

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

РГБ ОД

«СТАНКИИ»

21 дек 1998

Борисов Сергей Вячеславович

РАЗРАБОТКА ФАСОННЫХ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ С ВИНТОВЫМИ
СТРУЖЕЧНЫМИ КАНАВКАМИ НА КРИВОЛИНЕЙНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
ВРАЩЕНИЯ

Специальность 05.03.01 - Процессы механической и физико-технической обра-
ботки, станки и инструмент

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва - 1998

Работа выполнена в Московском Государственном Технологическом Университете «СТАНКИН»

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
В.А. Гречишников

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Древаль А.Е.
- кандидат технических наук, доцент
Элькун Л.Я.

Ведущее предприятие - ЦНИТИ

Защита диссертации состоится 16 . 12 . 1998 г., в ___ часов ___ мин. на заседании специализированного Совета К 063.42.05 при Московском Государственном Технологическом Университете «СТАНКИН», по адресу: 101472, ГСП, Москва, Вадковский пер., д.3а.

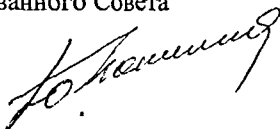
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ «СТАНКИН».

Ваш отзыв на автореферат, заверенный печатью, просим направлять по указанному адресу.

Автореферат разослан 16 . 11 . 1998 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета

к.т.н., доцент



Ю.П. Поляков

Общая характеристика работы

Актуальность. Преимущества фасонных концевых фрез наилучшим образом проявляются при обработке изделий с большим отношением длины к ширине фрезеруемых поверхностей. Наиболее широкое распространение они получили в турбиностроении при обработке лопаток турбин, авиастроении и инструментальном производстве при обработке штампов и прессформ. Обладая невысокой себестоимостью и сравнительной простотой в изготовлении, обеспечивая высокую точность обработки и исключая трудоемкий процесс размерного шлифования, фасонные фрезы нашли широкое применение при обработке зубчатых колес.

Применение стандартизованного инструмента, представленного концевыми фрезами, требует применения многокоординатных специализированных станков имеющих от трех-четырех до пяти-шести и более одновременно управляемых от системы ЧПУ координат.

Такие инструменты, как правило, выбираются в зависимости от производственного опыта предприятия и его возможностей. Такой подход к выбору инструмента не может обеспечить оптимальных условий формообразования и достижения точности поверхностей сложной формы, препятствуя повышению эффективности их обработки.

Используя инструмент с фасонной исходной инструментальной поверхностью можно реально повысить эффективность обработки сложных поверхностей на станках с ЧПУ.

Проектирование и производство инструмента для обработки фасонных поверхностей деталей является одной из сложных задач инструментального производства. Решение этой задачи и разработка более совершенных методов математического описания формообразующей поверхности фасонных концевых инструментов позволяет повысить качество их изготовления, увеличить производительность при обработке, что актуально для современного отечественного производства.

Целью работы является повышение качества обработки сложных фасонных поверхностей за счет применения фрез с винтовым зубом на криволинейной поверхности.

Достижение поставленной цели автор видит в:

- принципе определения формы винтовой режущей кромки на фасонной исходной инструментальной поверхности инструмента;
- разработке математической модели поверхности стружечной винтовой канавки, расположенной на фасонной формообразующей части концевой фрезы;
- создании объемной геометрической модели формообразующей поверхности фасонного инструмента;
- определении параметров установки дискового инструмента для обработки винтовых стружечных канавок с криволинейной сердцевиной на фасонной поверхности инструмента;
- моделировании процесса обработки стружечных винтовых канавок инструментом второго порядка и получении профиля канавки в контрольных сечениях.

Общая методика исследований. Работа выполнена с позиций общего подхода к проектированию режущих инструментов. Исследования проводились на основе анализа логических связей между зависимостями геометрической модели фасонной концевой фрезы, содержащих заданные зависимые и независимые параметры, с использованием положений дифференциальной и аналитической геометрии и векторной алгебры. При разработке геометрической модели стружечной канавки были использованы свойства кинематических винтовых поверхностей и поверхностей параллельного прямолинейного переноса. Полученные аналитические зависимости между конструктивными параметрами инструмента преобразованы в графики, как более удобный вид для представления этих зависимостей.

В результате исследований разработаны методика, алгоритмы и программ-

ное обеспечение для расчета режущей части фасонных концевых фрез с винтовыми зубьями на криволинейной поверхности вращения с возможностью их использования в общей системе САПР РИ на базе ПЭВМ типа IBM совместимых компьютеров.

Научная новизна представленной работы состоит в:

- математическом описании формообразующей части фасонных концевых фрез с винтовыми стружечными канавками, расположенными на криволинейной поверхности вращения;
- математических моделях винтовых стружечных канавок фасонных концевых фрез с криволинейной сердцевиной;
- аналитическом описании закономерностей изменения геометрических параметров вдоль режущей кромки с учетом изменения угла наклона винтовой стружечной канавки на фасонной поверхности инструмента;
- формировании объемной геометрической модели фасонной концевой фрезы на основе трехмерного геометрического моделирования;
- параметрах установки и профилировании дискового инструмента для обработки винтовых стружечных канавок с изменяющимися размерами зуба при сохранении постоянства их формы, расположенных на фасонной поверхности инструмента;

Практическая ценность работы состоит в:

- повышении эффективности и качества конструкторских разработок при проектировании фасонного концевого инструмента;
- повышении эффективности фрезерования сложных фасонных поверхностей при применении концевых фрез с фасонной образующей исходной инструментальной поверхности;
- повышении точности и технологичности изготовления фасонных концевых фрез за счет расчета траектории движения инструмента второго порядка при обработке винтовой стружечной канавки фасонной концевой фрезы на станке с ЧПУ;

- увеличении стойкости фасонных концевых фрез за счет достижения оптимальных геометрических параметров режущей части;

Реализация работы. Результаты работы в виде программного обеспечения внедрены на АО ЗВИ и Московском заводе «Микромашина».

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на заседаниях кафедры «Инструментальная техника и компьютерное моделирование» МГТУ «Станкин» (г. Москва, 1997, 1998), на Международной юбилейной научно-технической конференции «Прогрессивные методы проектирования технологических процессов, металлорежущих станков и инструментов» (Тула, 1997), 3-ем Международном конгрессе «КТИ-96» (г. Москва, 1996). Всего на 3-х научно-технических конференциях.

Публикации. По материалам выполненных исследований и разработок опубликовано четыре печатные работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложения. Материал изложен на 122 страницах машинописного текста, содержит 68 рисунок, 21 таблиц и графиков. Список литературы состоит из 115 наименований.

Основное содержание работы.

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются основные научные положения и новизна решений, а также рассматривается ее практическое применение.

В первой главе рассмотрены основные варианты проектирования фасонного инструмента, дан анализ приемов, связанных с выбором и оптимизацией геометрических параметров формообразующей части фасонного режущего инструмента в зависимости от условий эксплуатации. Проанализированы основные научные работы, посвященные данной теме и сделаны выводы. На основе анализа этих работ определены направления совершенствования конструкции формообразующей части фасонных концевых фрез и создана методика проек-

тирования фасонных концевых фрез с винтовыми стружечными канавками; определены задачи применения средств вычислительной техники и место систем трехмерного геометрического моделирования в структуре создания элементов системы автоматизированного проектирования (САПР) применительно к данному типу режущего инструмента.

Во второй главе раскрывается задача математического моделирования формообразующей поверхности фасонных концевых фрез с винтовыми стружечными канавками и способы ее решения.

Согласно классической теории, огибающая исходной инструментальной поверхности есть огибающая поверхности изделия при ее движении относительно неподвижного инструмента. Поэтому, исходными данными при ее определении являются заданная поверхность детали и схема формообразования. При моделировании поверхности стружечной канавки инструмента следует учитывать, что она предназначена, с одной стороны, для срезания припуска, а с другой — для придания обрабатываемой поверхности требуемой формы. На стадии проектирования стружечной канавки необходимо, чтобы ее форма соответствовала функциональному назначению инструмента.

Высокая работоспособность инструмента возможна при выполнении следующих условий: срезание припуска осуществляется при наличии оптимальных углов резания γ, α, ω по всей длине режущей кромки; достаточная прочность зуба обеспечивается заданной формой спинки и глубиной канавки h при постоянстве ширины ленточки f .

Использование фасонных инструментов с криволинейной образующей для обработки фасонных поверхностей требует установления рациональных значений параметров образующей инструмента. Расширение технологических возможностей инструмента может быть достигнуто путем использования в качестве образующей исходной инструментальной поверхности фасонной фрезы кривой с заданным законом изменения радиуса ее кривизны. Изменение кривизны определяется диапазоном изменения нормальной кривизны формообра-

зующего отсека сложной поверхности детали. Такая образующая инструмента может быть выпуклой, вогнутой или выпукло-вогнутой, состоящей из сопряженных дуг, радиус кривизны которых удовлетворяет определенному условию. В точке касания радиус кривизны кривых имеет одно и тоже значение.

В качестве образующей или ее отсеков могут использоваться различные кривые второго порядка (парабола, гипербола, эллипс, окружность и т.д.), трансцендентные кривые (логарифмическая спираль, спираль Архимеда и т.д.), т.е. почти все непересекающиеся кривые, удовлетворяющие требованиям по кривизне образующей детали.

При проектировании фасонного инструмента возникает задача нахождения винтовой режущей кромки на фасонной поверхности инструмента. Решение вопроса о нахождении винтовой линии на любой поверхности $F(x,y,z)=0$ приводит к решению дифференциального уравнения 1-го порядка в неявном виде. Задача решается сравнительно просто, когда данная поверхность - цилиндрическая с направляющей и образующими, параллельными оси Oz. В случае произвольной поверхности вращения заданной, уравнением $x^2 + y^2 = 2f(z)$, задача решается в квадратурах.

Для определения кривой можно составить ее натуральное уравнение:

$$K = \pm \frac{\varphi''(\sigma) - 1}{\sqrt{2\varphi(\sigma) - \varphi'^2(\sigma)}}.$$

Решение такого уравнения довольно трудоемкая задача и не всегда образующая инструмента описывается аналитической зависимостью. Чаще всего она определяется дискретно. Вследствие чего применяется аппроксимация такого участка образующей, что само по себе требует дополнительного решения. Погрешности, получаемые при аппроксимации, ведут к неточности определения, как самой образующей, так и последующему определению винтовой линии пересечения передней поверхности и образующей инструмента. Это, в свою очередь, приведет к погрешностям определения профиля стружечных канавок и углов резания.

Режущая кромка на фасонной исходной инструментальной поверхности определяется исходя из того, что винтовая линия представляет собой пересечение двух поверхностей: поверхности, образованной вращением образующей исходной инструментальной поверхности, и прямого архимедова геликоида (коноида) (рис.1). Поверхность фасонного инструмента можно представить в виде семейства окружностей, диаметр которых изменяется вдоль оси Oz и описывается у уравнением

$X^2 + Y^2 = R_{об}^2$, где $R_{об}$ - радиус окружности, равный переменному радиусу образующей ИИП фасонной фрезы вдоль оси Oz. Прямой архимедов геликоид описывается уравнением

$$Y = X \operatorname{tg} \frac{Z}{p}.$$

Решая совместно систему этих уравнений для каждого из радиусов и задаваясь координатой Z, находим координаты винтовой линии $V(x,y,z)$. В уравнении Архимедова геликоида p - винтовой параметр, задаваясь которым, можно изменять параметры винтовой линии. Винтовая линия, определяемая по этому принципу, может быть с постоянным и переменным шагом.

При постоянном шаге наблюдается изменение угла наклона винтовой линии и, соответственно, фактического переднего угла с изменением радиуса образующей, что при большом перепаде диаметров исходной инструментальной поверхности, около $(1.5 \div 2)d$, вызывает изменение наклона винтовой линии на $30 \div 40\%$. Это обстоятельство обуславливает применение винтовой линии постоянного шага только на фасонном инструменте с небольшим перепадом кривизны образующей. На других поверхностях следует применять винтовые линии переменного шага, изменяющие угол наклона винтовой линии в зависимости от изменения радиуса образующей.

Поверхность стружечной винтовой канавки фасонных концевых фрез должна обеспечивать:

- оптимальные условия срезания припуска (что достигается рациональ-

ми углами резания на всем протяжении режущей кромки);

- достаточную прочность режущего зуба (определяемую формой зуба и увеличением глубины канавки при возрастании диаметра образующей инструмента, что обеспечивает свободное размещение стружки);

- постоянство ленточки на всем протяжении режущего зуба.

Модель винтовой стружечной канавки получена движением образующей вдоль пространственной винтовой направляющей. В качестве образующей стружечной канавки использовался рассчитанный торцевой профиль стружечной канавки.

Направляющая прямой стружечной канавки была найдена исходя из предположения, что направляющая располагается в плоскости, проходящей через участок режущей кромки DE и составляет с осевой плоскостью xOz двугранный угол (рис.2). Образующая инструмента аппроксимировалась ломаной и рассматривались участки конуса между исходным сечением и сечениями Z_i , перпендикулярными оси инструмента (z) при движении вдоль оси z . Найденные, таким образом, точки направляющей (Lx_i, Ly_i, Lz_i) поворачивались в плоскости $xZiy$ вокруг оси Oz на соответствующий угол винтовой линии. Затем торцевой профиль канавки перемещался вдоль направляющей с соответствующим поворотом на угол φ_i с целью образования поверхности стружечной канавки (рис.3).

Таблица.1 Координаты базового торцевого сечения сферической концевой фрезы $R=15$ мм. со спинкой в форме ломаной при $z=6, h=1.5$ мм, $\alpha 1=40^\circ, \alpha 2=30^\circ, \gamma=12^\circ, r_o=1.3$ мм.

i	x_i	z_i
1	0.000000	3.840573
2	-0.073349	3.360240
3	-0.047843	2.854764
4	0.217510	2.371874
5	0.745512	2.006555
6	1.510860	1.963305
7	3.046485	2.338574;

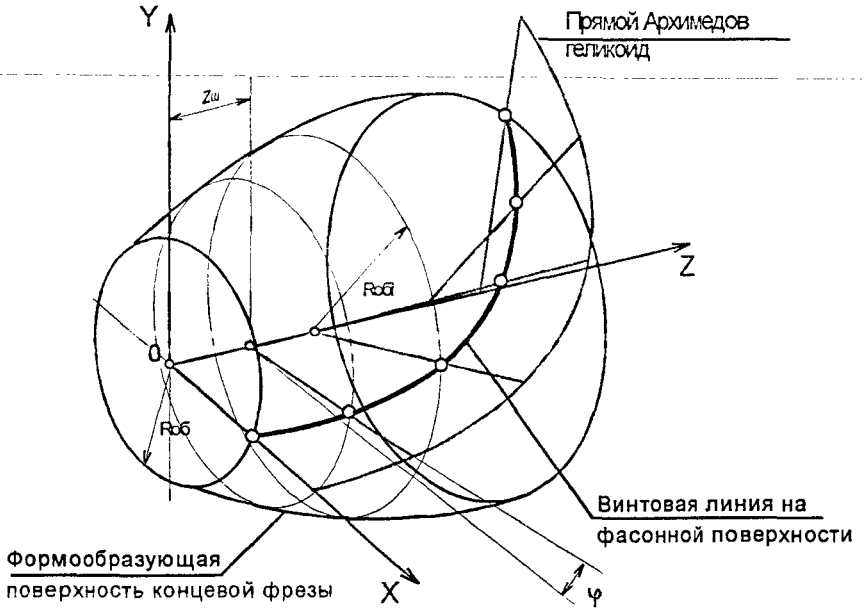


Рис.1 Схема определения винтовой режущей кромки

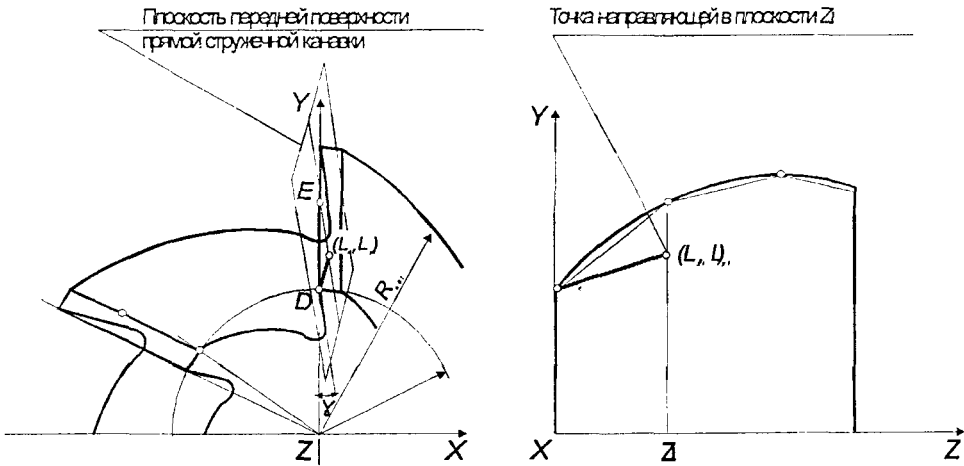
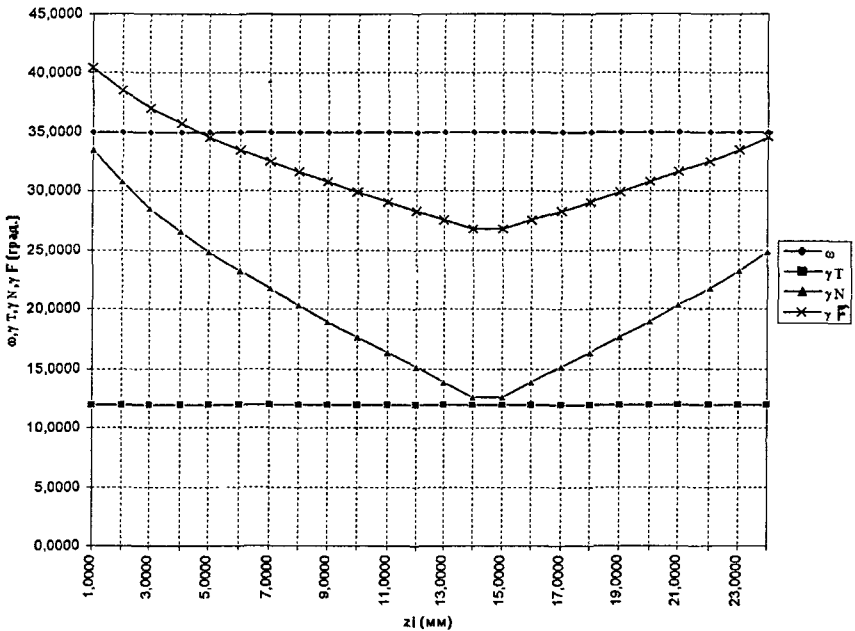


Рис.2 Схема определения координат направляющей (L, L) , прямой стружечной канавки

Таким образом, полученная модель стружечной винтовой канавки фасонного инструмента обеспечивает: постоянство ширины зуба вдоль режущей кромки; постоянство переднего угла γ_T в торцевом сечении; постоянство углов спинки зуба в торцевых сечениях и увеличение глубины канавки при сохранении постоянства формы вдоль режущей кромки фасонного инструмента.

График.1 Значения передних углов фасонной фрезы сферической формы $R=15$ мм, $z=6$, $\gamma = 12^\circ$ с винтовыми стружечными канавками при $\omega = \text{Const} = 35^\circ$



В третьей главе рассматривается объемное геометрическое моделирование фасонных концевых фрез на базе комплекса программных средств «Графика 3D».

Образующая кривая при перемещении в пространстве из начального положения в конечное занимает ряд последовательных положений, образуя поверхность. Образующая может перемещаться поступательно, вращаться вокруг оси симметрии и перемещаться по винтовой линии. Эти перемещения использова-

лись для создания объемной геометрической модели поверхности фасонных концевых фрез с винтовыми стружечными канавками.

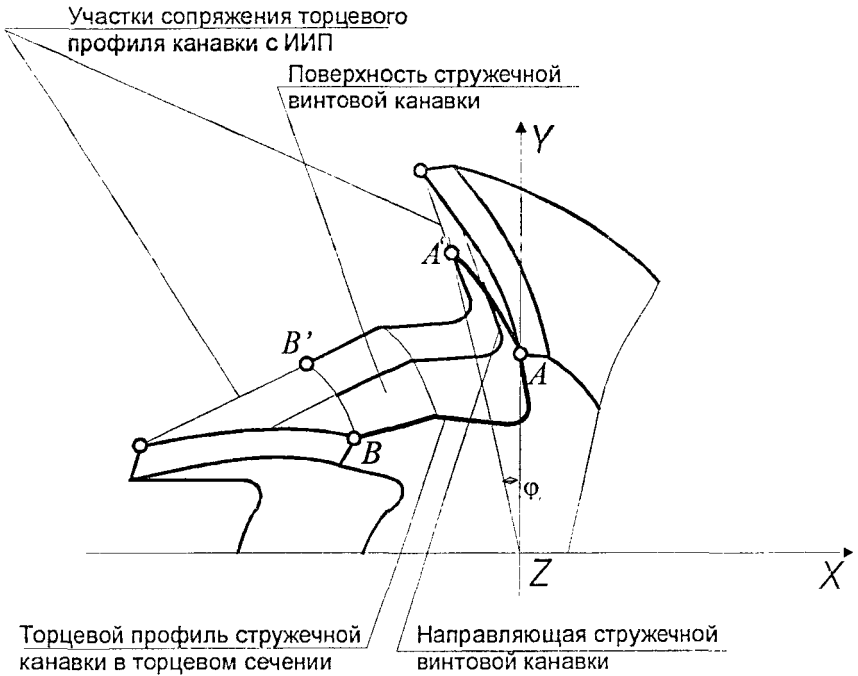


Рис. 3 Моделирование поверхности стружечной винтовой канавки на фасонной поверхности инструмента

Объемная геометрическая модель формообразующей поверхности фасонного инструмента формируется из набора торцевых сечений инструмента, которые полностью описывают теоретически рассчитанный профиль фасонной концевой фрезы в торцевых сечениях при движении вдоль образующей исходной инструментальной поверхности. Каждое сечение представляет собой замкнутую ломаную линию. Количество сечений, формирующих профиль инструмента, выбирается конструктором исходя из требований, предъявляемых к точности инструмента, и определяется при расчете фасонной образующей инструмента. Все торцевые сечения формируются проектирующей подсистемой автоматиче-

ски и записываются в файл в формате системы. Для этого использовался внутренний файл системы Графика-3D, который имеет текстовый формат и содержит команды системы. Ниже приводится пример описания одного базового торцевого сечения фасонного инструмента.

```

PLAN,POIN,0,0,0.000000      -3.328071,-1.916754      :5
SPLN,-1                      :3                        3.544595,-1.478462
:1                            -3.050206,-2.333719     2.111426,0.352041
-0.500000,3.807887          -0.748707,-2.005365     2.165498,0.991823
-1.364096,1.649634          -0.221287,-2.371524     2.452267,1.462310
-1.944618,1.375338          0.043296,-2.854836      2.877997,1.736008
-2.495483,1.387273          0.067996,-3.360352      3.331120,1.911450
-2.945868,1.618162          -0.006117,-3.840568     :6
-3.325014,1.922052          :4                        3.053920,2.328857
:2                            0.493934,-3.808678      0.751900,2.004170
-3.546945,1.472814          1.361467,-1.651805      0.225064,2.371169
-2.110862,-0.355404          1.942425,-1.378434      -0.038749,2.854901
-2.163916,-0.995271          2.493270,-1.391246      -0.062644,3.360456
-2.449934,-1.466215          2.943287,-1.622852      0.012234,3.840554
-2.875229,-1.740590          3.321948,-1.927346      -0.500000,3.807887;

```

На последнем этапе из набора торцевых сечений создается проволочная, а затем и твердотельная модель формообразующей части фасонной концевой фрезы.

Твердотельная модель формообразующей части концевой фрезы является основой при профилировании дискового инструмента для обработки винтовых стружечных канавок на данной поверхности.

Хвостовик инструмента, в зависимости от типа и размера, создается вводом основных исходных данных при вызове соответствующего файла из системы Графика-3D. Например, при вызове файла описания конуса Морзе - `kon_m.lb1`, система запрашивает:

ВВЕДИТЕ НОМЕР КОНУСА

?_.

Затем программа выбирает основные геометрические параметры осевого се-

чения хвостовика в зависимости от введенного номера из базы данных и рассчитывает недостающие реперные точки для построения его осевого сечения. Вращением вокруг оси симметрии образуется объемная геометрическая модель.

В четвертой главе осуществляется профилирование дискового инструмента для обработки винтовых стружечных канавок фасонных концевых фрез, его геометрическое моделирование и расчет параметров установки дискового инструмента для обработки винтовых стружечных канавок с изменяющимися размерами зуба при сохранении постоянства их формы, расположенных на фасонной поверхности инструмента. В данной главе также ведется моделирование обработки заготовки дисковым инструментом.

Для моделирования процесса обработки винтовых стружечных канавок на криволинейной поверхности вращения определяются параметры установки дискового инструмента.

Базовое расстояние A_{0i} от оси инструмента до оси заготовки

$$A_{0i} = \frac{D\phi}{2} + \left(\frac{d_i}{2} - h_i \right) \cdot \cos(\tau + \gamma_n),$$

где γ_n - нормальный передний угол определяется по формуле

$$\gamma_n = \arctg \left(\operatorname{tg} \omega \cdot \cos \left(\frac{\pi}{2} - \xi \right) + \operatorname{tg} \gamma_T \cdot \sin \left(\frac{\pi}{2} - \xi \right) \right).$$

Параметры положения инструмента относительно детали находятся по следующим зависимостям. Для получения необходимых параметров установки необходимо дисковый инструмент повернуть на угол ξ нормали к линии дна канавки (рис.4). Матрица соответствующего преобразования для нахождения координат центра инструмента второго порядка $(A\omega_z, A\omega_y)$ в плоскости YOZ имеет вид:

$$\begin{aligned} & (A\omega_z, A\omega_y, I) = (z_i, A\omega_i, I) \times \\ & \times \begin{bmatrix} \cos \xi & \sin \xi & 0 \\ -\sin \xi & \cos \xi & 0 \\ -z_i \cdot \cos \xi + Rk_i \cdot \sin \xi + z_i & -z_i \cdot \sin \xi - Rk_i \cdot \cos \xi + Rk_i & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

где Rk_i - радиус линии дна канавки в торцевом сечении.

При повороте дискового инструмента на угол $\gamma_N + \tau$ в плоскости XOY изменяются и координаты $A\omega_{xi}, A\omega_{yi}$.

$$(A\omega_{xi}, A\omega_{yi}, I) = (0, A\omega_{yi}, I) \times \begin{bmatrix} \cos(\gamma_T + \tau) & \sin(\gamma_T + \tau) & 0 \\ -\sin(\gamma_T + \tau) & \cos(\gamma_T + \tau) & 0 \\ R_{о6i} \cdot \sin(\gamma_T + \tau) & -R_{о6i} \cdot \cos(\gamma_T + \tau) + R_{о6i} & 1 \end{bmatrix}$$

В этом случае дисковый инструмент базируется по схеме представленной на рис.5, вследствие чего, точка скрещивания осей S перемещается в плоскости XOZ . Причем, угол поворота инструмента η зависит от направления винтовых стружечных канавок: при левой канавке $\eta = \omega$, при правой $\eta = 2\pi - \omega$. Матрица данного преобразования имеет следующий вид

$$(A\omega_{zi}, A\omega_{xi}, I) = (A\omega_{zi}, A\omega_{xi}, I) \times \begin{bmatrix} \cos \eta & \sin \eta & 0 \\ -\sin \eta & \cos \eta & 0 \\ -z_i \cdot \cos \eta + A\omega_{xi} \cdot \sin \eta + z_i & -z_i \cdot \sin \eta - A\omega_{xi} \cdot \cos \eta + A\omega_{xi} & 1 \end{bmatrix}$$

$$\varepsilon = \arccos(\sin(\omega) \cdot \cos(\tau + \gamma_n)).$$

Данные параметры приемлемы в случае обработки канавок фасонных фрез с небольшим изменением радиуса образующей исходной инструментальной поверхности. Это связано с тем, что при таком позиционировании дискового инструмента наблюдаются погрешности $\Delta \xi$ формы режущей кромки на детали при ее обработке. Устранить данную погрешность $\Delta \xi_i = |h_i - h_0| \cdot \operatorname{tg} \gamma_T$ можно внося коррекцию в параметры установки инструмента и детали. Для этого необходимо повернуть заготовку при обработке на угол γ_T .

При такой сложности формообразующей поверхности фасонных фрез профиль дискового инструмента в разных сечениях винтовой стружечной канавки разный. Задача профилирования основана на нахождении приближенного профиля инструмента второго порядка по поверхности стружечной канавки обрабатываемой заготовки в нескольких контрольных сечениях. Контрольные сечения

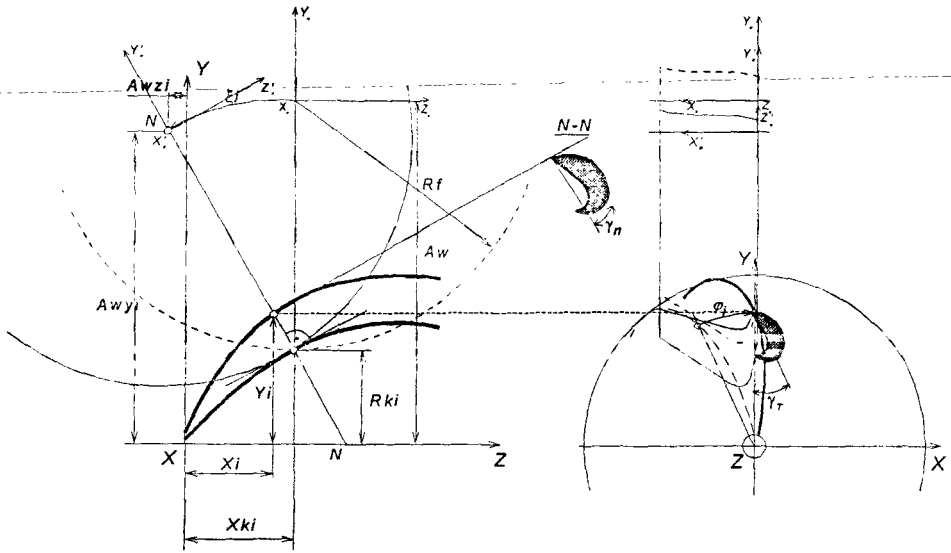


Рис.4 Базирование дискового инструмента в профильной плоскости для устранения подрезания дна стружечной винтовой канавки фасонных концевых фрез

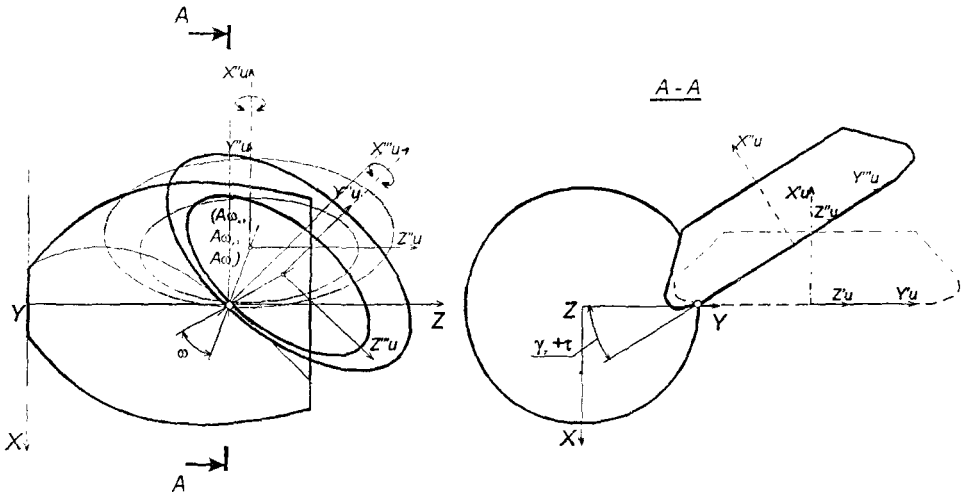


Рис.5 Позиционирование дискового инструмента в фронтальной и горизонтальной плоскостях для обработки винтовых канавок фасонных концевых фрез

назначаются на разных диаметрах вдоль режущей кромки.

Найденные профили совмещаются в одной плоскости, исходя из заданных параметров инструмента второго порядка, и на основе этого определяется окончательный профиль обрабатывающего инструмента в первом приближении. На рис.6 показана огибающая семейства сечений винтовой стружечной канавки в одном контрольном сечении. На основе найденного профиля инструмента второго порядка строится объемная геометрическая модель обрабатывающего инструмента.

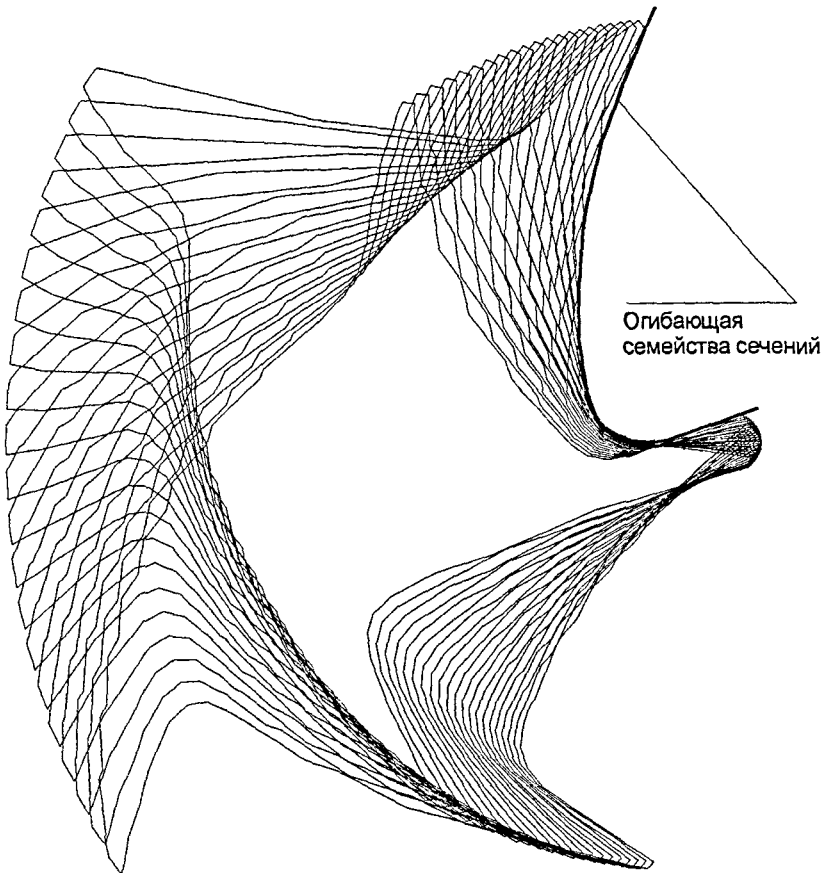


Рис.6 Построение огибающей семейства сечений винтовой стружечной канавки в одном контрольном сечении

Рассчитав параметры ($A\omega_n, A\omega_p, A\omega_m$) определяется траектория движения инструмента второго порядка. Затем на языке команд системы Графика-3D составляется программа перемещения обрабатывающего инструмента вдоль заготовки концевой фрезы и затем моделируется процесс обработки.

При моделировании процесса обработки винтовой стружечной канавки решается обратная задача профилирования, с определением профиля винтовой стружечной канавки в первом приближении.

Последним этапом проектирования инструмента является создание управляющей программы для станка с ЧПУ или рабочего чертежа концевой фрезы.

Управляющая программа создается на основе параметров установки дискового инструмента в процессе обработки стружечной винтовой канавки для конкретного станочного оборудования.

Чертеж создается по объемной геометрической модели инструмента в системе Графика-3D и может формироваться двумя способами:

- Объемная модель проецируется на три плоскости, и полученные проекции сохраняются, как плоские модели. Из этих моделей затем komponуется чертеж, на котором проставляются размеры;

- Размеры проставляются на объемной модели, которая затем отображается в требуемых видах. На конечном этапе все виды сохраняются как единый плоский чертеж.

В пятой Главе реализована задача проектирования концевой фрезы по чертежу, предоставленному предприятием и результаты ее расчета.

Основные выводы по работе.

1. Выполненный анализ литературных источников позволяет заключить, что моделирование формообразующих поверхностей фасонных концевых фрез с винтовыми стружечными канавками и криволинейной сердцевинной в литературе отсутствует. Создание метода математического описания инструментов такого типа позволит повысить качество их изготовления и увеличить производительность при обработке.

2. Предложен и реализован метод определения винтовой режущей кромки на фасонной исходной инструментальной поверхности, который позволяет определить координаты винтовой линии постоянного и переменного осевого шага на криволинейной поверхности инструмента.

3. Установлены величины погрешности ширины зуба и переднего угла в торцевом сечении концевой фрезы, на наружном диаметре при моделировании поверхности стружечной винтовой канавки. Это позволяет установить точность определения торцевого профиля при движении вдоль фасонной образующей инструмента. Величины погрешностей составляют: $f_{пз} = 0,658 \text{ мм}$; $\gamma_{пз} = 2,042 \text{ рад}$. соответственно при изменении $R_{обп} = 2,5 + 20 \text{ мм}$ и $\gamma_T = 0^\circ + 20^\circ$.

4. Установлены связи между основными геометрическими параметрами режущей части фасонных концевых фрез. Это позволяет контролировать и корректировать геометрические параметры режущей части в зависимости от изменения угла наклона винтовых зубьев и угла подъема образующей исходной инструментальной поверхности.

5. Предложена модель определения параметров установки дискового инструмента для обработки стружечных винтовых канавок на фасонной поверхности концевых фрез, которая позволяет моделировать процесс обработки стружечной винтовой канавки на станке.

6. Предложен и реализован механизм создания объемной геометрической модели формообразующей поверхности фасонных концевых фрез. Данный механизм позволяет осуществлять моделирование формообразующей части фасонных инструментов любой сложности.

7. Предложен и смоделирован процесс обработки стружечных винтовых канавок на криволинейной поверхности концевых фрез на основе трехмерных геометрических операций, что позволяет решить обратную задачу профилирования дискового инструмента и оценить точность обработки в первом приближении.

8. Разработан комплекс программных средств проектирования фасонных концевых фрез со стружечными винтовыми канавками, что позволяет использовать данные программные средства в общей САПР РИ.

Основные положения диссертации изложены в следующих публикациях:

1. Борисов С.В. Автоматизация проектирования фасонных концевых фрез с винтовыми стружечными канавками.// Автоматизация проектирования. - 1998, № 4(10). с.33-39.

2. Борисов. С. В. Математическое и графическое моделирование фасонного режущего инструмента для обработки сложных поверхностей штампов и прессформ.// Труды 3-го Международного конгресса «КТИ-96».-М.: МГТУ «Станкин», 1996. с-85.

3. Гречишников В.А., Борисов С.В. Формообразование винтовой поверхности на фасонной образующей инструмента.// Международная юбилейная научно-техническая конференция «Прогрессивные методы проектирования технологических процессов, металлорежущих станков и инструментов»: Сборник трудов.-Тула: ТулГУ, 1997. с-140.

4. Гречишников В.А., Борисов С.В. Проблемы и принципы подхода к конструированию концевых фрез для обработки сложных поверхностей.// Юбилейная международная научно-техническая конференция «Вопросы совершенствования технологических процессов механической обработки и сборки изделий машиностроения»: Тезисы докладов.-Тула: ТулГУ, 1996. с-74.