усл.-печ.л. 1,0	Тираж 100 экз.
	Заказ /	
	Типография ОАО «КАМАЗ»	

423800,г.Набережные Челны, М.Джалиля 29

29 ДЕК 2005