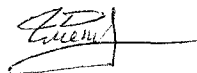


05.03.01  
С502

На правах рукописи

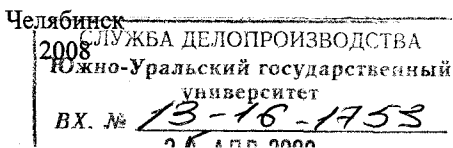


Сметанин Сергей Дмитриевич

**МЕТОД ПРОФИЛИРУЮЩИХ ОКРУЖНОСТЕЙ  
ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ  
ДИСКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Работа выполнена на кафедре «Станки и инструмент» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ).

Научный руководитель – доктор технических наук,  
профессор В.Г. Шаламов.

Официальные  
оппоненты: доктор технических наук,  
профессор В.И. Гузеев,  
кандидат технических наук  
В.М. Истомин.

Ведущее предприятие – ООО «ЧТЗ – УРАЛТРАК»,  
г. Челябинск

Защита диссертации состоится 27 мая 2008 года, в 15.00 ч, на заседании диссертационного совета Д212.298.06 в ауд. 201 главного корпуса Южно-Уральского государственного университета по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЮУрГУ.

Автореферат разослан «25» апреля 2008 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



И.А. Щуров

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Винтовые поверхности (ВП) получили широкое распространение в конструкциях изделий различного назначения. Работоспособность изделий с ВП в значительной степени определяется качеством формообразования ВП. При формообразовании ВП нашли применение несколько методов: копирование, центроидное и бесцентроидное огибание, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки. Так как профиль ВП не совпадает с профилем инструмента решают задачу профилирования. Сложности при профилировании появляются уже на стадии задания ВП и связаны с преобразованием к требуемому для решения задачи виду параметров профиля ВП: исходные данные на чертеже изделия зачастую задаются в различных сечениях и разными параметрами, т.е. без учета необходимости решения задач профилирования.

Методы решения задач профилирования прошли путь от графических, изначально имевших низкую точность решения и большую трудоемкость расчетов и построений, до аналитических, в которых данные недостатки были устранены практически полностью. Характерной чертой большинства аналитических методов профилирования является необходимость решения трансцендентных уравнений, что связано с преодолением нескольких затруднений. Одним из них следует считать то, что в основе многих методов профилирования лежит условие контакта, для получения которого необходимо записать вектор нормали или касательной к ВП. Данный вектор зависит от вида участка профиля ВП, поэтому вид получаемого трансцендентного уравнения контакта также различен для каждого участка. Другим является трудоемкость формализации непосредственно вычислительных процедур: определение метода решения, интервалов поиска корней и выбора нужного из них. Отсутствие формализации, в свою очередь, ведет к трудностям при написании алгоритмов и программ расчета. Во многих существующих методах полученное решение задачи профилирования определяется без учета условий формообразования. В таком случае при формообразовании ВП еще не гарантируется получения требуемого профиля.

Поэтому в настоящее время инновации при обработке ВП направлены на развитие методов профилирования, которые должны обеспечивать качественное решение вопросов профилирования в кратчайшие сроки и на современном техническом уровне. Соответственно, разработка эффективных методов решения задачи профилирования остается актуальной научно-технической задачей, имеющей широкое практическое применение.

**Цель.** Расширение технологических возможностей процедуры профилирования дискового инструмента при формообразовании ВП на основе метода профилирующих окружностей. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать и разработать классификацию задач профилирования ВП.

2. Решить инструментальную задачу профилирования дискового инструмента при формообразовании ВП методом профилирующих окружностей.

3. Формализовать условия необходимости и достаточности касания.

4. Определить адекватность метода профилирования и внедрить результаты в производство.

### **Научная новизна**

1. Определена функциональная взаимосвязь структурных элементов процесса формообразования (ВП, профилирующего инструмента и параметров установки) и сформулированы виды задач профилирования, позволяющая адекватно отразить сущность решаемых задач профилирования ВП.

2. Решена инструментальная задача профилирования методом профилирующих окружностей, гарантированно дающая решение для любой точки профиля ВП.

3. Получены зависимости условий необходимости и достаточности касания ВП и исходной инструментальной поверхности (ИИП), обеспечивающих получение заданного профиля ВП.

### **Практическая ценность**

1. Разработан метод экспериментального определения размеров профиля ВП с использованием цифровой техники, обеспечивающий точность измерений в соответствии с возможностями техники.

2. Разработана программа взаимосвязи координат точек профиля ВП в различных секущих плоскостях, позволяющая определить исходные данные для решения инструментальной задачи профилирования независимо от способа задания профиля ВП.

3. Разработана и зарегистрирована программа определения профиля дискового инструмента, обеспечивающая выполнение следующих функций: выбор наружного диаметра и размеров профиля инструмента; аппроксимация профиля прямыми или дугами окружностей; выбор аппроксимированного профиля по одному из четырех критериев; определение параметров установки инструмента относительно детали.

**Внедрение результатов работы.** Программа определения фасонной части профиля дискового инструмента Shape mill v. 1.0 (№ 2008610150) внедрена на челябинском заводе специальной технологической оснастки (ООО «ЧЗСТО»).

**Апробация.** Основные положения работы докладывались на научно-технических конференциях в ЮУрГУ (2006, 2007 и 2008 гг.), в рамках выставки “Машиностроение, металлообработка, сварка, инструмент” (г. Челябинск, 2007 г.), III международной научно-технической конференции

“Новые материалы, неразрушающий контроль и наукоемкие технологии в машиностроении”(г. Тюмень, 6 – 9 декабря 2005 г.).

**Публикации по теме.** По теме работы опубликовано 7 печатных работ в виде научных статей и тезисов докладов всероссийских и международных конференций, в том числе 2 по списку Высшей аттестационной комиссии.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и основных выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 175 страницах машинописного текста, содержит 69 рисунков, 13 таблиц, 100 наименований литературных источников.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Состояние вопроса.** Анализ опубликованных работ в области профилирования ВП показал следующее.

1. В настоящий момент исследователи выделяют две задачи профилирования: прямую и обратную. Прямая задача заключается в нахождении профиля инструмента при заданном профиле ВП. Обратная задача состоит в нахождении профиля ВП при известном профиле инструмента. Однако при определении профиля инструмента в исходные данные также входят: параметры установки инструмента относительно детали и некоторые параметры самого инструмента, например, его диаметр. То же относится и к обратной задаче профилирования, для решения которой в качестве исходных данных необходимы параметры установки инструмента относительно детали, а также наружный диаметр детали и угол наклона получаемой ВП. Таким образом, общепринятая классификация задач профилирования не полностью отражает структуру процедуры профилирования, а потому не способствует определению возможных направлений развития методов профилирования.

2. Вопросами профилирования ВП занимались М.М. Абдреев, А.Н. Борисов, С.В. Борисов, В.М. Воробьев, Ю.В. Гаврилов, В.А. Гречишников, С.Ю. Илюхин, Г.Г. Иноземцев, Г.Н. Кирсанов, Н.В. Колесов, С.И. Лашнев, Ф.Л. Литвин, В.С. Люкшин, С.М. Петров, Ю.Е. Петухов, С.П. Радзевич, П.Р. Родин, И.И. Семенченко, Г.Н. Сахаров, А.В. Хандожко, Н.А. Чемборисов, В.Г. Шаламов, Г.И. Шевелева, Н.Н. Щегольков, И.А. Щуров, М.И. Юликов, Ф.С. Юнусов и др. Разработанные ими методы классифицируют не только по степени применения математического аппарата (графический, графоаналитический и аналитический), но и по принципу определения профиля (методы совмещенных сечений, касательных и нормалей). Графические методы не позволяют на проектном уровне влиять на получаемое решение. Аналитические, в свою очередь, не обладают наглядностью. В методах совмещенных сечений отсутствует универсальная методика определения огибающей к семейству проекций винтовых линий для определения профиля ВП или инструмента, а дискретность уменьшает точность расчетов. Методы

касательных и нормалей используют условие контакта, что при практическом использовании в большинстве случаев связано с решением для каждого участка профиля ВП своего уравнения контакта и необходимостью формализации диапазона поиска его действительных корней. Таким образом, к настоящему времени отсутствуют универсальные методы, обеспечивающие получение решения для любого профиля ВП, вследствие чего необходимо продолжать работы в данном направлении.

3. С методом профилирования неразрывно связан способ задания параметров ВП. Профиль ВП может задаваться различным образом и в различных секущих плоскостях: осевой, радиальной, нормальной. Несмотря на широкое использование нормального сечения в качестве исходного, зависимостей, отражающих взаимосвязь координат произвольной точки профиля ВП в нормальном сечении с осевым или радиальным, в технической литературе не отражено.

4. Условия формообразования отражают взаимодействие поверхностей инструмента и детали таким образом, чтобы не происходило интерференции (подреза) или неполного удаления материала (недореза) профиля ВП. Выделяется различное количество условий формообразования, их сущность и форма записи. Выявленные различные интерпретации условий формообразования говорят о необходимости систематизации знаний в данной области и определении границ общности условий.

На основании проведенного анализа сформулирована цель и поставлены задачи исследования.

**Системный подход к процедуре профилирования.** В соответствии с определением широко распространенного системного подхода процедура профилирования является системным объектом, так как имеет некоторую структуру с определенными функциональными свойствами и взаимосвязями структурных элементов, что подтверждается уже выполненными исследованиями в этой области и результатами практики. При рассмотрении процедуры профилирования ВП можно выделить три структурных элемента этой системы (рис. 1):

- профилирующий (режущий) инструмент (РИ);
- профилируемая винтовая поверхность (ВП);
- установка инструмента и заготовки (У).

Каждый структурный элемент системы профилирования характеризуется своими конструктивно-геометрическими и/или установочными параметрами. При этом параметры структурных элементов по своему характеру и назначению различны (рис. 1б): постоянные, выбираемые из некоторого диапазона, однозначно рассчитываемые. Задачи профилирования целесообразно определять с учетом того, параметры какого структурного элемента однозначно рассчитываются. В связи со сказанным можно выделить такие задачи профилирования:

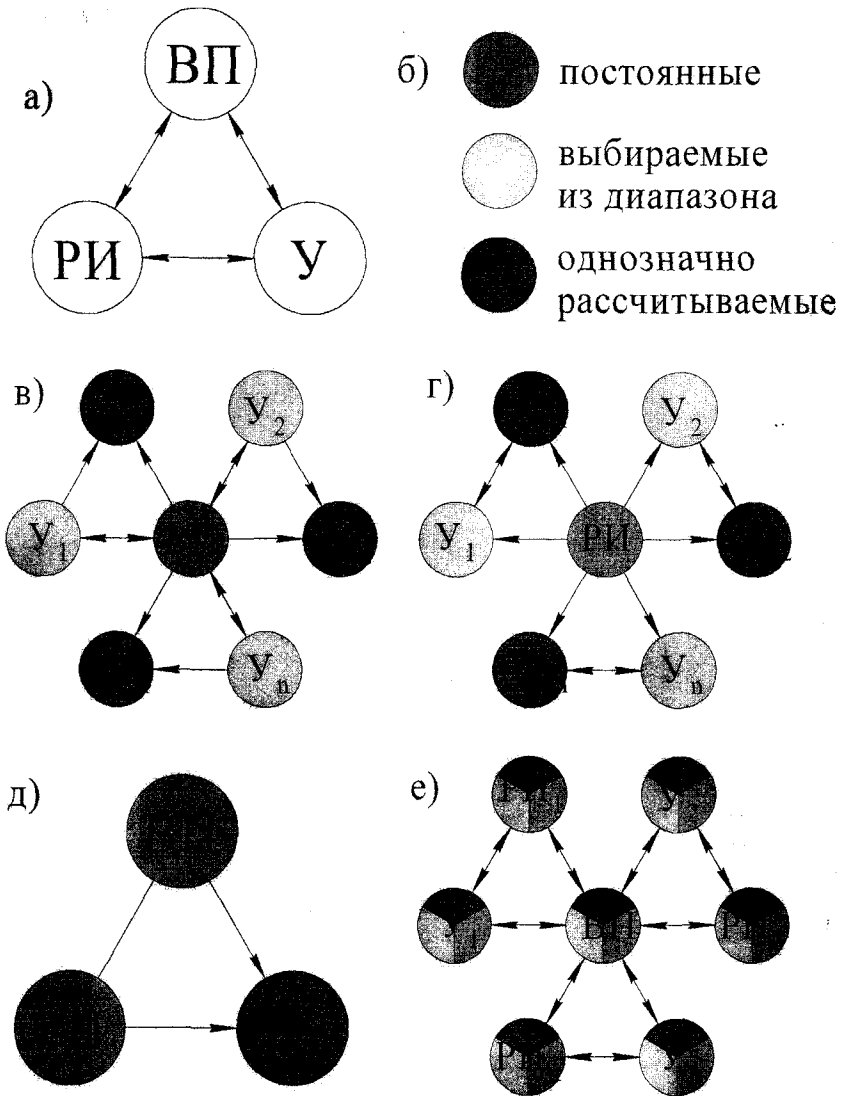


Рис. 1. Многовариантность процедуры профилирования:  
 а – структура системы профилирования; б – виды параметров структурных элементов; в, г, д, е – задачи профилирования: инструментальная, контрольная, наладочная, комбинированная

– инструментальная (прямая) задача (рис. 1в). В этом случае определяются параметры профилирующего РИ в зависимости от параметров профилируемой ВП и параметров установки;

– контрольная (обратная) задача (рис. 1г). Определяются параметры профилируемой ВП в зависимости от параметров профилирующего РИ и параметров установки;

– наладочная задача (рис. 1д). Рассчитываются параметры установки в зависимости от параметров профилирующего РИ и профилируемой ВП;

– комбинированная задача (рис. 1е). В этом случае возможно задание и определение параметров структурных элементов при различном их сочетании.

В результате анализа процедуры профилирования показано, что причинами многовариантности задач профилирования являются:

– системный характер процедуры профилирования, определяемый структурой и взаимодействием элементов;

– различный характер и назначение параметров структурных элементов;

– необходимость реализации условий правильного формообразования ВП, выравнивание условий резания вдоль режущей кромки, получение основных размеров ВП и т.п.

**Определение исходных данных для решения инструментальной задачи профилирования.** В связи с сотрудничеством с инструментальным заводом, в работе произведен анализ профилей ВП инструментов. Профили ВП, применяемые в инструментальном производстве, весьма разнообразны. Это связано как с типом инструмента, так и с условиями его эксплуатации и производства. Однако для большей технологичности количество профилей изделий желательно ограничить, т.е. произвести типизацию. Выявлены 6 широко распространенных профилей ВП и определены параметры, с помощью которых они однозначно определяются. Данные параметры используются при решении инструментальной задачи профилирования.

Для того, чтобы уметь определять координаты точек профиля ВП в любом сечении, необходимо определить взаимосвязь радиального и произвольного сечений ВП. Расчетная схема приведена на рис. 2. Для решения задачи необходимо каждую точку из радиального сечения винтовым проецированием перевести в заданное сечение. Координаты расчетной точки в сечении под углом  $\tau$  к оси определяются как  $Y_B = Y_R \cdot \cos \psi - Z_R \cdot \sin \psi$ ;

$$Z_B = (Z_R \cdot \cos \psi + Y_R \cdot \sin \psi) \cdot \sin \tau + p \cdot \psi \cdot \cos \tau,$$

где  $\psi$  – угол, определяющий положение расчетной точки в секущей плоскости  $Y_B Z_B$  относительно исходной плоскости  $Y_R Z_R$ ,

$$\psi = \frac{Z_R \cdot \cos \psi + Y_R \cdot \sin \psi}{p \cdot \operatorname{tg} \tau}.$$

Обратный перевод осуществляется по следующим зависимостям:



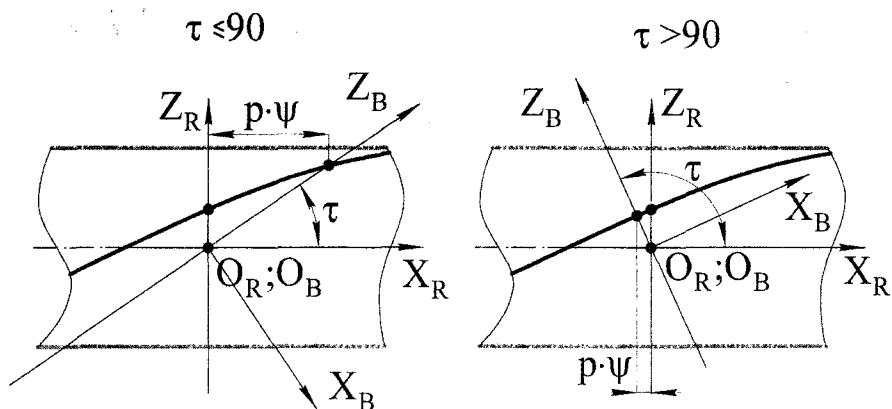


Рис. 2. Расчетная схема взаимосвязи систем координат

$$\begin{cases} Y_R = Y_B \cdot \cos \psi + Z_B \cdot \sin \tau \cdot \sin \psi; \\ Z_R = Z_B \cdot \sin \tau \cdot \cos \psi - Y_B \cdot \sin \psi. \end{cases}$$

где  $\psi = Z_B \cdot \cos \tau / p$ .

Полученная взаимосвязь координат позволяет определять исходные данные независимо от способа задания ВП на чертеже изделия.

**Метод профилирующих окружностей** основан на том, что у дискового инструмента, как и у любого другого, формообразующими участками являются точки профиля, лежащие на ИИП. То есть, вдоль оси дискового инструмента в любом его радиальном сечении формообразование осуществляется окружностью определенного радиуса (профилирующей окружностью). Поэтому для решения задачи рассматриваются не участки профиля инструмента, а профилирующие окружности.

Первоначально метод был разработан для контрольной задачи профилирования. Учитывая то, что рассматривается один и тот же процесс формообразования, метод профилирующих окружностей можно применить и к инструментальной задаче. Решение инструментальной задачи заключается в определении профиля дискового инструмента, который формируется совокупностью профилирующих окружностей. При этом параметрами каждой профилирующей окружности являются радиус и боковое смещение относительно точки скрещивания осей инструмента и детали. Применение метода профилирующих окружностей к инструментальной задаче позволяет использовать не условие контакта профилей (и, соответственно, решать уравнение контакта  $\bar{N} \cdot \bar{V} = 0$ ), а рассмотреть лишь соприкосновение профилирующей окружности с винтовой линией в момент профилирования расчетной точки профиля ВП. Расчетная схема момента профилирования

произвольной точки «k» профиля ВП приведена на рис. 3. Считаем известными: параметры установки – межосевое расстояние А и угол  $\varepsilon$  скрещивания осей инструмента и ВП (или угол  $\tau$  разворота оси дискового инструмента,  $\tau = 90 - \varepsilon$ ); параметры ВП – наружный диаметр D, угол  $\omega$  наклона винтовой линии на диаметре D и координаты Y, Z точек профиля ВП в радиальном сечении 1 – 1. В этом сечении  $\xi$  – угловое положение расчетной точки относительно оси Y ( $\xi = \arccos(Y/r)$ ), r – радиус элементарного цилиндра, на котором расположена расчетная точка.

Момент профилирования определяется угловым положением (углом профилирования) точки соприкосновения относительно принятой системы координат ВП. В работе получено трансцендентное уравнение для определения угла профилирования:

$$\beta = \xi - \frac{A \cdot \operatorname{tg} \tau}{p} \cdot \operatorname{tg} \beta,$$

где p – винтовой параметр ( $p = D/2 \cdot \operatorname{tg} \omega$ ).

Как показал проведенный анализ, исследуемое трансцендентное уравнение во всех случаях имеет единственное решение на интервале поиска  $\beta \in \left(-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right)$ .

Параметры профилирующей окружности (радиус R и боковое смещение  $X_{\text{И}}$ ) определяются как функции угла профилирования:

$$R = \sqrt{\left((Z_N - X_{\text{И}}) \cdot \operatorname{ctg} \tau - X_N\right)^2 + \left(A - Y_N\right)^2};$$

$$X_{\text{И}} = -r \cdot \sin \beta \cdot \cos \tau - A \cdot \sin \tau \cdot \operatorname{tg} \tau \cdot \operatorname{tg} \beta,$$

где

$$X_N = p \cdot \beta \cdot \cos \tau + r \cdot \sin \beta \cdot \sin \tau;$$

$$Y_N = r \cdot \cos \beta;$$

$$Z_N = p \cdot \beta \cdot \sin \tau - r \cdot \sin \beta \cdot \cos \tau.$$

Таким образом, в разработанном методе не требуется решать уравнение контакта и, соответственно, определять угол наклона нормали или касательной к фасонной поверхности, который может быть равен 0, 90° или близок к ним, что может стать причиной отсутствия решения при решении трансцендентных уравнений. Это связано с тем, что трансцендентное уравнение содержит искомый угол как в явном виде, так и под знаком тригонометрических функций в числителе и/или знаменателе. Как следствие, метод обеспечивает определение параметров соответствующей профилирующей окружности и, далее, решение инструментальной задачи профилирования. Кроме того, в методе профилирующих окружностей полученное трансцендентное уравнение едино независимо от вида участка профиля ВП.

**Формализация условий формообразования ВП.** Как показал анализ, у исследователей нет единого подхода к определению условий формообразования ВП. Однако, по мнению автора, условия формообразования

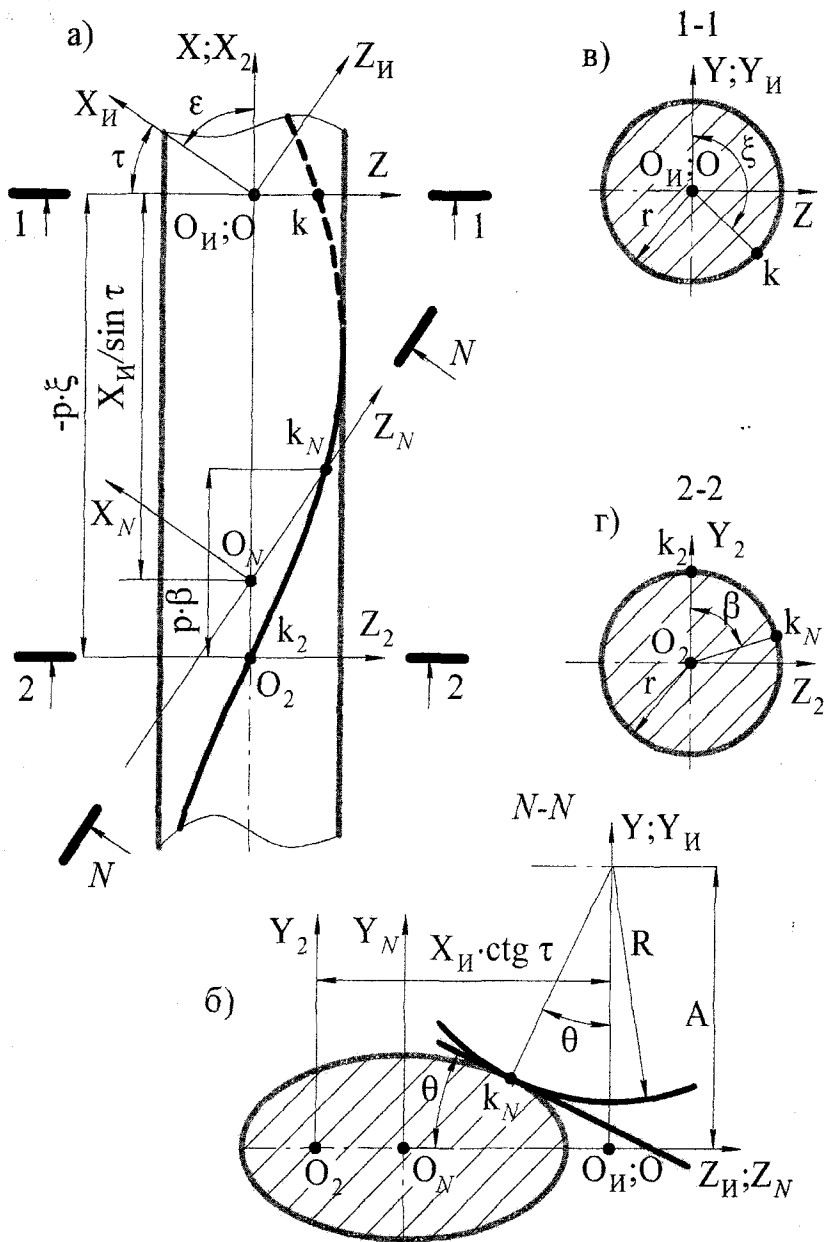


Рис. 3. Расчетная схема определения общей касательной

можно обобщить методом индукции по критерию необходимости и достаточности касания каждой точки профиля ВП с ИИП:

1. Каждая точка профиля ВП должна быть спрофилирована, т.е. в процессе формообразования какая-либо точка поверхности дискового инструмента должна коснуться расчетной точки профиля ВП. Данное условие отражает необходимость касания ВП и ИИП.

2. Касание ВП и ИИП в какой-либо точке еще не гарантирует, что инструмент одновременно в окрестности другой точки не удалит с профиля ВП больше материала, чем требуется. Поэтому второе условие формообразования можно сформулировать следующим образом: профиль ВП в процессе формообразования не должен интерферировать с ИИП. Поэтому для правильного формообразования касание ВП и ИИП является достаточным.

Методы профилирования ВП на основе общих касательных и нормалей обеспечивают выполнение первого условия формообразования, так как наличие общей касательной или нормали в точке предполагает касание ВП и ИИП. Поэтому при решении методом профилирующих окружностей, выполнение первого условия формообразования обеспечивается сущностью самого метода, в котором определяется момент касания ВП и ИИП.

Второе условие формообразования применительно к методу профилирующих окружностей можно интерпретировать следующим образом: в любой момент времени радиусы профилирующих окружностей в сечениях, перпендикулярных оси дискового инструмента, должны быть меньше расстояний из центров профилирующих окружностей в любую точку профиля ВП (или в крайнем случае равны им). Потенциальную опасность нарушения второго условия формообразования представляет не вся профилирующая окружность, а ее дуга, расположенная внутри цилиндрической заготовки (рис. 4, точки 1 и 2). Поэтому для крайних точек профиля ВП, которые располагаются на наружном диаметре, второе условие всегда выполняется, так как профилирующая окружность, касающаяся наружного диаметра изделия, не может подрезать профиль, точки которого располагаются на меньшем диаметре. Для остальных точек необходима проверка. Так как профиль ВП задан в радиальном сечении, то для определения относительного положения профиля ВП и дуги профилирующей окружности ее необходимо перевести в радиальную плоскость ВП. Это можно сделать, представив дугу окружности координатами отдельных точек. Если точки профилирующей окружности лежат вне тела детали, то второе условие формообразования для данной профилирующей окружности выполняется.

В случае если для какой-либо точки профилирующей окружности второе условие формообразования не выполняется, необходимо внести коррекцию в параметры профилирующей окружности. Учитывая, что каждая профилирующая окружность характеризуется двумя параметрами: радиусом  $R$  и боковым смещением  $X_b$ , то можно изменить либо один из них, либо оба. В работе показано, что при невыполнении второго условия формообразования для прямолинейного участка профиля ВП необходимо изменить боковое

смещение, а для радиусного участка – радиус профилирующей окружности. Если же второе условие не выполняется для двух участков, то следует изменить оба параметра профилирующей окружности.

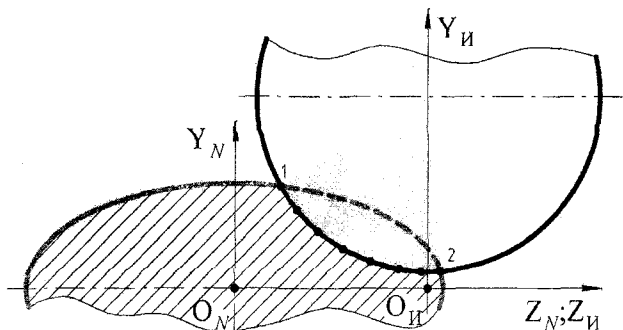


Рис. 4. Замена профилирующей окружности точками

При формализации указанных логических выводов для прямолинейного участка (рис. 5) получен критерий выполнения условия достаточности касания:

$$K = Y \cdot \left( Z'_2 \cdot \cos \mu + Y'_2 \cdot \sin \mu - \frac{D}{2} \cdot \sin \mu \right) + \\ + Z \cdot \left( Z'_2 \cdot \sin \mu - Y'_2 \cdot \cos \mu + \frac{D}{2} \cdot \cos \mu \right) - \frac{D}{2} \cdot Z'_2 = 0.$$

где  $D$  – наружный диаметр детали;  $Y'_2, Z'_2$  – координаты точки 2 профиля ВП на этапе задания профиля (рис. 5а);  $\mu$  – угловое положение профиля ВП при решении задачи профилирования ( $\mu$  является параметром установки).

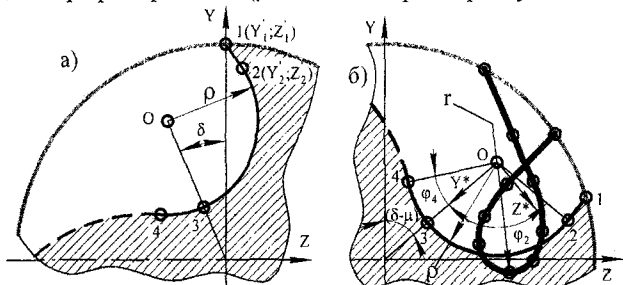


Рис. 5. Расчетная схема формализации второго условия формообразования

В случае нарушения условия будет происходить подрез, величину которого можно определить как расстояние от точки до прямой:

$$L = K / \sqrt{(Z'_2)^2 + \left( Y'_2 - \frac{D}{2} \right)^2}.$$

Подрез радиусного вогнутого участка профиля ВП будет иметь место при выполнении следующих условий (рис. 5б):

1. Радиус  $\rho$  вогнутого участка профиля ВП меньше радиус-вектора  $r$  из центра  $O$  рассматриваемого участка в любую точку дуги профилирующей окружности (в радиальной плоскости ВП);

2. Угловое положение  $\varphi$  радиус-вектора  $r$  располагается в диапазоне от  $\varphi_2$  до  $\varphi_4$  точек сопряжения радиусного участка профиля с соседними участками.

Указанные условия определяются:

$$r = \sqrt{(Y^*)^2 + (Z^*)^2} \leq \rho; \quad (1)$$

$$\varphi_4 \leq \varphi \leq \varphi_2, \quad (2)$$

где  $Y^* = Z \cdot \sin(\delta - \mu) - Y \cdot \cos(\delta - \mu) + d/2 + \rho$ ;

$$Z^* = Z \cdot \cos(\delta - \mu) + Y \cdot \sin(\delta - \mu);$$

$$\varphi = \arctg(Z^*/Y^*);$$

$\delta$  – угловое положение точки  $O$  центра радиуса окружности рассматриваемого участка профиля ВП на этапе задания профиля;

$d$  – диаметр сердцевины профиля ВП.

В случае наличия подреза разница между радиус-вектором  $r$  и радиусом  $\rho$  покажет его величину.

Найденная величина подреза участков профиля ВП не говорит о том, на сколько необходимо изменить параметры профилирующей окружности. Поэтому коррекция параметров профилирующей окружности выполняется численно до выполнения условия формообразования. Если изменить параметры профилирующей окружности, то, строго говоря, для данной точки профиля ВП нарушится первое условие. Однако так как профиль непрерывен, то в большинстве случаев формообразование точки профиля ВП будет осуществлено соседней профилирующей окружностью.

**Достоверность и адекватность результатов исследования.** Для оценки достоверности полученных результатов необходимо их сравнить как с результатами расчетов по другим известным методикам, так и с результатами практики.

Одним из известным методов решения является метод, разработанный П.Р. Родиным. В данном методе не учитываются условия формообразования, поэтому сравнение с методом профилирующих окружностей производилось без учета контрольной коррекции параметров дискового инструмента по второму условию формообразования. Сравнение метода П.Р. Родина с методом профилирующих окружностей показало, что с вероятностью 99,99% получаемое расхождение является статистически незначимым. Наиболее полно условия формообразования учитываются в методе С.И. Лашнева, поэтому сравнение метода профилирующих окружностей также было произведено с данным методом. Для имеющегося в литературе примера произведен расчет

профиля дискового инструмента методом профилирующих окружностей с последующей его коррекцией в соответствии со вторым условием формообразования. При этом можно отметить следующее: точки профиля инструмента после коррекционного расчета, полученные по методу профилирующих окружностей не совпадают с соответствующими точками профиля, полученными по методу С.И. Лашнева, но находятся на нем. Таким образом, при различном задании и количестве условий формообразования получен один и тот же профиль дискового инструмента.

Другим критерием оценки адекватности метода профилирующих окружностей является проверка практикой. Для заданных параметров профиля ВП был рассчитан и изготовлен профиль инструмента. Полученным инструментом осуществлено формообразование ВП и проведено математическое моделирование данного процесса. На рис. 6 результаты моделирования (профилирующие окружности в радиальной плоскости ВП) наложены на цифровую фотографию полученного профиля ВП и совмещены с профилем, измеренным с помощью разработанной методики. Как видно, результаты моделирования практически совпадают с реальным профилем. Поэтому можно сделать заключение, что метод профилирующих окружностей при решении инструментальной задачи профилирования после корректировки параметров профиля дискового инструмента в соответствии со вторым условием формообразования обеспечивает получение решения, адекватного реальному процессу.



Рис. 6. Результаты решения контрольной задачи

На основе метода профилирующих окружностей разработана и зарегистрирована программа расчета оптимального профиля дискового инструмента Shape mill v. 1.0 (№ 2008610150), успешно прошедшая промышленное внедрение.

## **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

1. На основе системного подхода к процедуре профилирования ВП установлена взаимосвязь структурных элементов процесса формообразования. Определен принцип классификации и сформулированы виды задач профилирования. Выделены причины многовариантности задач профилирования.

2. Разработан метод экспериментального определения размеров профиля ВП с использованием цифровой техники. Метод применим для любых фасонных профилей и обеспечивает точность измерений, зависящую от возможностей техники.

3. Определена взаимосвязь координат точек профиля ВП в различных секущих плоскостях, что позволяет использовать исходные данные профиля ВП независимо от способа его задания.

4. На основе метода профилирующих окружностей решена инструментальная задача профилирования. Отсутствие уравнения контакта позволяет расширить технологические возможности процедуры профилирования за счет возможности решения поставленной задачи для любого профиля ВП.

5. Получены зависимости условий необходимости и достаточности касания ВП и ИИП. Реализуемая численная коррекция параметров профиля инструмента гарантирует получение требуемого профиля ВП без подрезов.

6. Практические результаты работы заключаются в разработке программы взаимосвязи координат точек профиля ВП в различных секущих плоскостях и программы определения оптимального профиля дискового инструмента. Программы прошли апробацию и внедрены в действующее производство.

## **СПИСОК ПЕЧАТНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Шаламов, В.Г. Прямая задача профилирования дискового инструмента / В.Г. Шаламов, С.Д. Сметанин // Известия Челябинского научного центра УрО РАН, 2005-3. – С. 16–21. – [http://csc.ac.ru/news/2005\\_3/2005\\_3\\_6\\_1.zip](http://csc.ac.ru/news/2005_3/2005_3_6_1.zip).

2. Сметанин, С.Д. Взаимосвязь координат расчетных точек профиля винтовой поверхности в различных секущих плоскостях / С.Д. Сметанин, В.Г. Шаламов // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. – Челябинск: ЮУрГУ, 2005. – С. 56–64. – ISBN 5-696-03180-3.

3. Шаламов, В.Г. Формообразование винтовой поверхности дисковым инструментом / В.Г. Шаламов, С.Д. Сметанин // Новые материалы, неразрушающий контроль и наукоемкие технологии в машиностроении: Материалы III международной научно-технической конференции (06 – 09 декабря 2005 г.). – Тюмень: Изд-во «Феликс», 2005. – С. 181–187. – ISBN 5-91100-005-9.

4. Шаламов, В.Г. Экспериментальное определение размеров профиля винтовой поверхности / В.Г. Шаламов, С.Д. Сметанин, К.А. Резниченко



[и др.] // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. – Челябинск: ЮУрГУ, 2006. – С. 70–75. – ISBN 5-696-03637-6.

5. Шаламов, В.Г. Формообразование винтовых поверхностей профилирующими окружностями / В.Г. Шаламов, С.Д. Сметанин // СТИН. – 2007. – № 4. – С. 16–20.

6. Шаламов, В.Г. Профилирование винтовых поверхностей дисковым инструментом / В.Г. Шаламов, С.Д. Сметанин, К.А. Резниченко [и др.] // Машиностроение, металлообработка, сварка, инструмент: сборник докладов секции «Прогрессивные технологии металлообработки». – Челябинск: ЮУрГУ, 2007. – С. 25–27. – ISBN 978-5-696-03709-7.

7. Шаламов, В.Г. Совершенствование профилирования дискового инструмента при формообразовании винтовых поверхностей / В.Г. Шаламов, С.Д. Сметанин // Технология машиностроения. – 2007. – № 10. – С. 30–32.

8. Свидетельство о госуд. регистр. программы для ЭВМ №2008610150 Российская Федерация. Программа определения фасонной части профиля дискового инструмента (Shape mill v. 1.0) / С.Д. Сметанин, В.Г. Шаламов, А.А. Видинеев (RU); правообладатель Южно-Уральский госуд. университет. – №2007614128; заявл. 22.10.2007; зарегистр. 9.01.2008.