

М.И.Юликов,
Б.И.Горбунов, Н.В.Колесов

Проектирование и производство режущего инструмента

М.И.Юликов,
Б.И.Горбунов, Н.В.Колесов

Проектирование и производство режущего инструмента



МОСКВА

« МАШИНОСТРОЕНИЕ »

1987

ББК 34.6
Ю34
УДК 621.9.02

Рецензент А. М. Лейн

Юликов М. И. и др.

Ю34 Проектирование и производство режущего инструмента/М. И. Юликов, Б. И. Горбунов, Н. В. Колесов. — М.: Машиностроение, 1987. — 296 с.: ил.

(В пер.): 1 р. 30 к.

Изложена единая система проектирования режущего инструмента (СПРИ), состоящая из трех основных этапов: образование видов инструментов на базе кинематики формообразования; образование типов инструментов на основе различных схем срезания припуска; конструирование инструментов на основе полеметного принципа. Систему СПРИ представляет общий алгоритм, в соответствии с которым проектируются все основные виды режущих инструментов. Рассмотрены методологические основы автоматизированного проектирования инструмента, приведены новые методы расчетов, даны алгоритмы.

Для инженеров-инструментальщиков и инженеров-технологов.

Ю 2704040000—262
038 (01)—87 262—87

ББК 34.6

XXVII съезд КПСС выдвинул главную задачу двенадцатой пятилетки — повышение темпов и эффективности развития экономики на базе ускорения научно-технического прогресса, технического перевооружения и реконструкции производства. Большие задачи стоят перед машиностроением, в том числе перед станко-инструментальной промышленностью. Намечено ускорить выпуск прогрессивной техники, необходимой для технического перевооружения машиностроения. При этом режущий инструмент является важнейшим элементом, определяющим производительность металлорежущих станков. Он оказывает значительное влияние на совершенствование технологии механической обработки.

При оснащении разрабатываемых технологических процессов механической обработки режущим инструментом (РИ) возникают следующие задачи.

Задача оснащения РИ в технологической подготовке производства начинается с поиска готовых решений, удовлетворяющих техническому заданию. Здесь возникают следующие ситуации: принимается однозначное решение, т. е. есть готовое решение из имеющегося фонда конструкций;

существует многовариантное решение, требующее дальнейшего анализа и выбора наиболее рационального варианта (оптимизация); есть частичное решение, требующее доработки (модернизации); отсутствует решение из имеющегося фонда конструкций РИ и необходимо разрабатывать новую конструкцию.

Процесс разработки новых решений основывается как на общих закономерностях процесса проектирования, так и на специфических, характерных для РИ.

Общие закономерности относятся в первую очередь к решению двух классов задач: 1) выбор структур проектируемого объекта (структурный синтез) и 2) выбор параметров элементов структуры (параметрический синтез). Здесь должны быть рассмотрены как эвристические методы, так и поэлементный принцип проектирования, представляющий собой основу упорядоченного поиска новых решений

Рассмотрение специфических закономерностей процесса проектирования РИ является содержанием системы проектирования режущего инструмента (СПРИ; см. рис. 1.1).

Первая часть работы посвящена рассмотрению общих положений СПРИ, во второй части рассмотрены специфические закономерности, используемые при проектировании и расчетах соответствующих видов и типов РИ. В заключение рассмотрены материалы, связанные с автоматизацией проектирования РИ. Необходимость использования САПР инструмента в настоящее время не вызывает сомнений. Главное — обобщить имеющийся опыт в этой области и изложить основные положения нового научного направления.

Использование ЭВМ предоставляет большие возможности для проектирования. Это относится и к начальным стадиям создания научно-технической базы (проведение научно-исследовательских работ), а также к непосредственному решению проектных задач: поиск нужной информации и решений на основе таблиц соответствий (таблиц принятия решений); решение математически формализованных задач (в том числе оптимизационных); автоматизация управления процессом проектирования, оформление документации.

Развитие гибких производственных систем (ГПС), включающих систему инструментального обеспечения, делает необходимым автоматизированный поиск и проектирование инструмента.

Успех автоматизации проектирования РИ (как и других объектов) зависит от правильной оценки места и роли автоматизированного проектирования, в том числе от правильного распределения решаемых задач между человеком и ЭВМ; от качества постановки задач специалистами данной отрасли; от обеспеченности процесса проектирования наиболее полным и достоверным информационным фондом, включая методики осуществления автоматизированного процесса проектирования, а также от правильного выбора средств механизации и автоматизации (в том числе с учетом использования микроЭВМ).

Рассмотреть все перечисленные вопросы в одной работе не представляется возможным. Поэтому главное внимание уделено постановке задач автоматизированного проектирования РИ на основе СПРИ и обеспечению их решения соответствующими методиками.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Система — множество закономерно связанных друг с другом элементов, образующих единую целостность.

Технические системы могут включать в себя в качестве элементов средства техники (агрегаты, узлы, инструменты и другие технические устройства), предметы труда и процесс труда (в том числе понятия, нормы).

Технические системы (ТС) определяют следующие характеристики [28]:

$$ТС = \langle H, F, S, Z, И \rangle,$$

где H — связи системы с окружающей средой; F — набор выполняемых системой функций; S — структура системы; Z — совокупность функциональных и структурных свойств системы; $И$ — история функционирования и развития системы.

Приведенные характеристики относятся к числу системных и определяют наиболее существенные черты строения и функционирования сложных объектов и процессов.

Рассматривая РИ как объект проектирования и который удовлетворяет определению технической системы, его все же нельзя отнести к сложным системам. В то же время процесс проектирования режущего инструмента представляет сложную систему.

Характеристики конструкции РИ.

Связь РИ с окружающей средой. РИ представляет часть другой более сложной технологической системы: станок — приспособление — инструмент — заготовка. Ее связи определяются конкретным видом этой системы.

Набор выполняемых системой функций. РИ выполняет две функции: формообразование и снятие припуска в процессе резания.

Структура системы. Конструкция РИ имеет определенную структуру, включающую в наиболее сложном виде шесть основных частей.

История развития и функционирования системы. Существует длительная история развития конструкций РИ.

Аналогичными характеристиками обладают и процессы системы проектирования режущего инструмента (СПРИ), перечисленные ниже.

Набор выполняемых системой функций. Функция системы проектирования РИ заключается в преобразовании исходных данных в наиболее оптимальные решения структуры и параметров проектируемой конструкции РИ.

Структура системы. Структура СПРИ характеризуется совокупностью моделей и алгоритмов, описывающих информационные, логические и функциональные связи операций, процедур и модулей проектирования.

Таким образом, процесс проектирования РИ можно рассматривать как системный, и, следовательно, при разработке СПРИ необходимо использовать общие закономерности автоматизированного проектирования технических устройств и систем [15, 27, 28, 30].

1.2. БЛОЧНО-ИЕРАРХИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП РАСЧЛЕНЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ И ПРОЦЕССА ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Качественная определенность технических систем обусловлена их структурой, под которой понимается совокупность устойчивых отношений между частями целостного объекта или процессов. Относительная выделенность частей системы и их взаимосвязь — это две противоположности. В связи с этим структуру необходимо рассматривать как единство противоположных сторон: *расчлененности и целостности* [28].

Расчлененность объекта или процесса на части (уровни, этапы, стадии) представляет суть блочно-иерархического принципа расчленения сложных систем. На высшем уровне отражаются самые общие черты и особенности проектируемого объекта. На последующих уровнях степень подробностей рассмотрения возрастает. Система рассматривается не в целом, а отдельными блоками; при этом элемент K -го уровня становится системой на следующем $(K + 1)$ -м уровне. Элементы самого низшего уровня называются *базовыми элементами* или компонентами.

Для каждого объекта существует несколько способов его расчленения на подсистемы и элементы в зависимости от типа решаемых задач. Поэтому для однозначного задания структуры системы необходимо указать способ ее расчленения. Каждому способу соответствует определенный тип взаимосвязей частей системы, т. е. своя форма целостности. Например, при проектировании РИ учитывают кинематические, конструктивные и размерные связи между его частями, что отражается в соответствующих структурах.

Целостность объекта или процесса формулируется [28] в виде принципа совместимости.

Принцип совместимости: совокупность объектов может составлять систему, если они обладают свойством совместимости

по наиболее существенным видам связей и отношений, т. е. такой общностью по выполняемым функциям, которая обеспечивает их совместное функционирование как единого целого в соответствии с заданными техническими требованиями.

В случае нарушения принципа совместимости восстановление его иногда возможно за счет введения так называемых элементов-«посредников» [28]. Совместимость взаимодействующих технических систем и элементов может быть осуществлена различными способами и с различным экономическим эффектом.

При проектировании относительно простого объекта — режущего инструмента — на 1-м этапе проектирования (определение вида РИ) используются функциональные (кинематические) схемы, дающие представление о работе РИ при выполнении им 1-й функции, т. е. формообразования поверхности обрабатываемой детали (рис. 1.1); на 2-м этапе проектирования (определение типа РИ) используются функциональные (кинематико-конструктивные) схемы, дающие представление о работе РИ при выполнении им 2-й функции, т. е. снятия припуска с заготовки в процессе резания; на 3-м этапе проектирования (конструирование типоразмера РИ) используются структурные схемы конструкции РИ.

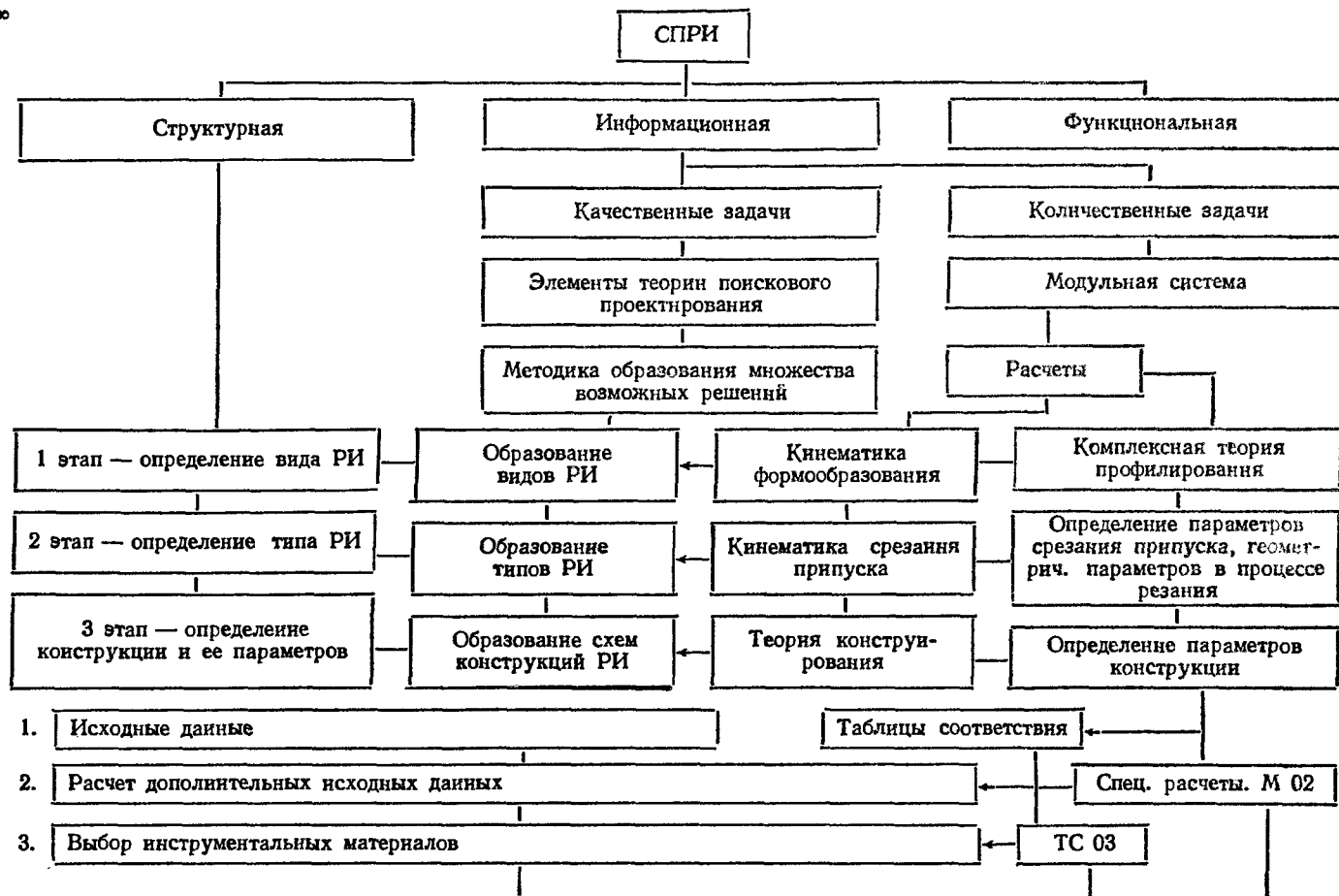
Блочно-иерархическое представление об объекте проектирования можно назвать расчленением на горизонтальные уровни. В свою очередь, на этих уровнях можно выделить задачи проектирования схем, конструкций и технологии.

Совокупность задач проектирования схем часто называют функциональным уровнем проектирования; совокупность задач конструирования — конструкторским уровнем проектирования; совокупность технологических задач — технологическим уровнем проектирования. Каждый из этих уровней охватывает соответствующие задачи всех или большинства горизонтальных уровней, и логично их называть вертикальными уровнями.

1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИХ ПАРАМЕТРОВ

Исходя из блочно-иерархического подхода к проектированию, следует рассматривать объекты проектирования как системы и элементы. По характеру функционирования объекты проектирования делятся на изделия и процессы (технологические, вычислительные). По физическим основам изделия делят на механические, гидравлические, электрические и др. Используются разнообразные классификации в зависимости от этапа и задач процесса проектирования.

Параметры объекта проектирования классифицируются на внутренние, внешние и выходные. Внутренние параметры — параметры элементов объекта проектирования. Внешние параметры — параметры внешней по отношению к объекту среды, оказывающей влияние на его функционирование. Выходные



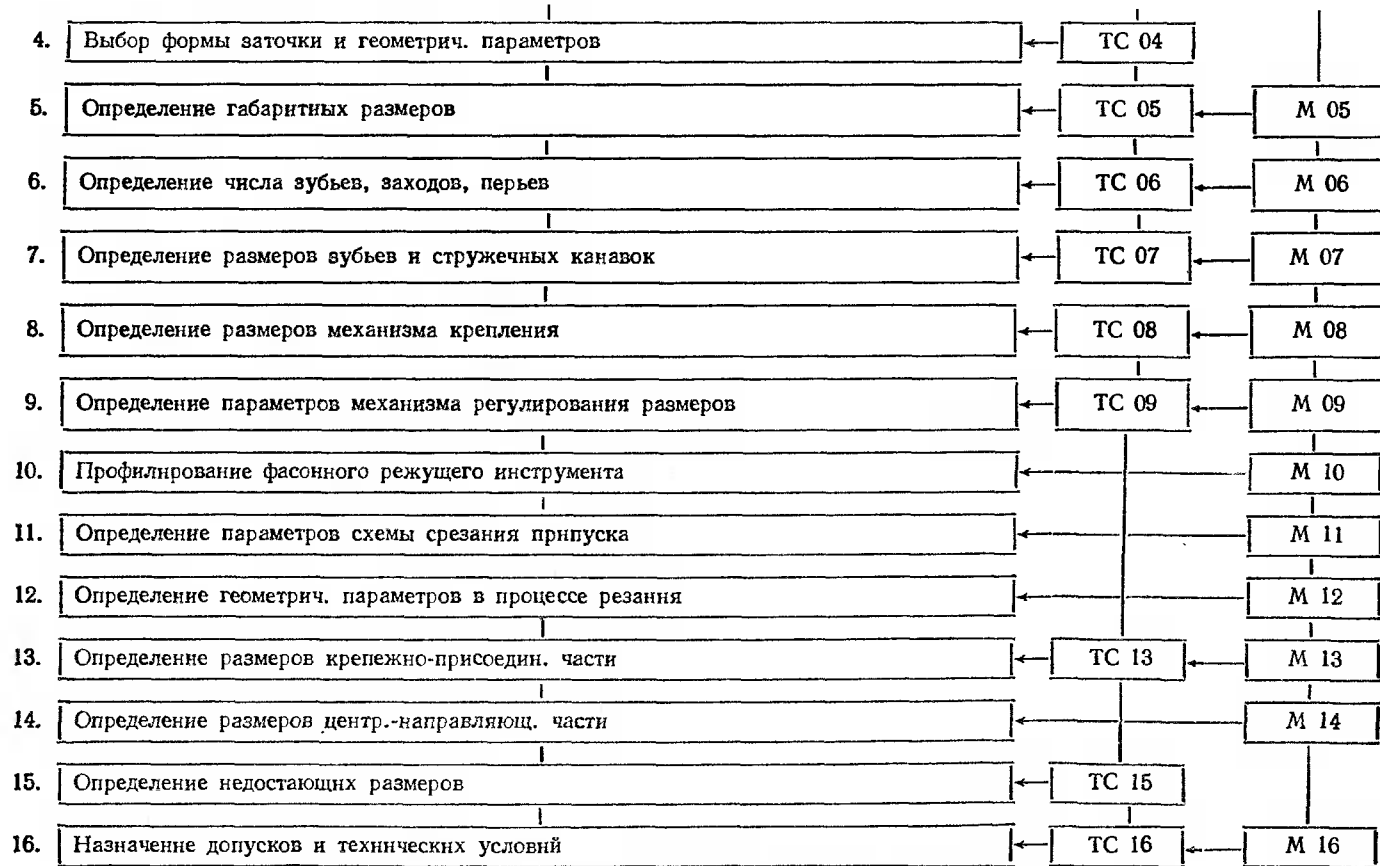


Рис. 1.1. Система проектирования режущего инструмента

параметры — показатели качества, по которым можно судить о правильном функционировании системы на любом иерархическом уровне.

1.4. СХЕМА ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ДАННОГО ЭТАПА (УРОВНЯ)

Независимо от объекта и этапа (уровня) проектирования реализацию возникающих задач можно представить в виде общей схемы процесса проектирования на очередном иерархическом уровне (рис. 1.2). Эта схема включает в себя: *синтез* структуры, составление модели и расчет внутренних параметров; *анализ* полученных результатов с их оптимизацией путем изменения управляемых параметров. В схеме отражается итерационный характер процесса оптимизации, затрагивающий возможные изменения, начиная с управляющих параметров и кончая корректировкой технического задания (ТЗ). Переход к следующему уровню проектирования осуществляется после оформления технической документации и формулировки ТЗ.

1.5. ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СИНТЕЗА

Задача синтеза включает в себя создание структуры проектируемого объекта — структурный синтез — и расчет его параметров — параметрический синтез [15].

Структурный синтез. Структура объекта проектирования определяется характером элементов и способом их связей между собой в составе объекта.

Если объектом проектирования является некоторая схема, то межэлементными связями являются функциональные, информационные, кинематические и другие связи. Если объектом является пространственная конструкция, то связи отождествляются со взаимным расположением элементов в пространстве.

При использовании блочно-иерархического принципа синтезируется не весь проектируемый объект в целом, а на каждом уровне определяется структурная схема, соответствующая этому уровню.

Уровни сложности синтеза [15]. 1-й уровень — структурный синтез отсутствует (структура задана), осуществляется только параметрический синтез; 2-й уровень — структурный синтез отсутствует, он заменяется выбором нужного варианта из имеющегося конечного множества структур с известными элементами (решение задачи «поиск»); 3-й уровень — структурный синтез осуществляется в виде выбора одной структуры из множества структур с заранее известным количеством элементов, но без ограничения на их исполнения (используя поэлементный принцип проектирования, можно получать новые решения); 4-й уровень — структурный синтез основан на использовании новых открытий.

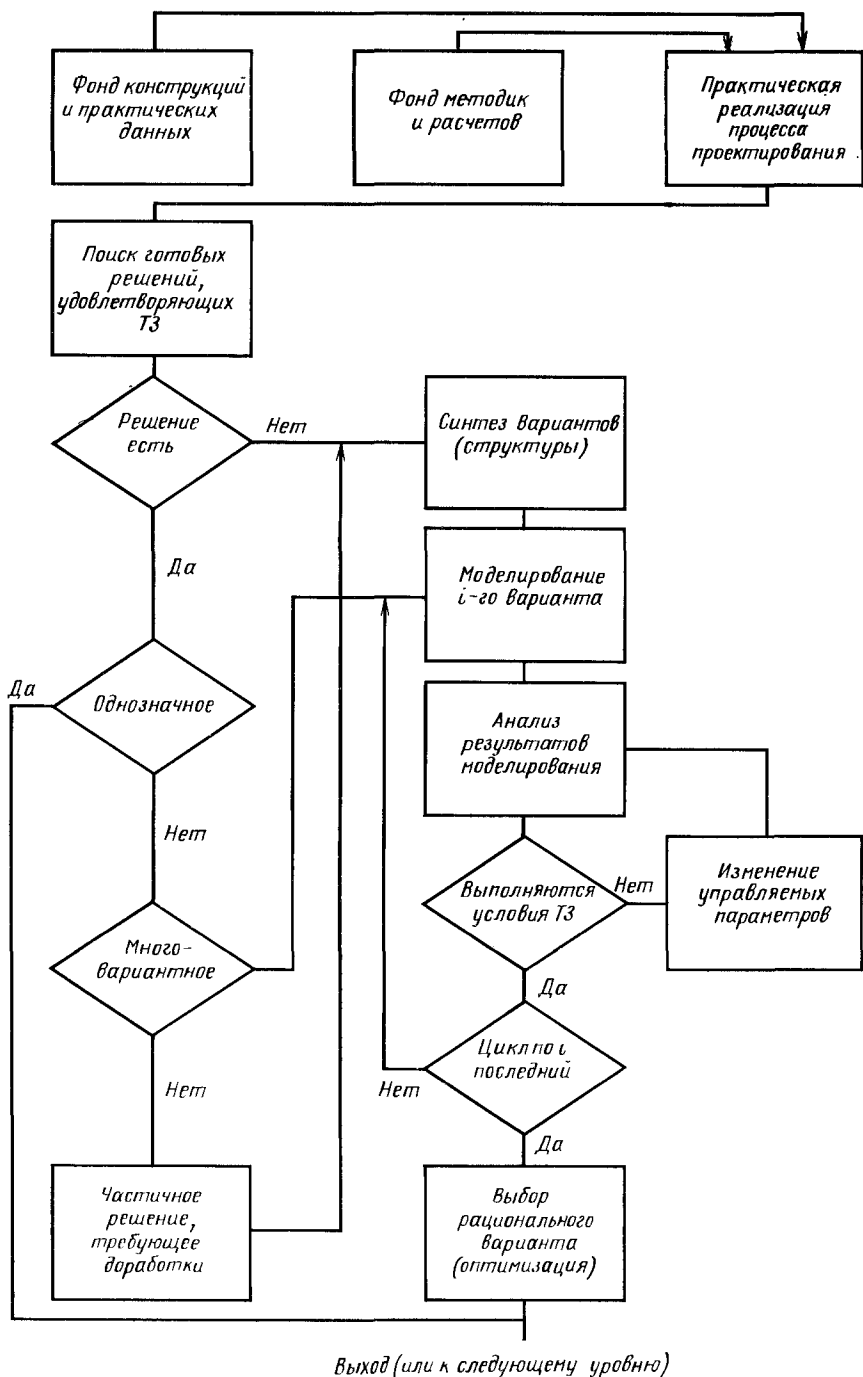


Рис. 1.2. Общая схема процесса проектирования на очередном этапе СПРИ

Методы решения задач структурного синтеза. Задачи 1-го уровня сложности решаются параметрической оптимизацией. Задачи 2-го уровня сложности решаются полным перебором вариантов и их оценкой. В случае очень большого множества вариантов применяют методы направленного перебора (линейное дискретное программирование, метод ветвей и границ, итерационные методы). Последние можно реализовать только при машинном проектировании.

Задачи 3-го уровня сложности решаются методом понижения уровня сложности, что практически исключает создание принципиально новых решений, или при их выполнении используются методы эвристического программирования, в том числе основанного на поэлементном принципе проектирования.

Эвристические методы мало разработаны, и это предопределяет необходимость активного участия человека в решении задач синтеза. При машинном проектировании они реализуются с использованием автоматизированного рабочего места конструктора.

Стремление повысить производительность процесса обработки резанием приводит к систематическому совершенствованию известных конструкций и появлению новых. Принципиально новые виды и типы инструментов являются, как правило, результатом изобретений, полученных случайно. Однако уже давно человек стремился к созданию соответствующих методов поиска новых технических решений. В настоящее время известно множество таких методов: метод морфологического ящика, «матрицы открытий», алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), метод систематической эвристики, функционального изобретательства и другие. Обобщив эти методы, предложили так называемый «обобщенный эвристический алгоритм поиска новых технических решений» [14]. Однако для практического использования этот метод слишком громоздкий, и требуется, как справедливо отмечает автор, при решении определенного класса задач выбросить «неэффективные процедуры». Особенно это важно, когда задача поиска нового решения осуществляется в пределах известной конструкции и необходимо улучшить функции какой-либо ее части или элемента.

Существенным недостатком многих известных методик нахождения новых решений (изобретений) является также отсутствие указаний по использованию имеющихся научных данных, в том числе специальных дисциплин.

Для разработки методик нахождения новых решений применительно к отраслевым задачам (в данном случае — при проектировании инструмента) необходимо: 1) использовать системный подход (систему проектирования режущего инструмента), обеспечивающий учет большего количества элементов при решении творческих задач; 2) учитывать уровень сложности творческих задач, специфику отрасли и сообразно этому использовать прием-

лемые частные методики; 3) использовать практические и теоретические материалы данной отрасли.

Исходя из этих положений, предлагается использовать для нахождения новых технических решений при проектировании режущего инструмента поэлементный принцип.

1.6. ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АНАЛИЗА

Задачи анализа [15] связаны с исследованием заданных объектов. Результаты анализа дают ответ на вопрос, какими свойствами обладает объект и насколько он хорошо удовлетворяет предъявленным требованиям, но непосредственно не содержат рекомендаций относительно того, что нужно сделать, чтобы улучшить объект и выполнить проектное задание. Несмотря на такой пассивный характер результатов анализа, его роль в процессе проектирования исключительно велика. Как правило, сложные задачи синтеза решаются при переборе вариантов. Оценка вариантов осуществляется путем решения задач анализа.

Решение задач анализа на ЭВМ производится с помощью численных методов, тесно связанных с используемыми математическими моделями. Особенности математических моделей определяют выбор методов анализа.

1.7. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Процесс совершенствования решения оптимизационных задач, вероятно, бесконечен, как бесконечен и сам процесс познания. Это связано с тем, что человек все время совершенствует оптимизационные решения с учетом новых открытий и научных знаний. А это и есть процесс все более системного (следовательно, и более точного) решения оптимизационных задач.

Проблема оптимизации является общей и важнейшей задачей для любого процесса проектирования. Задача эта сложная и до сих пор не решена методически. Так, например, не всегда удается выполнить следующие условия процесса оптимизации:

сначала необходимо оптимизировать систему обслуживания страны данной продукцией [25], что определяет состав типажа, в том числе и потребность в новых или модернизированных конструкциях;

оптимизация должна быть по возможности более комплексной, т. е. охватывать все три стадии прохождения продукции: проектирование, изготовление и эксплуатацию (потребление);

процесс оптимизации должен осуществляться систематически за период «жизни» изготавливаемого объекта путем его непрерывной модернизации на основе результатов наблюдений за эксплуатацией.

Оптимизация осуществляется на всех этапах и уровнях (см. рис. 1.1) процесса проектирования. При этом решаются два типа оптимизационных задач: обеспечение принятия качественных решений (выбор принципиальных решений, т. е. вида, типа и схемы конструкции) или так называемая *структурная* оптимизация; обоснование принятия количественных решений, т. е. *параметрическая* оптимизация.

Согласно общим положениям проектирования, проблема оптимизации имеет два основных аспекта: постановку задачи и ее решение.

В содержание постановки (формулировки) задачи входят: выбор управляющих параметров (важно отобрать существенные, с помощью которых осуществляется оптимизация); определение пределов изменения управляющих параметров (особенно важно для машинного проектирования); определение существенных технических ограничений; выбор критерия оптимизации (целевая функция).

Трудности решения оптимизационных задач заключаются не в их непосредственном решении с помощью соответствующего математического аппарата, так как последний имеется практически для всех видов оптимизационных задач. Они возникают главным образом при формулировке оптимизационной задачи и особенно при выборе критерия оптимизации (целевой функции). Это объясняется, в первую очередь, недостаточностью информации о проектируемом объекте (особенно при решении творческих задач), начиная с 1-го этапа проектирования.

Эти трудности усугубляются тем, что принятие решений на высших уровнях (этапах) процесса проектирования более значимо, и ошибки в их принятии более решающие, чем на низших уровнях (этапах).

Данные трудности решения оптимизационных задач преодолеваются двумя способами:

1-й способ. Разбиение этапа проектирования на уровни (использование блочно-иерархического принципа расчленения сложных систем и процессов их проектирования), что дает возможность при наличии исходной информации, достаточной для выполнения этого уровня, перейти к последующему уровню с дополнительной информацией предшествующего уровня.

При расчленении сложной системы на структурные части, т. е. при выделении подсистем различных уровней, возникает сложная задача полного и правильного учета «отсеченных» частей (элементов) системы, которая становится для выделенной подсистемы «окружением». Поэтому А. Холл [27] правильно отмечает, что «...одной из важнейших целей всего процесса разработки является оптимальное проведение двух функциональных границ: 1) границы, заключающей мир нашего интереса; 2) границы между системой и окружением». Здесь также уместно отметить необходимость при установлении связей между окружением и системой

(подсистемой) учета второго принципа Р. Эшби (принцип эмерджентности) [31]: «...чем больше система и чем больше различия в размерах между частью и целым, тем чаще вероятность того, что свойства целого могут сильно отличаться от свойств частей».

2-й способ. Итерационный процесс оптимизации конструкции более эффективный, чем 1-й, но требует использования ЭВМ.

При обоих способах задачи оптимизации упрощаются, если в качестве критерия удастся найти наиболее жесткое ограничение. В этом случае допустимо однокритериальное оптимальное решение. Но надо четко доказать, что выбранный критерий — главный; остальные используются в качестве ограничений.

В случае отсутствия главного критерия из технических ограничений в качестве такового часто выбирают экономический показатель — стоимость. Однако найти функцию стоимости от всех влияющих на нее параметров не всегда представляется возможным. Особенно это затруднительно при оптимизации решений творческих задач. В последнем случае часто используют обобщенный критерий, включающий в себя значимость входящих параметров (факторов), которые заменяют научно-технические обоснования их влияния на оценку. При этом оценку (баллы, очки) дают специалисты, и решение оптимизационной задачи осуществляется при машинном проектировании в диалоговой форме.

Наряду с указанными трудностями решения оптимизационных задач следует отметить проблему оценки точности результатов оптимизации в зависимости от точности исходной информации и точности ее переработки, т. е. от качества используемых теорий, методик (алгоритмов). В связи с этой проблемой следует отметить замечание В. А. Леонтьева [13], который пишет, что «...успех применения научных теорий и проверка гипотез на практике, особенно в области оптимизации процессов, зачастую зависят от такой прозаической вещи, как информационная обеспеченность. Так, идеи стохастического управления, столь плодотворные и изящные в теоретическом аспекте, нередко становятся бесплодными из-за отсутствия необходимой статистической информации. Поэтому пользователи в реальных условиях часто предпочитают упрощенные методики корректным, но сложным, дорогостоящим, к тому же связанным с большими затратами машинного времени»...

В связи с указанным многие системотехники считают необходимым развитие новой науки — информалогии, как части теории системы, изучающей внешние и внутренние воздействия на систему, т. е. влияние достоверности информации, которая собирается и перерабатывается системой.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. При проектировании технических объектов существуют два вида оптимизации: структурная и параметрическая. Наиболее сложной из них является первая, так как она связана с оценкой творческих (структурных) решений.

2. Идеальной оптимизации нет и не будет вследствие бесконечности процесса познания. Можно лишь рассматривать идеальную оптимизацию как цель, к которой мы стремимся.

3. Оптимизацию надо рассматривать комплексно, так как результаты оптимизации зависят от полноты учета факторов (в первую очередь, исходной информации), от совершенства методики (алгоритмов) проектирования, в том числе от совершенства принятой математической модели и таблиц соответствий, ограничивающих область применения соответствующих факторов, от точности расчетов, которая определяется указанными выше факторами.

2. СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

2.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СПРИ

Система проектирования режущего инструмента (см. рис. 1.1) включает три модели. Их построения основаны на приведенных выше общих положениях проектирования технических систем. Этими моделями являются: структурная модель, определяющая последовательность процесса проектирования; информационная модель, определяющая состав исходной информации и методы ее переработки при решении задач проектирования; функциональная модель, определяющая в каждом конкретном случае направление хода проектирования.

Структурная модель СПРИ разработана на основе блочно-иерархического принципа и определяется функциональным назначением режущего инструмента, его частей и элементов [12]. Последовательность этапов (блоков) структурной модели определяется информационной соподчиненностью, заключающейся в наличии исходной информации, достаточной для выполнения этапа (блока) процесса проектирования. Переход к последующему этапу (блоку) осуществляется на основе дополнительной информации преемствующего этапа (блока).

Режущий инструмент выполняет две функции — формообразование поверхности детали и срезание припуска. Первая функция на основе закономерностей кинематики формообразования предопределяет принципиальную схему инструмента, т. е. его вид; вторая функция инструмента на основе закономерностей кинематики срезания припуска предопределяет расположение режущих кромок относительно производящей поверхности инструмента, т. е. его тип. Определение вида РИ представляет первый этап проектирования; определение типа — второй этап.

Третий этап проектирования включает выбор схемы и определение параметров (характеристик) конструкции инструмента. Теоретической основой третьего этапа СПРИ является теория конструирования РИ.

Согласно установленным трем этапам СПРИ, осуществляется процесс определения вида, типа, схемы конструкции, параметров и характеристик конструкции РИ.

При рассмотрении информационной модели СПРИ необходимо отметить, что суть процесса проектирования заключается в пере-

работке исходной информации в конечную (выходную) информацию.

Основой для построения информационной модели СПРИ является решение задач двух типов: качественных (творческих) и количественных (расчетных).

Решение творческих задач. Поэлементный принцип проектирования. Отметим основные положения, на основании которых в СПРИ осуществляется направленный поиск новых технических решений.

Нахождение новых решений на каждом этапе проектирования основывается на теории поискового проектирования. Из анализа литературы следует, что решение творческих задач авторы пытаются упорядочить в двух направлениях: организационно-психологическом и методическом.

В первом направлении можно выделить следующие основные методы: а) метод «проб и ошибок»; б) «мозговой штурм», предложенный в 1953 г. американским психологом А. Осборном; в) метод контрольных вопросов, упорядочивающий перебор вариантов; г) морфологический анализ, предложенный в 1942 г. американским астрономом Ф. Цвикки; д) синектика, или «мозговой штурм», проводимый постоянными группами людей различных специальностей; е) алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), разработанный Г. С. Альтшуллером, представляющий определенную систему решений творческих изобретательских задач.

За исключением пп. г и е, перечисленные способы упорядочения поиска решений основаны на методе «проб и ошибок». От поиска решений одним человеком переходят к поиску группой людей («мозговой штурм»); устанавливают определенную последовательность обсуждения выдвигаемых идей (метод контрольных вопросов, синектика) и т. д.

Не отрицая определенную полезность организационно-психологического направления упорядочения решения творческих задач, все же большую пользу для нас имеют работы другого направления.

Исходным положением этого направления является признание, что процесс творческого конструирования является не искусством, а в первую очередь логическим мыслительным процессом, который необходимо исследовать, анализировать и на этой основе давать методы конструирования.

Анализ работ этого направления показал, что суть их сводится к использованию так называемого поэлементного принципа проектирования.

В общем виде этот принцип можно сформулировать следующим образом. Проектируемый объект (или процесс проектирования) рассматривается состоящим из определенного числа элементов, имеющих свое функциональное назначение. Каждый элемент может иметь несколько исполнений. Множество вариантов испол-

нений объекта определяются сочетанием различных исполнений его элементов.

Практическое использование поэлементного принципа проектирования, даже с учетом машинного проектирования, возможно лишь при определенных условиях, а именно: 1) при проектировании конкретного объекта; 2) при выполнении определенного этапа творческого процесса; 3) при условии, что проектируемый объект можно разбивать на определенное (известное) и относительно небольшое число элементов; 4) неизвестных элементов нет; 5) элементы, которые могут быть изменены (иметь другие исполнения), легко отличаются от элементов, не подлежащих изменению; 6) число исполнений изменяемых элементов таково, что их комбинации дают относительно небольшое множество вариантов исполнений объекта, которые практически можно оценить при использовании ЭВМ.

Этим условиям удовлетворяют творческие задачи, стоящие перед конструкторами режущего инструмента, поэтому принцип поэлементного проектирования здесь применим.

Содержание поэлементного принципа проектирования применительно к режущему инструменту (рис. 2.1): 1) положение о трех источниках множества (типажа) режущего инструмента; кинематика формообразования как источник получения видов инструментов; кинематика срезания припуска как источник образования типов инструментов; собственно конструирование как источник множества конструктивных исполнений; 2) наличие на каждом этапе проектирования творческой (изобретательской) задачи по выбору вида, типа, конструктивной схемы инструмента; 3) при решении творческих (изобретательских) задач поэлементный принцип используется с одной лишь целью — упорядочить решение, определив на основе проведенных исследований возможные варианты исполнений видов, типов и схем конструкций; 4) на каждом из указанных этапов проектирования инструмента разработка возможных вариантов исполнений осуществляется в последовательности, показанной на рис. 2.1 блоками 1—6.

Изложенные общие положения поэлементного принципа проектирования сохраняются на каждом этапе проектирования режущего инструмента, с той разницей, что в каждый пункт последовательности разработки множества возможных вариантов (исполнений) входит свое специфическое содержание.

В СПРИ, используя блочно-иерархический принцип, структурный синтез конструкций РИ осуществляется поэтапно. На первом уровне (1-й этап СПРИ) предопределяется (синтезируется) кинематическая схема инструмента в результате рассмотрения процесса формообразования, т. е. выполнения инструментом своей первой функции. На втором уровне (2-й этап СПРИ) кинематическая схема уточняется в результате рассмотрения схемы срезания припуска, т. е. выполнения инструментом своей второй функции.

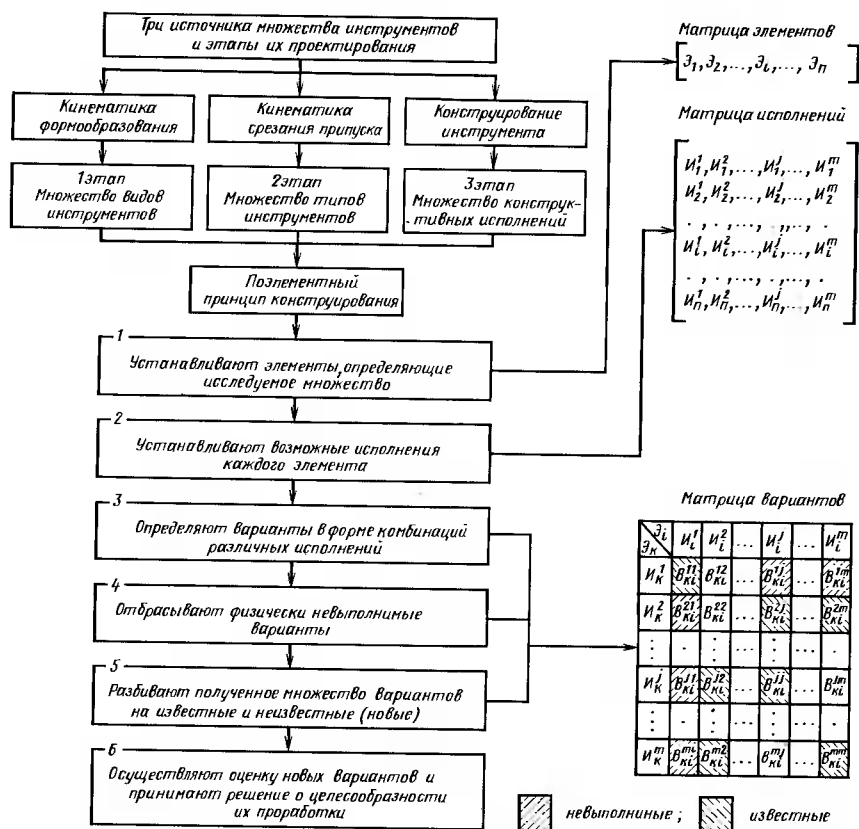


Рис. 2.1. Схема поиска новых решений на основеazoleментного принципа проектирования (условные обозначения):

$\mathcal{E}$ — элементы; I — исполнения; B — варианты; $i = 1, 2, \dots, k, \dots, n$ — номера элемента; $j = 1, 2, \dots, m$ — номера исполнения

В результате выполнения этих этапов возникают начальные элементы конструкции — производящая поверхность с расположением на ней режущих элементов в виде формообразующих кромок.

При переходе к расчетной части СПРИ (в начале 3-го этапа) синтезируется схема конструкции инструмента с уточнением функций отдельных частей и элементов, их относительного расположения в пространстве и взаимосвязи.

При решении творческих задач структурного синтеза может использоваться ЭВМ. Решение принимается в диалоговой форме. ЭВМ может: обеспечить конструктора необходимой исходной информацией; образовать множество возможных решений с помощью комбинаторики на базеazoleментного принципа проектирования; осуществить оценочные расчеты вариантов решений. Однако работы в этом направлении практически не ведутся.

Поэтому в ближайшее время необходимо разработать научные основы структурного синтеза применительно к проектированию РИ с определением рациональной области использования ЭВМ.

Решение расчетных задач основано на единой структурной схеме расчетной части 3-го этапа СПРИ. Анализ существующей практики расчета и конструирования РИ показывает, что можно разработать общую структурную схему определения параметров и характеристик большинства конструкций РИ. При этом для более простых инструментов часть блоков этой схемы может отсутствовать, но общая последовательность сохраняется.

Исходя из положения разработки структурной модели расчетной части 3-го этапа проектирования следующие.

1-е положение. Содержание структурной модели, т. е. состав блоков, определяется структурой проектируемого объекта — конструкцией режущего инструмента.

Исходя из этого положения, для получения полного состава блоков будем рассматривать наиболее общий случай проектирования — определение основных конструктивных параметров самой сложной (развитой) конструкции инструмента, включающей режущую, крепежно-присоединительную и корпусную части, механизмы крепления режущей части и регулирования размеров режущей части, центрирующе-направляющую часть.

2-е положение. Последовательность расположения блоков в структурной модели определяется информационной соподчиненностью, т. е. при наличии определенной исходной информации, достаточной для выполнения вычислительных процедур некоторого блока, переходят к последующему блоку с дополнительной информацией, полученной в предшествующем блоке.

На основании изложенных исходных положений, была разработана структурная модель расчетной части 3-го этапа проектирования, представленная на рис. 1.1. Она включает шестнадцать самостоятельных блоков.

1-й блок включает исходные данные. Содержанием следующего блока 2 является расчет дополнительных исходных данных.

Следующими блоками являются те, которые связаны с определением параметров режущей части инструмента, непосредственно осуществляющей процесс обработки и имеющей наибольшую полноту исходной информации для ее расчета. Поэтому далее следует: выбор инструментального материала (блок 3) и выбор формы заточки и геометрических параметров режущей части (блок 4).

Этим заканчивается определение основных параметров режущей части, если рассматривать ее лишь в качестве однозубого (однорезцового) инструмента.

Далее следуют блоки, в которых решаются задачи определения параметров режущей части многозубого инструмента: габаритных размеров (блок 5); числа зубьев (блок 6); размеров зубьев (пластин, ножей) и стружечных канавок (блок 7).

В том случае, когда проектируется сборная конструкция, переходят к определению размеров механизма крепления режущей части (блок 8), а для регулируемой конструкции — параметров механизма регулирования размеров режущей части инструмента (блок 9).

Имея данные по габаритным размерам инструмента и дополнительные исходные данные в виде параметров установки инструмента по отношению к детали, можно перейти к профилированию фасонного РИ (блок 10), определению геометрических параметров режущей части при работе инструмента (блок 12) и параметров схемы срезания припуска (блок 11). Последующие блоки являются завершающей стадией расчета конструкции инструмента. Они включают в себя: определение размеров крепежно-присоединительной части (блок 13); определение размеров центрирующе-направляющей части (блок 14); определение недостающих размеров (блок 15); назначение допусков и технических условий (блок 16).

Уровни решения задач проектирования режущего инструмента.

При оснащении технологического процесса режущим инструментом возникают различные уровни решения задач проектирования. Начинают обычно с поиска требуемого типоразмера инструмента (рис. 2.2) из имеющегося типажа, т. е. осуществляют реализацию проектирования на самом низком уровне.

При несоответствии имеющегося инструмента поставленным требованиям может возникнуть несколько ситуаций. Несоответствие может быть устранено путем пересчета некоторых параметров имеющегося инструмента без изменения схемы конструкции в целом и ее отдельных частей. Например, инструмент фасонный, а профиль имеющегося инструмента не соответствует профилю обрабатываемой детали. Возникает необходимость в осуществлении расчетной части 3-го этапа проектирования. При этом возможны различные варианты расчета, начиная от простейшего, когда у базового (исходного) инструмента меняют лишь координаты профиля режущих кромок (блок 10), до наиболее сложного, когда расчет включает все 16 блоков.

Если несоответствие инструмента (нарушение принципа совместимости) нельзя устранить простым пересчетом параметров базовой (исходной) конструкции, то переходят к отысканию новых решений в виде модернизированной (корректированной) конструкции.

Глубина модернизации может быть различной и затрагивать как отдельные части конструкции (например, режущей части в виде изменения материала или геометрических параметров), так и несколько частей при неизменности типа инструмента. Здесь приходится наряду с осуществлением расчетной части решать творческие задачи 3-го этапа при нахождении новой схемы конструкции, т. е. решать задачи синтеза.

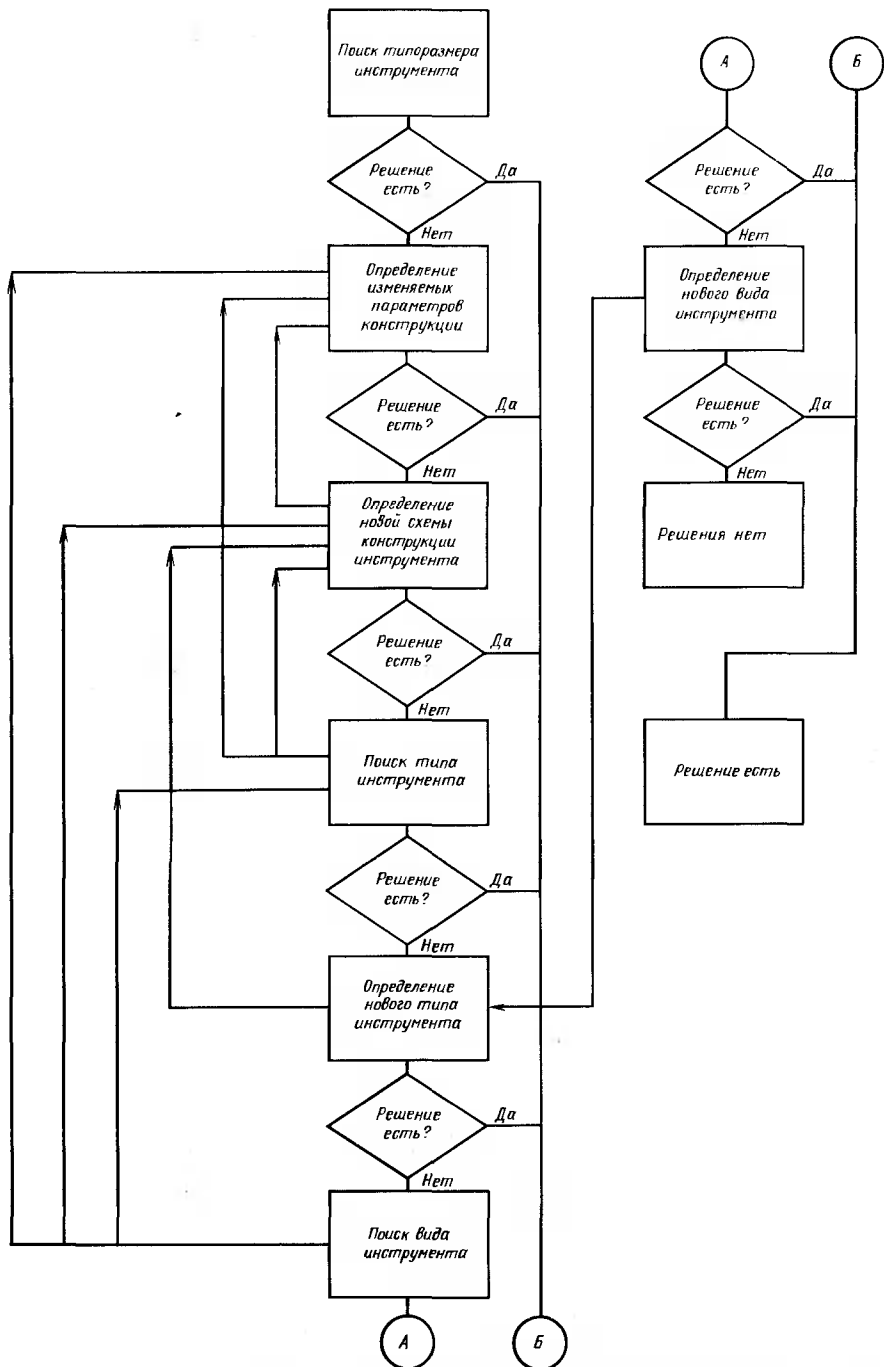


Рис. 2.2. Различные уровни решения задач проектирования режущего инструмента

Таким образом, конструктор решает практические задачи согласно СПРИ, начиная с самого низкого уровня с последующим переходом (если это требуется) на более высокие уровни до получения желаемого результата.

2.2. КИНЕМАТИКА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ — ОСНОВА ОБРАЗОВАНИЯ ВИДОВ И ПРОФИЛИРОВАНИЯ РИ

2.2.1. Кинематика формообразования — основа образования видов РИ

Процесс формообразования исследуется с целью выявления состава цикла движений функционального назначения при формообразовании не только одной поверхности, но и нескольких обрабатываемых поверхностей, принадлежащих детали, а также с учетом обработки партии (потока) деталей. При этом должны быть учтены все движения, включая и вспомогательные.

Для повышения производительности процесса формообразования рассматриваются конструктивные элементы с целью устранения части функциональных движений цикла обработки, их сокращения и совмещения, что приводит к повышению производительности и появлению соответствующих видов режущего инструмента.

Исследования кинематики формообразования должны выявить элементы, на основе которых образуется множество видов режущего инструмента с использованием поэлементного принципа проектирования.

Формообразование поверхности детали точкой. Рассматриваемые движения режущего инструмента отличаются друг от друга функциональным назначением: например, движение на глубину резания, движение вдоль образующей или направляющей поверхности детали, движение перехода от обработки данной поверхности к обработке следующей поверхности детали и т. д.

Из движений функционального назначения образуются циклы. Под *циклом движений* инструмента понимается совокупность функциональных движений, обеспечивающих выполнение той или иной части технологического процесса механической обработки (ход, переход и т. д.).

В качестве оценки производительности процесса обработки принимаются здесь лишь кинематические показатели: протяженность, скорость и время цикла обработки.

Пути повышения производительности: а) сокращение протяженности движений цикла; б) совмещение движений цикла; в) устранение некоторых движений цикла; г) выбор рациональной формы траектории движений цикла обработки, обеспечивающей возможность увеличения скорости движения.

Для определения полного набора функциональных движений рассматривается кинематика наипростейшего режущего инстру-

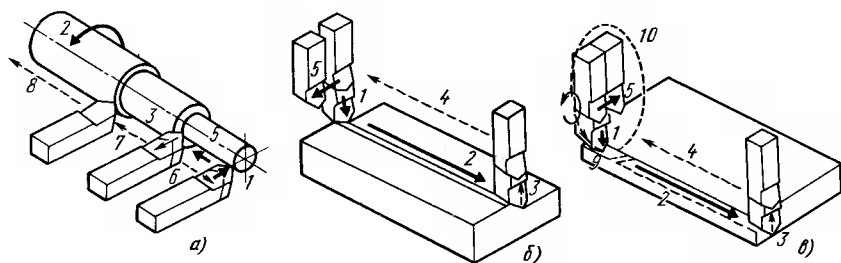


Рис. 2.3. Цикл функциональных движений при формообразовании точкой:
а — токарная обработка; *б* — строгание; *в* — фрезерование «летучкой»

мента — резца, осуществляющего процесс формообразования поверхности детали «точкой» *.

Цикл движений резца при точечном формообразовании деталей. Переходя к рассмотрению цикла движений резца точечного формообразования, прежде всего разбиваем на две группы множество инструментов с точки зрения формообразования направляющей поверхности детали.

К 1-й группе относим инструмент, траектория движения формообразующей режущей кромки которого в процессе резания находится на поверхности, совпадающей с обработанной поверхностью детали (иначе говоря, вектор скорости резания совпадает с направлением касательной к обработанной поверхности детали). Направляющая поверхности детали образуется кинематическим копированием.

Ко 2-й группе относим инструмент, траектория движения формообразующей режущей кромки которого в процессе резания не находится на поверхности, совпадающей с обработанной поверхностью изделия. Профилирование поверхности изделия осуществляется лишь в какое-то мгновение в процессе движения режущей кромки, а остальное время режущая кромка совершает либо резание без профилирования, либо холостое движение. Направляющая поверхности детали образуется в виде огибающей траектории движения резания.

Из анализа следует, что цикл обработки одной поверхности детали резцом (инструмент 1-й группы), осуществляющим формообразование «точкой», состоит из шести движений целевого назначения (рис. 2.3): движение врезания на глубину резания 1; движение вдоль направляющей поверхности детали 2; движение

* Геометрически, без учета микронеровностей, поверхность детали может быть образована точкой, линией или поверхностью. При точечном формообразовании резцом точка, образующая поверхность детали, является вершиной резца или же точкой касания закругленной кромки резца с заданной поверхностью.

выхода из резания 3; вспомогательное движение вдоль направляющей поверхности детали 4; движение вдоль образующей поверхности детали 5; вспомогательное движение вдоль образующей поверхности детали 6.

При работе однорезцовым инструментом, осуществляющим точечное формообразование, необходимо иметь два рабочих движения формообразования — движение вдоль образующей и вдоль направляющей поверхности детали. Для снятия припуска необходимо движение врезания на заданную глубину резания.

Таким образом, инструмент 1-й группы должен иметь три рабочих движения (1, 2 и 5). Однако в силу прерывистости процесса формообразования и снятия припуска возникают вспомогательные движения, число которых соответствует числу рабочих движений (правило парности), а именно: а) движение 3 выхода из резания, вызванное прерывистостью направляющей или образующей поверхности детали, в результате которого прерывается процесс резания, а инструмент выходит из зоны резания; б) вспомогательное движение 4, вызванное незамкнутостью направляющей поверхности; это приводит к тому, что движение вдоль направляющей поверхности (движение 2) прекращается, и для его повторного осуществления необходимо иметь в цикле хода указанное движение; в) вспомогательное движение 6, возникающее в результате незамкнутости образующей поверхности; это приводит к прекращению движения вдоль образующей (движение 5), и для его повторного осуществления необходимо иметь в цикле перехода указанное движение.

Цикл движений резца точечного формообразования при обработке детали, партии (потока) деталей. Чтобы иметь полный набор кинематических движений целевого назначения, определяющий продолжительность производственного процесса обработки детали, необходимо дополнительно к указанным движениям добавить еще два движения (см. рис. 2.3), а именно:

а) вспомогательное движение перехода от обработки данной поверхности к обработке следующей поверхности одной и той же детали (движение 7);

б) вспомогательное движение перехода от обработки данной детали к обработке следующей детали (движение 8).

Таким образом, при работе резцом цикл обработки деталей может включать максимально *восемь* функциональных движений, продолжительность которых определяет время обработки.

При работе фрезой-летучкой ($z_n = 1$), т. е. однорезцового инструмента 2-й группы точечного формообразования (см. рис. 2.3), к перечисленным движениям цикла обработки резцом необходимо добавить движение резания зуба (резца) за один оборот фрезы 9 и вспомогательное движение зуба (резца) за один оборот фрезы 10. Последнее движение возникает в результате несовпадения рабочего движения 9 (кругового) с движением 2 вдоль направляющей поверхности изделия, и для осуществления

повторного снятия припуска необходимо указанное вспомогательное движение.

Таким образом, при работе однорезцового инструмента точечного профилирования 2-й группы цикл обработки деталей может включать максимально десять функциональных движений, продолжительность которых и определяет время обработки.

Протяженность движений цикла обработки. Протяженность движений цикла обработки

$$L_{ц.о} = \sum_{i=1}^8 L_i, \quad (2.1)$$

где L_i — протяженность i -го движения в цикле обработки партии деталей; i — номер движения цикла.

Подставив значения L_i в (2.1), получим

$$L_{ц.о} = n_d \sum_{j=1}^{k_{п.д}} \left\{ \sum_{m=1}^{k_{пер j}} [k_{2x jm} (l_{1jm} + l_{2jm} + l_{3jm} + l_{4jm}) + (l_{5jm} + l_{6jm})] + l_{7j} \right\} + (n_d - 1) l_8, \quad (2.2)$$

где n_d — количество деталей в партии; $k_{п.д}$ — количество обрабатываемых поверхностей детали; $k_{пер j}$ — количество переходов при обработке j -й поверхности; $k_{2x jm}$ — количество двойных ходов при осуществлении m -го перехода при обработке j -й поверхности; j — номер поверхности, $j = \overline{1, k_{п.д}}$; m — номер перехода, $m = \overline{1, k_{пер j}}$; l_{1jm} , l_{2jm} , l_{3jm} — протяженность соответствующих движений.

При последовательной обработке партии деталей с замкнутой направляющей обрабатываемых поверхностей (тел вращения) в формулу (2.2) необходимо подставить значения, в силу замкнутости направляющей, $l_{1jm} = l_{3jm} = l_{4jm} = 0$. Однако для цикла перехода одно движение врезания 1 (см. рис. 2.3) на глубину резания и одно движение 3 выхода из резания в цикле перехода остается. Оставшееся движение 2, будучи повторено $k_{2x jm}$ раз по времени, совпадает с движением вдоль образующей обрабатываемой поверхности. Поэтому для определения времени цикла обработки одно из движений может не рассматриваться как совмещенное с другим движением. В нашем случае для расчетов проще отбросить движение 2 и оставить движение 5. Тогда (2.2) будет иметь вид

$$L_{ц.о} = n_d \sum_{j=1}^{k_{п.д}} \left[\sum_{m=1}^{k_{пер j}} (l_{1jm} + l_{3jm} + l_{5jm} + l_{6jm}) + l_{7j} \right] + (n_d - 1) l_8. \quad (2.3)$$

Протяженность движений цикла при последовательной обработке партии деталей фрезой-летучкой при точечном формообра-

зовании определяется по тем же формулам (2.2) и (2.3), что и для токарного резца. Это объясняется тем, что дополнительно входящие движения 9 и 10 совмещены во времени с движением 2 вдоль направляющей обрабатываемой поверхности, поэтому не учитываются в формулах, определяющих протяженность цикла обработки. Из специфики кинематики инструмента 2-й группы вытекает одно из условий конструирования режущего инструмента — желательное движение, определяющее скорость резания, не связывать с движениями, ограничивающими выбор этой скорости.

Инструмент 2-й группы, в отличие от 1-й, имеет движения цикла обработки, удовлетворяющие этому условию. Одновременно следует отметить, что увеличение скорости кругового движения инструмента 2-й группы (при постоянной подаче на зуб) обеспечивает пропорциональное увеличение скорости формообразующего движения 2.

Анализ возможностей повышения производительности работы данного вида инструмента показывает следующее.

А. Однорезцовый инструмент 1-й группы производительнее инструмента 2-й группы, так как в цикле движений первого инструмента отсутствуют движения 9 и 10.

Б. Формообразующие движения 2 и 5 не могут быть устранены из цикла движения инструмента. При замкнутости направляющей поверхности детали эти движения могут совмещаться. Ускорение этих движений возможно за счет выбора таких по форме образующих и направляющих поверхности детали, которые благоприятствовали бы движению с повышенными скоростями.

В. Движения 1 и 3 не могут быть устранены из цикла движения инструмента. Количество повторений этих движений в цикле обработки детали зависит от вида обрабатываемой поверхности (замкнутости или разрывности направляющей и образующей поверхности).

Г. Протяженность вспомогательных движений 4 и 6 может быть выбрана минимальной. В связи с тем, что эти движения не связаны непосредственно с формообразованием и со снятием припуска, они могут быть по своей форме и протяженности самыми разнообразными. В некоторых случаях ради увеличения их скорости выбирают соответствующую форму траектории движений, несмотря на некоторое увеличение протяженности. Устранить эти движения из цикла можно лишь за счет замкнутости направляющей и соответственно образующей поверхности детали.

Д. Движения 7 и 8 могут быть ускорены, совмещены, реже — сокращены, что чаще всего и является, с точки зрения кинематики, основным резервом повышения производительности при работе обычным резцом.

Таким образом, из анализа кинематики однорезцового инструмента точечного формообразования видно, что увеличение производительности возможно в результате технологических меро-

приятый, т. е. рационального построения операции обработки и главным образом за счет выбора оптимальной последовательности осуществления ходов и переходов в операции, обеспечивающей минимальную протяженность цикла обработки.

Указанный путь с успехом используют передовые рабочие, а в последние годы в связи с применением станков с ЧПУ оптимизация цикла обработки осуществляется с помощью ЭВМ на основе разработанной программы. Однако новых видов РИ в результате такой оптимизации получить нельзя, так как здесь не используются конструктивные решения.

Указанные возможности с целью сокращения протяженности цикла обработки реализуются с помощью соответствующих конструктивных элементов: а) вместо одной формообразующей точки вводится множество таких точек, т. е. используется формообразующая режущая кромка; б) вместо одного зуба (резца) вводится несколько зубьев (резцов), т. е. используется многозубый инструмент; в) объединяется несколько инструментов в один, т. е. применяется комбинированный инструмент.

Способы формообразования поверхности детали инструментами. Режущая кромка как линия определяется одним параметром:

$$R_{и.к} = R_{и.к}(k). \quad (2.4)$$

Производящая поверхность инструмента определяется двумя параметрами:

$$R_{и.п} = R_{и.п}(k, f). \quad (2.5)$$

Процесс формообразования — это процесс взаимодействия двух сопряженных поверхностей — детали и производящей. При этом под производящей поверхностью РИ понимают поверхность, образованную формообразующей режущей кромкой в результате осуществления ею главного движения, т. е. движения, определяющего скорость резания.

В общем случае процесс формообразования поверхности детали можно рассматривать как процесс получения огибающей поверхности N — параметрического семейства производящих поверхностей. При этом число N соответствует числу движений (подач), совершаемых производящей поверхностью при образовании семейства поверхностей.

При $N = 0$ (рис. 2.4, а) поверхность детали совпадает с производящей поверхностью. Процесс формообразования осуществляется по методу копирования инструментом 1-й группы (фасонные резцы, метчики, плашки, протяжки). Образование производящей поверхности (т. е. в данном случае поверхности детали) осуществляется в результате перемещения формообразующей режущей кромки, представляющей образующую, вдоль направляющей поверхности детали (движение 2, являющееся одновременно и главным движением).

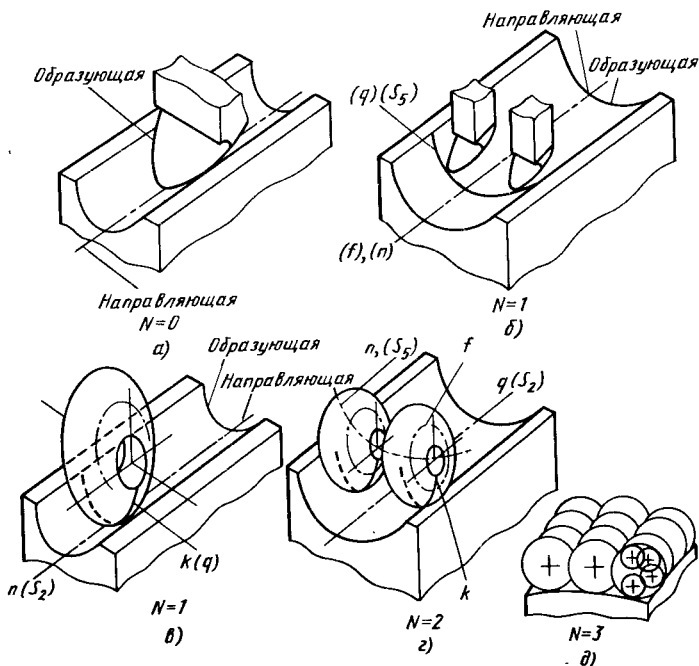


Рис. 2.4. Семейства производящих поверхностей

Разнообразие видов РИ этой группы определяется как разнообразием обрабатываемых поверхностей, так и возможностями образования одной и той же поверхности различными образующими и направляющими (из линий, удовлетворяющих уравнению поверхности детали).

При $N \geq 1$ поверхность детали не совпадает с производящей поверхностью. Процесс формообразования осуществляется по методу огибания. Здесь возникает еще большее разнообразие возможных вариантов формообразования поверхности детали. Это обусловлено возможностями изменения формы производящей поверхности, так как одна и та же огибающая поверхность может быть получена самыми разнообразными по форме производящими поверхностями, удовлетворяющими условиям их сопряжения, и возможностями изменения N , т. е. числа параметров семейства производящих поверхностей (подач).

Однако практически в качестве производящих поверхностей используют винтовую поверхность и ее частные случаи — цилиндрическую (в том числе плоскость) и поверхность тела вращения. Число параметров семейства производящих поверхностей (подач) обычно не превышает трех, т. е. $N \leq 3$.

Начиная с $N = 1$, возникает возможность перехода к инструменту непрерывного действия (работающего по методу обкатки).

1. Поверхность детали является огибающей однопараметрического семейства ($N = 1$) производящих поверхностей РИ.

Для инструмента 1-й группы (рис. 2.4, б) линия касания производящей поверхности (характеристики) совпадает с направляющей поверхности детали (n), а образующая поверхности детали получается как огибающая. Огибающая поверхность определяется тремя параметрами и записывается в виде

$$r_d = r_d(k, f, s_5), \quad (2.6)$$

где s_5 — параметр семейства производящих поверхностей. Параметры k, f, s_5 зависят от двух криволинейных координат q, n поверхности детали. Однако, учитывая, что параметр f , определяющий производящую поверхность, определяется криволинейной координатой n , т. е. $f = n$, получим два варианта.

1-й вариант — параметр k выбирают, а параметр s_5 рассчитывают по формулам (2.5), (2.6). Практически этот вариант используется редко. Здесь в качестве формы профиля фасонного копирного резца берут дугу окружности. Определение параметра s_5 соответствует расчету формы копира. Сюда же относятся инструменты 1-й группы: обычные резцы и многозубые инструменты — сверло, зенкеры, развертки.

2-й вариант — параметр s_5 выбирают, а параметр k рассчитывают. Реализация параметра s_5 может быть с помощью жесткого копира, с помощью осуществления движений по программе на станках с ЧПУ и с помощью обкаточных движений (при обработке по методу обкатки).

Первые два способа реализации движений инструмента вдоль образующей поверхности детали не приводят к возникновению новых видов РИ. Введение же обкаточных движений, при использовании непрерывных способов обработки, открывает новые возможности образования видов инструментов, работающих по методу обкатки (рассмотрены ниже; резцы фасонные, работающие по методу обкатки; гребенки и долбяки).

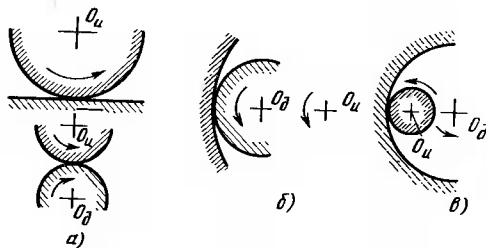
Для инструмента 2-й группы (рис. 2.4, в) линия касания производящей поверхности (характеристики) совпадает с образующей поверхности детали, а направляющая поверхности детали получается как огибающая, определяемая тремя параметрами:

$$r_d = r_d(k, f, s_2), \quad (2.7)$$

где k — параметр, определяющий режущую кромку; f — параметр, определяющий производящую поверхность; s_2 — параметр семейства производящих поверхностей.

С учетом уравнений (2.5), (2.7) можно сделать вывод, что три параметра огибающей поверхности k, f, s_2 зависят от двух криволинейных координат q, n поверхности детали. Следовательно, при

Рис. 2.5. Варианты касания производящей поверхности



проектировании РИ один из параметров можно назначать, а два других рассчитывать по (2.5), (2.7).

Однако параметр s_2 практически определяется направляющей поверхности детали, т. е. $s_2 = n$.

В этом случае один параметр можно назначать, а другой рассчитывать, т. е. возникают два варианта.

1-й вариант — параметр направляющей производящей поверхности f назначают, а параметр режущей кромки k рассчитывают. Форма направляющей производящей поверхности для инструмента 2-й группы predetermined — это окружность. Здесь роль параметра f играет радиус окружности R_n , который теоретически может принимать значения $0 \leq R_n \leq \infty$.

При значении $R_n = \infty$ производящая поверхность из поверхности тела вращения (дисковый инструмент) превращается в цилиндрическую поверхность (реечный инструмент). Таким образом, изменение параметра R_n лишь при его предельном значении $R_n = \infty$ приводит к появлению нового вида РИ — реечного.

Помимо изменения параметра R_n , процесс формообразования поверхности детали можно осуществить при различном характере касания производящей поверхности РИ с поверхностью детали: наружная обработка с наружным касанием (рис. 2.5, а); наружная обработка с внутренним касанием (рис. 2.5, б); внутренняя обработка (рис. 2.5, в).

Если способы касания, показанные на рис. 2.5, а и в, осуществляются без изменения вида, то способ, показанный на рис. 2.5, б, приводит к появлению нового вида РИ 2-й группы, который получил название «вихревого» фрезерования.

Форма производящей поверхности инструмента 2-й группы изменяется также в результате различного расположения его оси вращения по отношению к обрабатываемой поверхности.

При обработке винтовой поверхности (общие случаи) при изменении параметра M межосевого расстояния и параметра ψ , определяющего положение профиля детали в ее торцовом сечении по отношению к оси фрезы, различают три основных вида фрез: дисковая при $M \neq 0$; $0 \leq \psi < 90^\circ$ (рис. 2.6, а); пальцевая при $M = 0$; $\psi = 90^\circ$ (рис. 2.6, б); торцовая при $M \neq 0$; $\psi = 90^\circ$ (рис. 2.6, в).

Если первые два вида фрез общеизвестны, то торцовые фрезы (а на этой базе — чашечные или сегментные шлифовальные круги) для обработки винтовых поверхностей стали использоваться относительно недавно. Этот метод может быть использован при

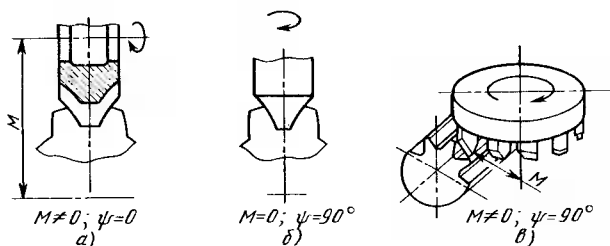


Рис. 2.6. Основные виды фрез

образовании винтовых канавок инструмента и других винтовых поверхностей.

Разновидностями рассматриваемых видов фрез являются их исполнения, обусловленные формой образующей обрабатываемой поверхности. Так, при обработке плоскости в результате различного расположения оси фрезы (ψ) по отношению к прямолинейной образующей поверхности детали возникают две разновидности дисковой фрезы: цилиндрическая при $\psi = 0$ (рис. 2.7, а); коническая при $0 < \psi \leq 90^\circ$ (рис. 2.7, б).

При $\psi = 90^\circ$ получается распространенная разновидность торцевой фрезы, предназначенная для обработки плоскостей (рис. 2.7, в).

Таким образом, в результате различных комбинаций способов касания производящей поверхности РИ с поверхностью детали, значений параметров M и ψ , вида образующей поверхности детали возникают следующие виды инструмента 2-й группы (фрез): дисковые, пальцевые, торцевые; фрезы для вихревой обработки; различные их разновидности в зависимости от вида образующей поверхности детали (фасонные фрезы для разнообразных фасонных поверхностей, в том числе резьбовые, и др.).

2-й вариант — параметр k назначают, а параметр f рассчитывают; вариант нереален.

2. Поверхность детали является огибающей двух параметрического семейства ($N = 2$) производящих поверхностей РИ (см. рис. 2.4, г).

Огибающая поверхность определяется четырьмя параметрами и записывается в виде

$$r_d = r_d(k, f, s_2, s_6), \quad (2.8)$$

где s_2 — параметр семейства производящих поверхностей вдоль направляющей поверхности детали; s_6 — параметр се-

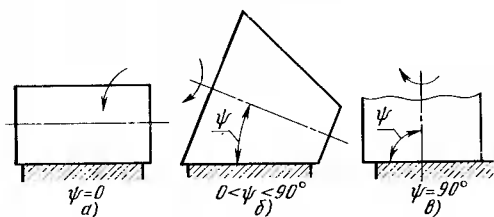


Рис. 2.7. Разновидности фрез

мейства производящих поверхностей вдоль образующей поверхности детали.

Здесь четыре параметра огибающей поверхности зависят от двух криволинейных координат q, n поверхности детали. Теоретически можно иметь шесть вариантов сочетаний выбираемых и рассчитанных параметров. Однако, учитывая, что обычно параметр $s_2 = n$, реально используются три варианта.

1-й вариант — параметр f назначают, а параметры k и s_5 рассчитывают.

Различный выбор параметра f приводит к таким же видам фрез, которые были получены при однопараметрическом семействе производящих поверхностей, т. е. процесс копирной обработки фрезами (шлифовальными кругами) возможен дисковыми, пальцевыми и торцовыми фрезами (кругами). Однако наиболее универсальными являются пальцевые фрезы.

2-й вариант — параметр k назначают, а параметры f и s_5 рассчитывают по (2.5), (2.8).

Практически этот вариант используется чаще всего. В качестве формы копирной фрезы берут полусферы; тогда $f = R_k$. Определение параметра s_5 соответствует расчету формы копира.

3-й вариант — параметр s_5 назначают, а рассчитывают форму режущей кромки k и $f = R_k$.

Выбор параметра s_5 , определяющего движение инструмента вдоль образующей поверхности детали, связан с различной реализацией этого движения. Реализация возможна с помощью жесткого копира (тогда параметр s_5 определяет форму копира); с помощью осуществления соответствующих движений (бескопирная обработка) по программе (на станках с ЧПУ); с помощью обкаточных движений (при обработке по методу обкатки), в результате чего возникла червячная фреза, инструмент для «зуботочения», шеверы.

Первые два способа реализации движения инструмента вдоль образующей поверхности детали не приводят к возникновению новых видов РИ. Введение обкаточных движений открывает новые возможности реализации 3-го варианта формообразования поверхности детали, в том числе возникают возможности использования непрерывных способов обработки не только в пределах одной поверхности детали, но и нескольких поверхностей детали и партии (потока) деталей.

3. Поверхность детали является огибающей трех (и более) параметрического семейства производящих поверхностей РИ (рис. 2.4, д).

Последовательно применяя 2-й принцип Оливье, производящую поверхность в виде тела вращения можно получить как огибающую семейства поверхностей в виде тел вращения; последние, в свою очередь, можно получить как огибающую семейства

поверхностей и т. д. При этом каждый раз будет добавляться параметр, который можно выбирать.

Такое усложнение кинематики формообразования поверхности детали в определенных пределах разумно, так как увеличение числа свободных параметров обеспечивает возможность сделать параметр, определяющий главное движение (скорость резания), независимым от параметров формообразования, что позволяет выбирать скорость резания, исходя из условий процесса резания, оптимальной, и получать требуемые параметры схемы срезания припуска.

В том случае, когда вновь вводимые движения заменяются соответствующими конструктивными решениями, возникают новые виды РИ, относящиеся к группе комбинированного инструмента.

Инструменты непрерывного действия. Процесс непрерывной обработки может осуществляться в пределах одной детали или нескольких в случае пакетной обработки. Чаще всего такие детали имеют повторяющиеся по форме и размерам обрабатываемые поверхности (зубчатые колеса, шлицевые валики и втулки, цепные колеса и т. д.). Более сложной задачей является осуществление непрерывной обработки потока (партии) деталей. Однако в обоих случаях для повышения производительности процесса обработки используется одно и то же условие — деталь обрабатывается в процессе транспортного движения, которое совпадает с одним из рабочих движений цикла формообразования или является составляющей этого движения.

Обычные виды РИ, не предназначенные для непрерывной обработки, могут осуществлять такой процесс в случае, если они удовлетворяют указанному условию. В противном случае при выбранных транспортных движениях необходимо разработать специальный инструмент непрерывного действия. В частности, наиболее распространенными видами таких инструментов являются инструменты, работающие по методу обкатки. Здесь в качестве транспортных (обкаточных) движений используют простейшие движения — прямолинейное, круговое и их сочетания. Множество инструментов, работающих по методу обкатки, включает инструменты 1-й группы (рис. 2.8): резцы фасонные, работающие по методу обкатки, гребенки, долбяки, цепное протягивание; инструменты 2-й группы (рис. 2.9): разнообразные червячные (улиточные) фрезы, шеверы, инструмент для зуботочения. Множество обкаточных инструментов 2-й группы увеличивается в результате использования различных методов получения образующей поверхности детали: метода огибания (червячные зуборезные фрезы, инструмент для зуботочения, шеверы); копирования (фрезы определенной установки для храповых и анкерных колес, фрезы-улитки); смешанного (червячные фрезы с удлиненными зубьями для обработки шлицевых валиков).

В результате использования конструктивных элементов в виде фасонной формообразующей кромки и многозубости в сочетании

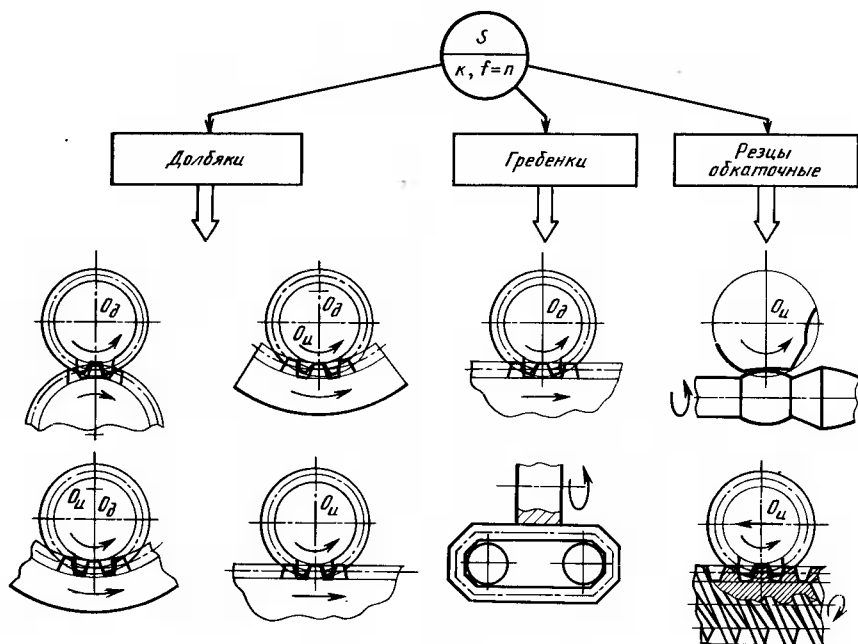


Рис. 2.8. Инструменты 1-й группы, работающие по методу обкатки

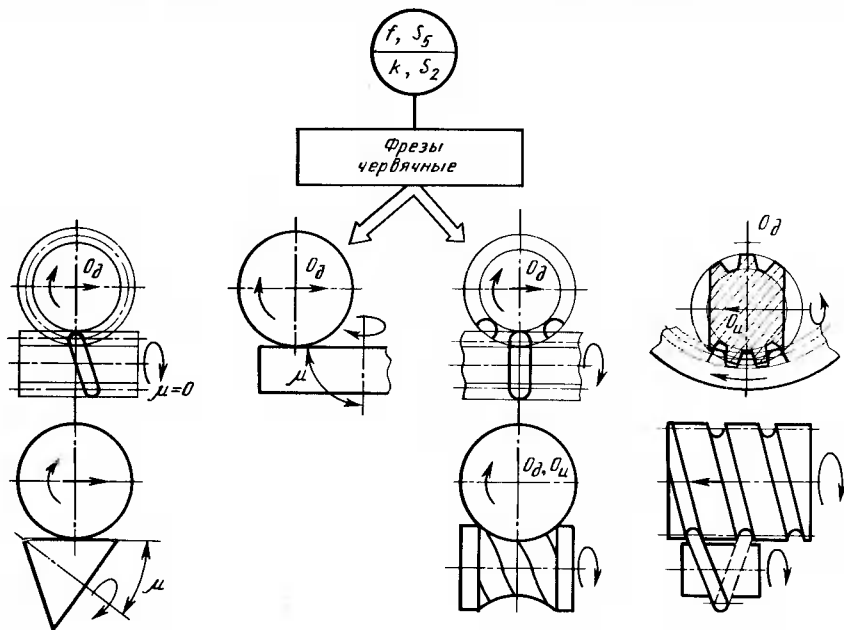


Рис. 2.9. Инструменты 2-й группы, работающие по методу обкатки

с соответствующими движениями цикла обработки деталей образовалось множество некомбинированных видов РИ, представленное на рис. 2.10.

Комбинированный режущий инструмент. Стремление увеличить производительность обработки деталей режущим инструментом за счет устранения вспомогательных движений перехода от обработки одной поверхности детали к другой (дв. 7) (см. рис. 2.3) и вспомогательного движения перехода от обработки одной детали к другой (дв. 8) (см. рис. 2.3) привело к многоинструментальности. Под этим следует понимать соответствующее объединение на данной операции обработки нескольких простых (некомбинированных) инструментов в состав одного комбинированного; инструменты размещены в пространстве сообразно их назначению для обработки определенного вида поверхностей детали.

Комбинированный инструмент объединяет в одном корпусе несколько простых инструментов, каждый из которых обеспечивает параллельную или последовательную обработку соответствующих поверхностей.

В связи с наличием единого корпуса простые инструменты, объединяемые в комбинированный, должны иметь общие движения. Таким образом, основной характеристикой комбинированного инструмента является общность цикла движений инструментов, входящих в его состав. Отсюда следует, что кинематической основой образования видов комбинированного РИ является совместимость движений цикла обработки объединяемых инструментов.

При выполнении указанного условия возникают широкие возможности образования множества видов комбинированного РИ в виде комбинации некомбинированных инструментов.

Простейшим случаем образования комбинированного РИ является объединение следующих инструментов в один общий: инструменты одного способа обработки (прерывного или непрерывного), одного вида (или резцы, или сверла, или зенкеры, или фрезы и т. д.), одного метода профилирования (копирование или огибание), осуществляющих обработку поверхностей одного вида (винтовая, цилиндрическая или тело вращения). Примерами являются комбинированные резцы, сверла, зенкеры, развертки, комплекты (наборы) фрез и т. д.

Следующей более сложной комбинацией инструментов является их объединение на тех же условиях, что и выше, но с добавлением видовых сочетаний в пределах одной и той же группы (1-й или 2-й). Примеры таких комбинированных инструментов: сверло — зенкер; сверло — развертка; сверло — зенкер — развертка; зенкер — развертка; сверло — метчик и т. д.

Дальнейшее усложнение комбинации инструментов связано с межгрупповым объединением. Примерами таких комбинированных инструментов являются фрезопротяжка; инструмент для кругового протягивания прямозубых конических колес с одно-

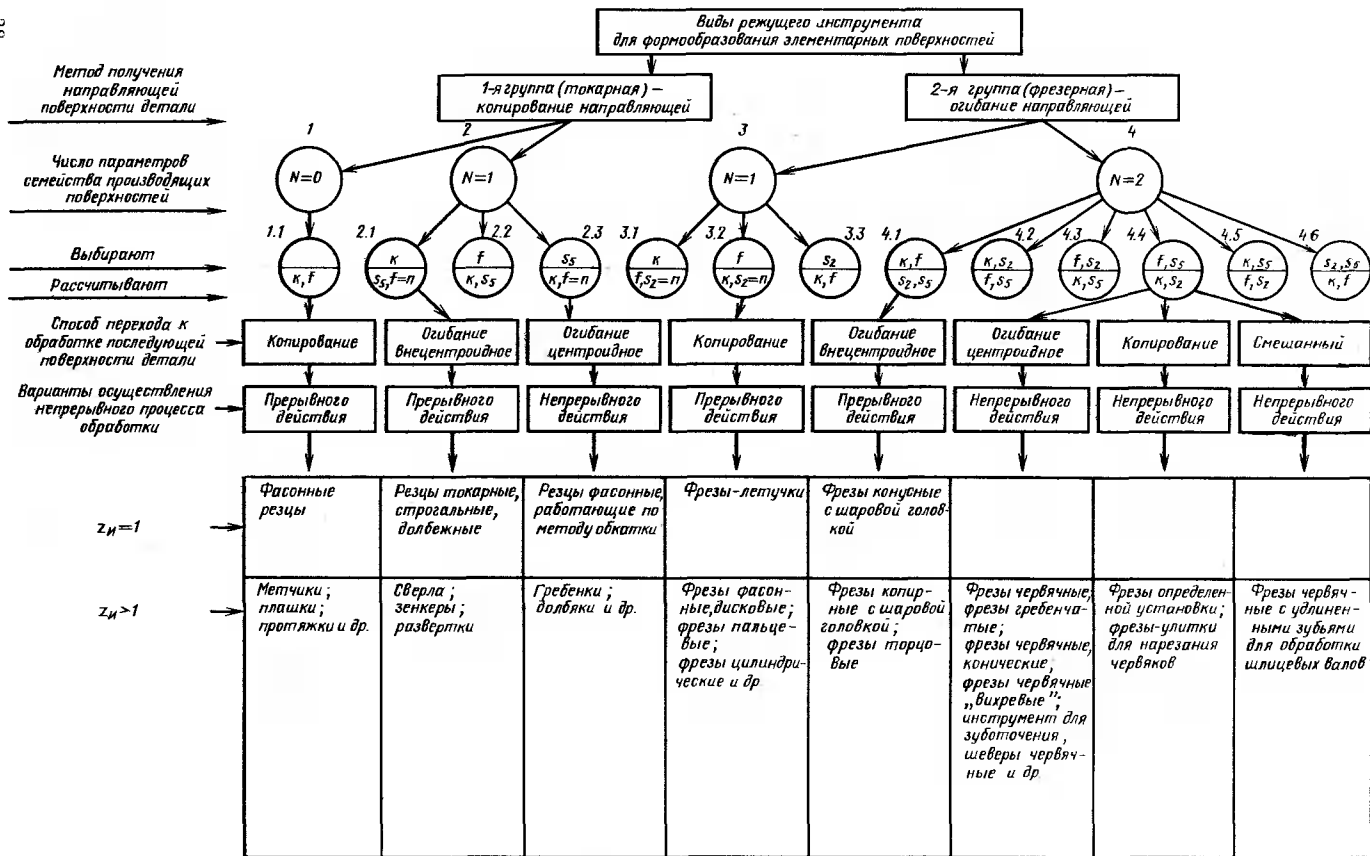


Рис. 2.10. Множество некомбинированных видов режущего инструмента

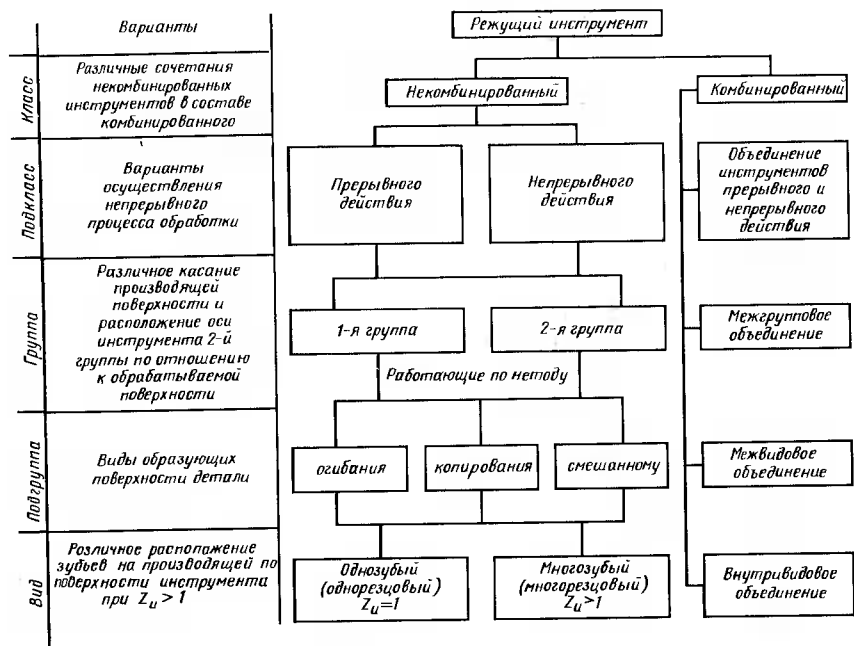


Рис. 2.11. Классификация видов режущего инструмента

временным снятием фаски фасонным резцом; инструмент для непрерывного строгания пазов кулачковых муфт.

Наиболее сложной комбинацией инструментов является образование комбинированных инструментов, различающихся способами обработки (непрерывного и прерывного действия). Пример такого комбинированного РИ — разработанная Саратовским политехническим институтом зуборезная червячная фреза, зубья которой имитирует дисковая фреза.

В перечисленных случаях комбинаций РИ в составе инструмента возникают варианты, в которых не обеспечивается общность цикла движений обработки. В этом случае создание комбинированного инструмента возможно, если удастся устранить нарушение указанной общности с помощью введения дополнительных движений (например, при образовании комбинированного инструмента в виде фрезопротяжки, предназначенной для обработки цилиндрических зубчатых колес).

Классификация видов режущего инструмента. В результате проведенного анализа процесса формообразования поверхности детали и выявления элементов, определяющих множество видов РИ, была разработана их классификация, представленная на рис. 2.11. РИ разбивается на два класса — некомбинированный и комбинированный инструмент. Каждый из них, в свою очередь,

разбивается на два подкласса — инструмент прерывного и непрерывного действия. В состав каждого подкласса входят инструменты двух групп (1-я и 2-я), различающихся способом получения направляющей поверхности детали. Каждая группа инструментов состоит из трех подгрупп, характеризующихся методом образования образующей поверхности детали (огибание, копирование и смешанный метод, включающий огибание и копирование). Последним классификационным признаком, определяющим вид РИ, является использование одно- или многозубого (резцового) инструмента.

2.2.2. Кинематика формообразования — основа профилирования РИ

Для многих видов РИ — фасонных резцов, дисковых фасонных фрез, долбяков и других — профилирование на практике является наиболее трудоемкой задачей по сравнению с другими, решаемыми в системе СПРИ. Сложность профилирования полностью зависит от кинематики формообразования. С этой точки зрения все схемы формообразования можно характеризовать тремя составляющими: производящей РИ (точка, линия, поверхность), движением формообразования при обработке детали и образуемой поверхностью (или линией профиля) детали (табл. 2.1). Примеры различных схем приведены ниже.

Инструмент	Движения формообразования
Протяжка	S
Фасонный резец	ω
Резьбовой резец	$S + \omega (S \parallel \omega)$
Резец для затылования дисковой фрезы	$S + \omega (S \perp \omega)$
Долбяк	$\omega_1 + \omega_2 (\omega_1 \parallel \omega_2)$
Резец для затылования червячной фрезы	$S_1 + S_2 + \omega$ $(S_1 \parallel \omega) (S_2 \perp \omega)$

Различное сочетание указанных трех составляющих определяет сложность и общность задачи. Если производящая РИ — точка, то решения задачи профилирования не требуется (токар-

2.1. Схема формообразования инструментом

Производящая инструмента	Движение формообразования	Образуемая (детали)
1. Точка 2. Линия 3. Поверхность	1. Поступательное S 2. Вращательное ω 3. Винтовое $S + \omega; S \parallel \omega$ 4. Сложное $S + \omega; S \perp \omega$ 5. Сложное $\omega_1 + \omega_2; \omega_1 \parallel \omega_2$ 6. Сложное $S_1 + S_2 + \omega; S_1 \parallel \omega_1; S_2 \perp \omega$	1. Линия 2. Поверхность

2.2. Классификация задач профилирования и методов их решения

Наименование задачи	Основное условие решения	Способ задания профиля	Методы решения	Используемый для решения аппарат
1. Прямая	1. Касание	1. Функциональный	1. Аналитический	1. Аналитическая геометрия
2. Обратная	2. Отсутствии среза	2. Точечный	2. Графоаналитический 3. Графический	2. Дифференциальная геометрия 3. Векторная алгебра 4. Теоретическая механика 5. Начертательная геометрия

ный, строгальный резец). Если производящая РИ — линия (фасонный резец, протяжка), то часто возникает задача профилирования; если производящая РИ — поверхность, то это более общий и сложный случай по отношению к двум первым. То же самое можно сказать о движении формообразования: наиболее сложное движение включает несколько простых; простые являются частным случаем.

Если производящая РИ — поверхность, а движение формообразования состоит из нескольких простых, то решение задачи профилирования включает в себя как частные случаи решения для всех более простых схем формообразования. Это используется ниже для получения частных решений из общих (см., например, профилирование фасонных резцов). Следует, однако, иметь в виду, что каждое усложнение схемы формообразования, например, увеличение на единицу числа формообразующих движений, может многократно усложнить задачу и алгоритм ее решения. Поэтому практически не всегда целесообразно использовать один общий алгоритм для решения нескольких более частных задач, в том числе при расчетах на ЭВМ.

Задачи профилирования и методы их решения отличаются большим разнообразием. Приведем их классификацию по ряду основных признаков (табл. 2.2).

По цели, которая ставится при решении задачи, различают прямую и обратные задачи профилирования. *Прямая задача* заключается в нахождении профиля инструмента при заданном профиле детали. *Обратная задача* состоит в нахождении профиля детали при известном профиле инструмента.

Прямая задача решается во всех случаях при проектировании инструмента с профилем, отличающимся от профиля детали.

Обратная задача решается в следующих случаях.

1. Если при данной схеме формообразования нельзя получить полностью заданный профиль детали, то какие-то участки профиля

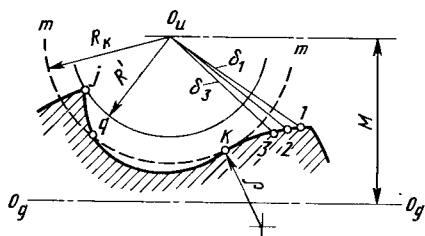


Рис. 2.12. Схема определения профиля инструмента

детали получают с другими размерами или другой формы. В этом случае обратная задача решается для того, чтобы определить фактические размеры про-

филя детали на этих участках. Примером этого случая являются участки переходных кривых при обработке колес, шлицевых валов и других зубчатых изделий червячными фрезами, долбьяками и другими обкаточными инструментами.

2. Проверяется возможность использования имеющегося инструмента для обработки заданной поверхности детали. Примером могут служить угловые или концевые фрезы с прямолинейным профилем, когда требуется проверить возможность их использования для получения заданного, в том числе фасонного, профиля поверхностей, например, канавок сверла, зенкера и других.

3. Прямая задача профилирования решается специальным методом с использованием обратной задачи (см. ниже п. 2.4).

Общепринятым основным условием, на базе которого строится большинство известных методов решения, является условие касания. Его можно сформулировать следующим образом: производящая поверхность (или линия) инструмента в движении формообразования должна касаться заданной поверхности детали. Дополнительно к основному формулируются и еще два условия, необходимые для правильного формообразования детали [11]: касание должно быть внешним; производящая поверхность (или линия) инструмента не должна пересекать другие участки поверхности детали.

При невыполнении одного из двух дополнительных условий задача профилирования на основе касания не решается, и необходимо применять другие методы или же решать обратную задачу.

Например, профиль дискового круга или фрезы для обработки винтовой канавки сверла из условия касания определяется следующим образом. В каждой секущей плоскости, перпендикулярной к оси круга, линия сечения mm поверхности круга должна касаться линии $1-j$ сечения винтовой канавки (рис. 2.12). Это условие выдерживается при радиусе окружности mm , равном R_K — касание имеет место в точке K . Касание внешнее, так как радиус R_K больше радиуса r кривизны кривой $1-j$ в точке K (на рис. 2.12 $r < 0$). Однако второе дополнительное условие здесь, очевидно, не выдерживается: окружность mm пересекает линию $1-j$ в точке q .

Основное и единственное условие правильного формообразования поверхности детали можно сформулировать иначе: размеры производящей поверхности (или линии) инструмента данной схемы

формообразования определяются как максимально допустимые при условии отсутствия среза заданной поверхности.

Для рассмотренного выше случая обработки винтовых поверхностей дисковым инструментом очевидно, что радиус окружности круга следует принять равным R' ; при данной схеме формообразования, а следовательно, при заданном расстоянии M между скрещивающимися осями $O_{\text{и}}$ круга и $O_{\text{д}}$ детали максимально допустимый радиус окружности круга в рассматриваемой секущей плоскости должен проходить через такую точку j на линии $1-j$, которая наименее удалена от оси $O_{\text{и}}$ по сравнению со всеми остальными точками: $1, 2, 3 \dots$ (см. рис. 2.12). В частности, при графическом или графоаналитическом определении профиля дискового инструмента, например, для обработки канавок сверла [23], радиус R' находится указанным способом. При аналитическом решении этой же задачи основное условие выражается в следующей форме:

$$R' = \delta_{\min}, \quad (2.9)$$

где $\delta_{\min}$ — наименьшее среди всех расстояний $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_j$ точек $1, 2, 3, \dots, j$ до оси $O_{\text{и}}$ инструмента.

Если сравнивать способы решения задач профилирования, основанные на условии касания и условии отсутствия среза, надо отметить следующее.

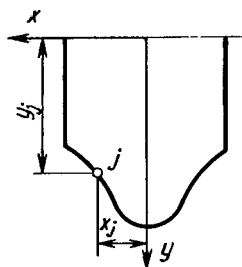
Способы решения, основанные на условии касания, разрабатывались на протяжении многих десятилетий, а если иметь в виду теоретические основы сопряженных поверхностей, заложенные в работах Оливье, Гохмана и других, — то на протяжении столетий. Поэтому эти способы достаточно хорошо отработаны в деталях, часто в математическом отношении изящны. Однако они имеют один общий недостаток: при невыполнении условия касания решение задачи может весьма усложниться.

Решения, основанные на условии отсутствия среза, имеют следующие преимущества: универсальность, так как условие касания является частным случаем отсутствия среза; в отличие от условия касания гарантируется отсутствие срезания профиля; вывод алгоритмов в ряде случаев значительно упрощается, и сами расчетные формулы имеют простейший вид; для расчета профиля удобно использовать численные методы, получившие применение в связи с использованием ЭВМ.

Заметим, что выполнение условия отсутствия среза не гарантирует получения заданного профиля детали. Получающийся при обработке профиль в общем случае находится путем решения обратной задачи.

Способы, основанные на условии отсутствия среза, целесообразно использовать для профилирования инструментов при сложной кинематике формообразования, когда условие касания не выдерживается или когда срезание профиля недопустимо. Решение обратных задач профилирования имеет смысл произ-

Рис. 2.13. Координаты точек профиля инструмента



водить при условии отсутствия среза. В то же время, если не говорить о преимуществах или простоте алгоритмов, то эти способы, как более общие, в принципе применимы для любых случаев. Ограничением могут быть случаи, когда срезание каких-либо участков профиля детали допускается или даже необходимо для возможного формообразования других участков профиля.

Способы задания искомого профиля — инструмента при решении прямой задачи или детали при решении обратной задачи — разделяются на *функциональные* и *точечные*. В первом случае искомым профилем определяется уравнением кривой типа $y = f(x)$ (рис. 2.13). Во втором случае профиль задается в виде координат x, y ряда точек, отстоящих друг от друга на расстоянии 0,25—5 мм в зависимости от высоты профиля и требуемой точности. Через отдельные найденные точки часто проводится аппроксимирующая окружность или другие кривые. Первый способ удобнее для анализа формы профиля и расчета погрешностей аппроксимации. Второй способ [11] позволяет во многих случаях значительно упростить алгоритмы.

Все методы решения задач профилирования можно разделить на аналитические, графоаналитические и графические. В связи с развитием вычислительной техники первые получили наибольшее распространение. В дальнейшем с совершенствованием графопостроителей, используемых совместно с ЭВМ, графоаналитические методы могут найти более широкое применение. Можно отметить, например, метод «совмещенных сечений», при котором профиль дискового инструмента для обработки винтовых поверхностей находится графоаналитическим способом при условии отсутствия среза. Особое место занимают механические методы профилирования, когда профиль инструмента, например шлифовального круга, автоматически получается благодаря специальной кинематике движения правящего инструмента (например, алмаза). В ряде случаев эти методы обеспечивают весьма высокую точность и не требуют расчетов. При механических методах профиль инструмента получает такую форму и размеры, при которых выдерживается условие отсутствия среза.

Техника решения задач профилирования и используемый при этом аппарат отличаются большим разнообразием (см. табл. 2.2). Здесь трудно отдать преимущества каким-либо методам: аналитической геометрии или векторной алгебре. В зависимости от конкретной задачи и те, и другие могут иметь свои достоинства. Чем сложнее кинематика формообразования, тем более сложный аппарат приходится использовать. Для решений, основанных на условии касания, часто наиболее просто окончательный алго-

ритм получают с помощью методов теоретической механики (так называемые кинематические методы). Условие касания двух поверхностей или линий в векторной форме

$$\mathbf{N} \cdot \mathbf{v} = 0, \quad (2.10)$$

т. е. скалярное произведение вектора скорости $\mathbf{v}$ производящей поверхности в точке касания ее с образуемой поверхностью детали и вектора $\mathbf{N}$ нормали к поверхности в этой же точке должно быть равно нулю. Другими словами, вектор скорости $\mathbf{v}$ в точке касания производящей поверхности и детали в движении формообразования должен быть касателен поверхности детали.

Полное решение задач профилирования требует учета технологии изготовления и способов контроля профиля инструмента. На рабочем чертеже лезвийного инструмента его профиль задается либо в передней плоскости инструмента (или в виде проекции режущей кромки на плоскость), либо в форме линии пересечения секущей плоскости с задней поверхностью. Способ задания профиля зависит от требуемой точности, технологии изготовления инструмента и контроля профиля. Проверять непосредственно профиль кромки более правильно, но это не всегда возможно. Например, режущая кромка ($P. к.$) червячной фрезы с винтовыми канавками — сложная пространственная кривая, получающаяся при пересечении передней поверхности ($П. п.$) и основного червяка ($О. ч.$), которую можно проверить лишь на дорогах и не всегда имеющихся в наличии приборах (рис. 2.14). Поэтому часто на таких фрезах профиль ($Пр.$) проверяют по задней поверхности ($З. п.$) как линию пересечения нормальной к виткам (или осевой) плоскости ($П.$) фрезы с ее задней поверхностью ($З. п.$) (см. п. 4.2.7). Этот профиль, очевидно, отличается от профиля кромки и требует специального расчета.

Таким образом, комплексное профилирование инструмента включает следующие этапы: 1) определение размеров производящей поверхности (или линии) инструмента; 2) определение непосредственно профиля инструмента в заданной секущей плоскости; 3) выявление участков профиля детали, на которых не могут быть получены заданные размеры; 4) решение обратной

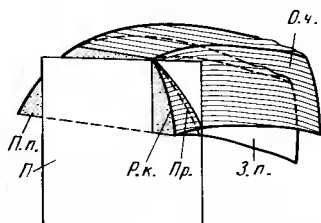


Рис. 2.14. Профиль червячной фрезы

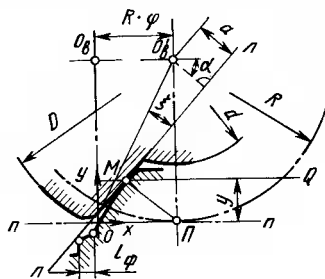


Рис. 2.15. Схема расчета профиля фрезы

задачи профилирования для этих участков; 5) аппроксимация профиля, замена его более удобным в технологическом отношении; 6) определение погрешности аппроксимации; 7) расчет профиля инструмента 2-го порядка для изготовления данного инструмента, расчет шаблонов и контршаблонов; 8) аппроксимация профиля инструмента 2-го порядка; 9) расчет погрешности аппроксимации в п. 8; 10) определение погрешностей профиля при стачивании инструмента; 11) выбор метода контроля профиля инструмента и определение органических погрешностей профиля при выбранном методе; 12) определение суммарной погрешности профиля инструмента от аппроксимаций, стачивания и контроля; 13) оптимизация профиля инструмента по принятому критерию (технологичность профиля, или точность, или количество переточек без потери точности, или стойкость).

В большинстве случаев возникает необходимость решать лишь некоторые из всех возможных перечисленных этапов профилирования. Наиболее полно вопросы реализации комплексной теории профилирования применительно к зуборезному инструменту изложены в [29].

Рассмотрим перечисленные выше методы решения задач профилирования на примере определения профиля реечного инструмента для обработки прямобочных шлицевых валиков. Приведем решение этой прямой задачи из условия касания профилей валика и рейки, при точечном задании искомого профиля рейки с использованием аналитического метода решения на основе аппарата теоретической механики (кинематический метод).

При известных размерах валика — a , D , d и радиусе R его начальной окружности — требуется определить координаты x , y точек профиля рейки (рис. 2.15). В начальный момент ось валика O_v расположена на оси Oy ; при повороте валика на угол φ она переместится на величину $O_v O'_v = R\varphi$. При этом линия ll профиля валика, очевидно, займет положение, определяемое расстоянием a от оси O'_v и углом α наклона к оси Oy , где $\alpha = \varphi + \xi$, $\sin \xi = a/R$. Так как начальная окружность перекатывается без скольжения по начальной прямой nn рейки, то при любом φ точка P касания окружности R и линии nn , очевидно, является мгновенным центром скоростей в относительном движении рейки и валика. Следовательно, единственной точкой линии профиля валика, в которой вектор скорости касателен к ll , является точка M — пересечение перпендикуляра PM к линии ll с линией ll . Только в точке M линии ll выдерживается условие (2.10) касания профилей. Поэтому точка M является искомой точкой профиля рейки при заданном φ . Координаты точки M : $x = R\varphi - PM \cos \alpha$; $y = PM \sin \alpha$.

Учитывая, что $PM = R \sin \alpha - a$, получим

$$y = (R \sin \alpha - a) \sin \alpha; \quad (2.11)$$

$$x = R(\alpha - \xi) - y \operatorname{ctg} \alpha. \quad (2.12)$$

Удобнее задаваться координатой y точки профиля рейки ($y \ll R - 0,5d$), а затем находить α и x . Из (2.11)

$$\sin \alpha = e + \sqrt{e^2 + (y/R)}, \quad (2.13)$$

где $e = 0,5a/R$.

Задаваясь рядом значений y , из (2.13) находим α , из (2.12) — x , т. е. находим ряд точек профиля рейки или профиля червячной фрезы.

Приведенный вывод формул, основанный на условии (2.10) касания профилей валика и рейки, а также сам алгоритм являются наиболее простыми. Недостаток этого алгоритма в том, что надо задавать координату y точек профиля рейки, а не радиус точки профиля валика; в этом отношении и особенно для расчета фасочного участка профиля фрезы длиной l_ϕ (см. рис. 2.15) более удобен алгоритм [11].

Приведем кратко для сравнения другие возможные методы решения этой же задачи из условия касания профилей (см. табл. 2.2).

Аналитическое решение методом дифференциальной геометрии заключается в том, что профиль фрезы (рейки) находят как линию — огибающую к множеству (семейству) линий ll , которое образуется при качении начальной окружности валика по прямой nn . При разных φ , т. е. в различные моменты движения, огибающая касается линии ll в разных точках этой линии. Уравнение линии ll при данном φ — уравнение прямой:

$$y = kx + b. \quad (2.14)$$

Если считать значение φ переменным, то в (2.14) величины k и b также переменные:

$$k = f(\varphi), \quad b = f_1(\varphi), \quad (2.15)$$

и уравнение (2.14) в этом случае отображает семейство прямых линий ll . Точку касания профилей, как известно из дифференциальной геометрии, находят, если берут частную производную по φ в уравнении (2.14):

$$dy/d\varphi = 0, \quad (2.16)$$

где k , b находят из (2.15). Из (2.16) находится соотношение между y и x , которое после подстановки в (2.14) дает координаты точки профиля фрезы при данном φ .

Полный вывод окончательного алгоритма по этому методу [23] значительно сложнее, чем вышеприведенный вывод уравнений (2.11)—(2.13). Графический метод решения этой же задачи подробно описан в [23]; он нагляден, но трудоемок и недостаточно точен.

Рассмотрим определение профиля фрезы (рейки) из условия отсутствия среза. Используем при этом точечный способ задания

профиля фрезы и метод аналитической геометрии с привлечением элементарных приемов численных способов расчета (см. табл. 2.2).

Проведем прямую Q параллельно оси Ox и отстоящую от нее на расстоянии y (см. рис. 2.15), где y — произвольно взятая координата искомой точки M профиля рейки, $y \leq R - 0,5d$ (где R — радиус начальной окружности валика); d — внутренний диаметр. Любая точка, лежащая на радиусе r и линии mn профиля валика, опишет при его качении по начальной прямой nn циклоидальную кривую. Координата x точки пересечения этой кривой с линией Q

$$x = R(\mu + \varepsilon + \xi) - \sqrt{r^2 - A^2}, \quad (2.17)$$

где $A = R - y$, $\cos \mu = A/R$, $\sin \varepsilon = a/r$.

Задавшись при $y = \text{const}$ рядом точек на линии mn , определяемых значениями радиуса r валика ($0,5d \leq r \leq 0,5D$), и рассчитав из (2.17) значения x , находим в соответствии с условием отсутствия среза максимальное значение x . Координаты x и y и дают искомую точку M профиля фрезы. При использовании ЭВМ расчет координат x производится сначала через больший интервал значений r , например, через $1-0,2$ мм, затем через меньший и т. д. — до тех пор, пока этот интервал не станет меньше требуемой точности расчета профиля, например, $0,0005$ мм. Преимущество такого метода в данном примере — это максимальная простота вывода алгоритма и самого алгоритма. Кроме того, он универсален, потому что основное расчетное уравнение (2.17) применимо для валиков не только с прямобочным, но и с любым другим профилем. Недостаток метода в данном случае — увеличение машинного времени расчета.

Как и методы расчета, основанные на условии касания, методы решения вопросов профилирования исходя из условия отсутствия среза могут быть разнообразны по приемам и технике. Например, учитывая, что из уравнения (2.17) находится максимальное x , можно в (2.17) взять производную dx/dr и, приравняв ее нулю, получить новые уравнения; для прямобочного профиля шлицев они идентичны вышеприведенным (2.11)–(2.13).

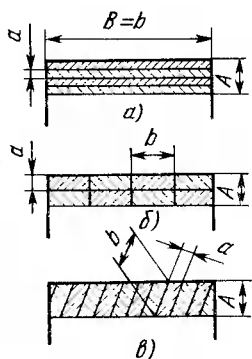
Таким образом, любая задача профилирования может быть решена многими методами и способами (табл. 2.2), каждый из которых в зависимости от конкретных условий — вида инструмента, сложности, требуемой точности, имеющихся технических средств для расчета, типа производства и повторяемости расчетов — может иметь свои преимущества. Некоторые из них, отличающиеся простотой или универсальностью, рассмотрены ниже применительно к основным видам инструментов.

2.3. КИНЕМАТИКА СРЕЗАНИЯ ПРИПУСКА — ОСНОВА ОБРАЗОВАНИЯ ТИПОВ РИ

Параметры и классификация схем срезания припуска. Инструмент выполняет две основные функции — формообразование заданной поверхности детали и снятие припуска. Из условий проч-

Рис. 2.16. Схемы срезания припуска

ности РИ, его стойкости, шероховатости обработанной поверхности припуск приходится снимать слоями. В общем случае припуск характеризуется формой и следующими размерами: толщиной A , шириной B , длиной L , площадью сечения F , объемом Q . Параметрами, характеризующими схему срезания припуска, являются: толщина a , ширина b , длина l , площадь f , объем q срезаемого отдельными лезвиями слоя, форма слоев и последовательность их снятия. В соответствии с ГОСТ 25762—83 сечение срезаемого слоя (сечение среза) определяется как фигура, образованная при рассечении основной плоскостью слоя материала заготовки, отделяемого лезвием РИ за один цикл главного движения.



Все схемы срезания припуска можно разделить на две основные: профильную и генераторную. При профильной схеме $b \simeq B$, т. е. ширина среза равна или имеет размер того же порядка, что и ширина B припуска (рис. 2.16, а). При этой схеме толщина a среза невелика, и в большинстве случаев $a = 0,015 \div 0,3$ мм. Генераторная схема характеризуется тем, что ширина припуска B разделяется на несколько слоев и ширина b среза в несколько раз меньше B : $b = B/n$ (рис. 2.16, б и в). При других равных условиях толщина a среза при генераторной схеме значительно больше, а ширина b — меньше, чем при профильной схеме. Например, при протягивании для профильной схемы в зависимости от материала детали $a = 0,015 \div 0,2$ мм, а при генераторной схеме $a = 0,05 \div 0,5$ мм и более. Преимущества генераторной схемы: меньшая удельная сила резания, а также повышение стойкости инструмента благодаря меньшему влиянию радиуса округления режущей кромки. Профильная схема обеспечивает в общем случае большую точность формы и размеров профиля обрабатываемой поверхности и исключает риски на ней, которые при генераторной схеме являются следствием деления припуска по ширине. Для использования преимуществ обеих схем применяется также комбинированная схема, когда черновые зубья РИ работают по генераторной, а чистовые или калибрующие — по профильной схеме.

Требования к схемам срезания припуска. При проектировании РИ расчет и изменения указанных выше параметров схемы срезания припуска необходимы для приближения конструкции РИ к оптимальной. Оптимальная схема должна удовлетворять следующим требованиям: 1) максимальной производительности (съем металла в единицу времени); 2) заданной точности и шероховатости обработанной поверхности; 3) максимальной стойкости инструмента; 4) размещению и отводу стружки; 5) технологичности конструкции РИ.



Рис. 2.17. Факторы, влияющие на схему срезания припуска

Множество возможных схем образуется при различном сочетании всех параметров: a , b , f и др. Изменение параметров и получение той или иной схемы достигается различными способами.

Способы, обеспечивающие требуемую схему срезания припуска. Факторы, влияющие на схему срезания припуска, представлены на рис. 2.17.

Первой группой факторов являются параметры установки инструмента по отношению к детали. Их можно менять в определенных пределах (с последующим пересчетом производящей поверхности) и влиять на форму срезаемых слоев. Примерами могут служить симметричное и асимметричное торцовое фрезерование, позволяющее повысить стойкость фрез в 3—5 раз; изменение установочных параметров ψ и e (см. п. 2.2.1) при фрезеровании или вышлифовке винтовых канавок, резьб, червяков; изменение угла скрещивания осей червячной фрезы и нарезаемого колеса, что, как показали расчеты и испытания, влияет также на кинематические геометрические параметры фрезы и ее стойкость.

Второй группой факторов являются величины подачи (технологические параметры): на глубину резания (S_1); подачи вдоль направляющей поверхности детали (S_z мм/зуб; $S_o = S_z \cdot z$ мм/об при фрезеровании); подачи вдоль образующей поверх-



Рис. 2.18. Классификация конструктивных элементов, влияющих на схему срезания припуска

ности детали ($S_b = S_0$ мм/об — при точении; мм/дв. ход — при строгании). Указанные факторы влияют на схему срезания припуска без изменения типа инструмента.

Третьей группой факторов являются определенные конструктивные элементы, введение которых связано с образованием соответствующих типов режущего инструмента.

Управление схемами срезания припуска с использованием конструктивных элементов. Режущие кромки инструмента координируются относительно его производящей поверхности. Координаты, характеризующие положение режущих кромок, являются теми параметрами, с помощью которых конструктор может управлять схемой срезания припуска. С этой точки зрения необходимо режущие кромки разбить на две группы: *профилирующие*, координаты которых удовлетворяют производящей поверхности, т. е. расположены на производящей поверхности; *непрофилирующие*, координаты которых не удовлетворяют уравнению производящей поверхности и расположены вне ее.

Применяя указанные кромки, конструктор может использовать: черновые зубья, имеющие только непрофилирующие кромки; чистовые зубья, имеющие только профилирующие кромки, и чистовые зубья, имеющие как профилирующие, так и непрофилирующие кромки. Классификация конструктивных элементов, влияющих на схему срезания припуска, представлена на рис. 2.18.

Используя в качестве конструктивных элементов три вида зубьев, можно осуществлять различные схемы срезания припуска с учетом того, что их множество образуется различными исполнениями режущих кромок по форме, размерам и расположению относительно производящей поверхности. На этой основе для каждого вида образуется множество типов режущего инструмента.

При наличии чистовых зубьев, имеющих только чистовые режущие кромки, возможности конструктора изменять схему срезания припуска относительно ограничены. Можно изменять форму и размеры срезаемых слоев за счет изменения формы и размеров профилирующей режущей кромки в результате различного ее расположения на производящей поверхности (ω , λ), а также разбиением сплошной профилирующей режущей кромки на части, расположенные на различных зубьях (с перекрытием).

Конструктор может изменять последовательность образования срезов путем изменения числа зубьев (z_n) и их относительного расположения (линейных или угловых шагов).

Управление схемой срезания припуска благодаря различному расположению профилирующей режущей кромки на производящей поверхности. Этот прием широко используется конструкторами. Для многозубого инструмента расположение режущей кромки определяется расположением стружечной канавки и обычно характеризуется углом наклона режущей кромки (ω). При этом зубья могут быть прямыми ($\omega = 0$), наклонными или винтовыми ($\omega \neq 0$), как с одинаковым, так и с различными наклонами по знаку (зубья альтернативные или раскошенные). Для фасонных резцов положение режущей кромки характеризуется углом λ .

Управление схемой срезания припуска путем разбиения сплошной профилирующей режущей кромки на части. Такой прием управления схемой срезания выполняется с целью: а) улучшения схода стружки по передней поверхности, более свободного размещения ее в стружечной канавке и более свободного ее отвода; б) улучшения условий резания на участках образующей, которые имеют резкие угловые переходы, малые радиусы скругления и др.; в) более удобного конструктивного оформления режущей части (применения стандартных пластинок твердого сплава, способов их крепления, регулирования и др.); г) создания технологических удобств изготовления режущей части и ее переточки. Разбиение режущих кромок на части осуществляется как в случае, когда они являются формообразующими (черновыми), но только на многозубом инструменте.

Самый простой способ — нанесение на режущие кромки в шахматном порядке стружкоделительных канавок. Он используется на сверлах, зенкерах, протяжках, дисковых и цилиндрических

фрезах. Имеется ряд предложений использовать этот способ и для других инструментов, например, червячных фрез для эвольвентных колес крупного модуля, червячных фрез для шлицевых валов при толщине вершины зуба фрезы свыше 6—8 мм. На инструментах со сложным профилем (дисковые фасонные фрезы, червячные фрезы) разделение срезаемого слоя, помимо других известных преимуществ, уменьшает коэффициент укорочения стружки в несколько раз, что значительно снижает силы резания и повышает стойкость.

В последнее время стали применять специальные многогранные твердосплавные пластинки с волнистыми режущими кромками, обеспечивающими разделение стружки по ширине. С использованием таких пластинок разработаны конструкции черновых торцовых фрез. Режущие кромки расположены относительно друг друга таким образом, что вершины волн не совпадают. При обработке стружка разделяется по ширине на несколько узких полос. Усилия резания при обработке значительно меньше, чем при работе с прямолинейными режущими кромками. Применение пластинок позволяет работать с большей глубиной резания при малой мощности станка. Толщина срезаемых слоев может быть увеличена по сравнению с обычной схемой срезания припуска прямолинейными режущими кромками.

Управление схемой срезания припуска при использовании зубьев (резцов), имеющих профилирующие и непрофилирующие режущие кромки. Группа инструментов, имеющих такие зубья, наиболее обширна. К ней относятся все виды обычных резцов, сверла, зенкеры, развертки, метчики, плашки, торцовые фрезы, червячные зуборезные фрезы с заборным конусом и другие. Помимо перечисленных выше способов изменения схемы срезания припуска за счет профилирующих кромок, здесь возникают большие возможности управления схемой срезания путем изменения формы, размеров и расположения непрофилирующих режущих кромок.

Например, у проходных резцов главная режущая кромка (непрофилирующая) выполняется прямолинейной и криволинейной. В соответствии с принятой формой главной режущей кромки изменяется и форма поперечного сечения срезаемого слоя. Положение прямолинейной главной режущей кромки относительно направления подачи определяется углом φ . При изменении этого угла изменяются толщина a и ширина b срезаемого слоя: $a = S \sin \varphi$; $b = t / \sin \varphi$. На форму и размеры срезаемого слоя влияет и радиус r скругления вершины резца. С увеличением r прочность режущей части у вершины резца и его стойкость увеличиваются, уменьшается шероховатость обработанной поверхности. Однако увеличение r приводит к более стесненным условиям резания, увеличению силы резания и появлению вибраций. Часто вместо скругления вершины ее снабжают дополнительной

режущей кромкой шириной f_0 и углом наклона φ_0 . Соответственно изменяется и форма срезаемого слоя. Стремление к увеличению подачи при токарной обработке с заданной шероховатостью обработанной поверхности привело к созданию конструкции резца с $\varphi' = 0$. Длина вспомогательной режущей кромки при этом равна $(1 - 1,2) S$. В соответствии с этим при $t > S$ срезаемый слой называют прямым, а при $t < S$ — обратным. В последнем случае основная нагрузка по срезанию слоя приходится на вспомогательную режущую кромку.

Работа режущих кромок сверл, зенкеров и разверток в принципе не отличается от работы режущих кромок проходного резца. Поэтому и управление схемой срезания у этих инструментов аналогичное. Значение углов φ , φ_0 , φ' для сверл выбирают исходя из тех же соображений, что и у резцов, но с учетом специфики работы этих инструментов.

Прием управления схемами срезания путем изменения формы и размеров непрофилирующих кромок зубьев используется при конструировании метчиков, плашек, гребенок, червячных фрез. Здесь конструктивная подача вдоль образующей производящей поверхности осуществляется соответствующим расположением режущих кромок заборной части. На практике применяется заборная часть различной формы, рассчитанной в зависимости от величины S_z конструктивной подачи, приходящейся на каждую режущую кромку.

Управление схемой срезания припуска при использовании черновых и чистовых зубьев. Возможности конструктора еще более расширяются, если он использует специализацию не только кромок, но и зубьев. В этом случае помимо тех возможностей по управлению схемой срезания, которые были изложены выше, возникают дополнительные в виде изменения формы, размеров и расположения режущих кромок черновых зубьев.

Существуют три основных способа расположения черновых зубьев по отношению к производящей поверхности: вдоль образующей; вдоль направляющей; по нормали (что определяет толщину срезаемого слоя).

На основе этих вариантов можно получить дополнительно четыре различных сочетания, а всего семь способов расположения черновых зубьев и их кромок.

Например, в целях деления срезаемого слоя большой ширины на отдельные части с малой шириной главная режущая кромка у ружейного сверла делается ступенчатой (рис. 2.19, а).

На рис. 2.19, б приведена конструкция зенкера со ступенчатой режущей кромкой. Здесь сечения срезаемых слоев обычно квадратные или «обратные». Стружка получается более удобной для размещения в стружечных канавках. Режущие кромки, несущие профилирующие точки (чистовые), вне зависимости от размеров припуска образуют слой, толщина которого предопределена

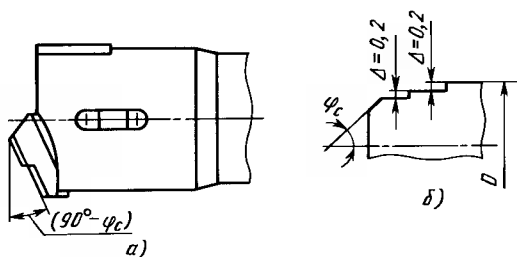


Рис. 2.19. Инструменты со ступенчатой главной режущей кромкой:
а — ружейное сверло; б — зенкер

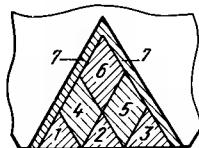


Рис. 2.20. Ромбическая схема срезания припуска при обработке резьбы

небольшим подъемом последней ступени (обычно 0,2 мм), что обеспечивает малую шероховатость обработанной поверхности.

Аналогичное решение применительно к торцовым фрезам привело к возникновению так называемых ступенчатых фрез (или фрез со ступенчатой установкой ножей, резцов). Предложена также многозаходная червячная фреза, отличающаяся тем, что зубья одного захода имеют заданный профиль, а у всех остальных заходов — ступенчатый (волнистый) профиль. В случае использования трехзаходной фрезы заходы 1 и 2 имеют ступенчатый, а заход 3 — окончательный профиль. Каждая режущая кромка должна срезать слой достаточной толщины и исключать снятие боковыми режущими кромками широких срезаемых слоев сложной формы, которые форсируют износ червячных фрез. Число заходов таких фрез не должно быть кратным числу зубьев нарезаемого колеса.

На рис. 2.20 представлена так называемая ромбическая схема при нарезании резьбы. Цифрами показана последовательность снятия отдельных слоев; слой 7 снимается при повышенных требованиях к точности и шероховатости. При нарезании резьб на токарных станках с ЧПУ ромбическая схема может быть получена путем смещения резца по заданной программе при различных проходах. При этом обеспечиваются хорошее стружкодробление, стабильность процесса резания и высокая, 5–6-й степени, точность резьб.

Наиболее полно используются возможности получения требуемой схемы срезания припуска на основе специализации режущих кромок и зубьев при проектировании протяжек. Но здесь используют практически не только преимущества указанной специализации кромок и зубьев, а также и другие возможности управления, рассмотренные выше. Таким образом, возникли комплексные решения управления схемой срезания припуска, некоторые из которых рассмотрены ниже.

Управление схемой срезания припуска с использованием нескольких изменяемых

2.3. Оптимальные значения параметров ступенчатой торцевой фрезы

Параметр	Номер зубьев							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\epsilon_j, ^\circ$	46,25	41,95	45,44	42,63	45,71	46,72	44,99	46,31
$t_j, \text{мм}$	0,188	0,209	0,206	0,190	0,223	0,165	0,225	0,190
$R_j, \text{мм}$	40,69	40,11	39,60	39,14	38,65	38,20	37,10	36,25

ф а к т о р о в. В качестве примера такого комплексного решения рассмотрим оптимизацию конструкции ступенчатых торцевых фрез. В работе [10] приводится случай принятия оптимального решения на примере проектирования ступенчатой торцевой фрезы, зубья которой ($z_k = 8$) расположены по спирали и оснащены пластинами из композита 01. В качестве критерия оптимальности схемы срезания припуска здесь взяты стойкость фрезы и стабилизация силы резания. Последняя представлена в виде суммарной мощности гармоник периодической возмущающей силы (составляющей силы резания P_y). При этом в качестве переменных (управляющих) параметров были взяты радиус последней ступени R_8 (мм); радиус первой ступени R_1 (мм); угловой шаг зубьев ϵ_j (градусы); глубина резания ступени t_j (мм); геометрические параметры режущей части $\alpha, \gamma, \varphi_j$ и смещение оси относительно обрабатываемой заготовки.

Учитывая, что фреза, оснащенная композитом, предназначена для чистовой обработки, в качестве важнейшего критерия качества инструмента принято условие безвибрационной работы, т. е. минимальные значения суммарной мощности гармоник периодической возмущающей силы.

Разработанные алгоритмы оптимизации проектирования ступенчатых и обычных торцевых фрез, оснащенных композитом, реализованы на ЭВМ. Авторы для конкретного примера торцевой фрезы получили следующие значения оптимизирующих параметров (табл. 2.3).

В результате оптимизации параметров схемы срезания припуска удалось уменьшить амплитуду наибольших гармоник возмущающей силы (P_y) в 14 раз, а суммарную их мощность — в 19 раз, что было подтверждено и экспериментально.

На основании проведенных исследований авторы утверждают, что путем варьирования конструктивных, геометрических и технологических параметров ступенчатых фрез можно практически полностью стабилизировать силу резания; наибольшее влияние на процесс выравнивания оказывает радиус ступени. При изменении только угловых шагов зубьев фрезы и глубины резания можно уменьшить мощность гармоник и их амплитуды, но не более чем в 1,5—2 раза. Существенное влияние на стабилизацию силы

резания оказывает смещение оси фрезы относительно торцов обрабатываемой заготовки.

Вторым примером управления схемой срезания припуска с использованием нескольких изменяемых факторов является цикл работ кафедры «Технология машиностроения» Тульского политехнического института в направлении повышения производительности и точности резьбонарезания.

В результате проведенных исследований доказано, что для нарезания резьбы за один проход наиболее предпочтительной является так называемая генераторно-профильная схема срезания припуска, при которой обеспечиваются минимальное количество резцов головки и суммарная окружная составляющая сил резания.

Процесс оптимизации выбора схемы срезания припуска здесь включает определение следующих параметров: количества резцов k , необходимого для получения требуемой резьбы за один проход по принятой схеме срезания припуска; предельно допустимого количества резцов $z_{\max}$ по конструктивным условиям проектирования головки; суммарной окружной силы резания при рассматриваемой схеме срезания припуска $P_{\tau x}$ и сравнения с допустимым значением по прочности и жесткости элементов технологической системы $[P_{\tau x}]$.

Для возможности осуществления однопроходной обработки необходимо выдерживать условия: $k \leq z_{\max}$; $P_{\tau x} \leq [P_{\tau x}]_{\text{т. с.}}$. В противном случае целесообразно перейти к многопроходной обработке. При этом головка включает резцы, объединенные в несколько секций (аналогично конструкции протяжек, работающих по схеме группового резания).

В результате принятой методики проектирования РИ обеспечивается нарезание резьбы за минимальное число проходов при обеспечении гарантированного запаса прочности калибрующего резца, работающего в наихудших условиях, при одинаковой средней стойкости всех резцов и минимальных габаритах головки.

Представляют интерес комплексные решения оптимизации схемы срезания припуска, включающие как выбор кинематики формообразования (выбор вида РИ), так и получение соответствующего типа РИ. Цель — наиболее полное использование свойств современных инструментальных материалов, в том числе твердых сплавов, при зубообработке. Для этого используется, в первую очередь, принцип выравнивания силовой нагрузки на лезвия РИ. Выравнивание производится путем неравномерной подачи, что осуществимо при новых схемах формообразования, например, при использовании одновитковой резцовой головки, работающей по принципу «кинематического зубопротягивания». Зубья головки расположены по винтовой линии вдоль оси головки аналогично червячным фрезам; нагрузка на зубья регулируется их толщиной и расположением по высоте. За один оборот головки колесо поворачивается на k/z оборота, где k — целое число, z — число зубьев колеса. Радиальная подача заготовки осущест-

вляется в момент времени, когда зубья головки находятся вне зоны резания — по аналогии с круговым протягиванием конических колес. Выравнивание нагрузки на зубья позволяет в несколько раз повысить производительность зубонарезания.

Большие возможности для реализации разнообразных схем срезания припуска имеются при проектировании протяжек. Рассмотрим, в частности, выбор схем срезания припуска при проектировании круглых и шлицевых протяжек по методике, разработанной Челябинским политехническим институтом. Особенностью этой методики является попытка решить важнейшую задачу: выравнивание стойкости черновых, чистовых и калибрующих зубьев протяжки.

Стойкость, определяемая допустимым износом зубьев, зависит от многих факторов, в том числе (и особенно) от их загрузки, т. е. от принятой схемы срезания припуска. Для выравнивания стойкости черновой и чистовой части протяжки выдерживают соответствующие соотношения подач черновых и чистовых зубьев. Наиболее выгодным является назначение такой подачи черновых зубьев, при которой черновая часть имеет такую же или несколько большую наработку, чем чистовая часть. Такой метод определения подач назван методом равной наработки, при этом повышается производительность. При наличии у черновой части некоторого резерва по стойкости, скорость резания для нее может быть увеличена до значения, при котором наработка ее и чистовой части сравняется. Однако реализовать это можно лишь на протяжных станках, имеющих устройство для автоматического изменения скорости резания.

Последовательность назначения режимов резания следующая:

- 1) устанавливают группу обрабатываемости материала заготовки;
- 2) устанавливают группу качества протянутой поверхности;
- 3) выбирают конструкцию, тип и материал протяжки (рекомендуется выбирать протяжки переменного резания, а также с трапецидальной схемой срезания припуска);
- 4) определяют число чистовых зубьев на круглой и шлицевой частях протяжки и припуск на чистовые зубья;
- 5) определяют число калибрующих зубьев;
- 6) назначают СОЖ;
- 7) назначают скорости резания для шлицевой части;
- 8) определяют подачи черновых зубьев круглой и шлицевой частей протяжки исходя из условия равенства наработок между отказами и т. д.

Другой пример, относящийся к оптимизации выбора схемы срезания припуска при протягивании, рассмотрен в п. 3.3.4.

2.4. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ РИ

Рассмотрим третий этап проектирования, включающий выбор схемы конструкции инструмента, ее параметров и характеристик (расчетная часть СПРИ; см. рис. 1.1).

Реализация этого этапа проектирования основана, в первую очередь, на использовании предшествующего научного и прак-

тического опыта. Многие расчеты и обоснования выбора решений опускаются и заменяются готовыми известными и проверенными рекомендациями. Здесь очень важно правильно осуществить поиск лучшего решения. В связи с этим задача типа «поиск» при любой ее реализации — неавтоматизированной или автоматизированной — является одной из центральных.

В случае отсутствия готовых рекомендаций необходимо находить новое (специальное) решение. Новизна главным образом заключается в нахождении новой комбинации известных элементов (часто стандартизованных и унифицированных), которая дает соответствующий полезный эффект. При этом следует учесть, что дать новое эффективное решение на базе стандартных и унифицированных элементов задача более сложная, чем разработка конструкций на базе оригинальных элементов. Освоение промышленностью выпуска новой техники, сроки освоения и затраты определяются главным образом удельным весом «ломки» сложившейся технологии и организации производства. Это также требует при создании новых решений учета предшествующего опыта.

2.4.1. Выбор схемы конструкции РИ

Разработка конструкции РИ начинается с выбора ее схемы на основе определенных исходных данных, в том числе предполагается, что в исходные данные вошли решения, принятые на предшествующих двух этапах, а именно:

выбран определенный вариант кинематико-конструктивного решения процесса формообразования заданных поверхностей детали, т. е. определен вид РИ и его производящая поверхность;

выбраны определенная схема резания припуска и вариант ее осуществления (принципиальное решение) — предопределен характер расположения режущих кромок на производящей поверхности инструмента, т. е. определен тип РИ.

Выбор схемы конструкции является творческой деятельностью и он основан на использовании поэлементного принципа проектирования. Поэтому в первую очередь необходимо рассмотреть классификацию основных частей и элементов конструкции РИ.

Наиболее развитая (сложная) конструкция РИ состоит из шести частей: рабочая часть, включающая режущие и калибрующие элементы; крепежно-присоединительная; корпусная (державочная); механизм крепления режущей части к корпусной (державочной); механизм регулирования размеров рабочей части инструмента и центрирующие-направляющие части.

При выборе схемы конструкции определяется набор основных частей инструмента с указанием их пространственной взаимосвязи. Ввиду относительной простоты конструкций инструмента, за исключением некоторых сложных видов (например, трубомуфто-нарезных и расточных патронов, резьбонарезных и резьбонакат-

ных головок), компоновка основных частей осуществляется по двум основным схемам:

концевой (осевой) инструмент, у которого основные части — рабочая, крепежно-присоединительная и корпусная (державочная) — располагаются вдоль оси инструмента;

насадной инструмент, у которого указанные основные части компоуются в направлении, перпендикулярном к оси инструмента.

Схема развитой сборной конструкции РИ более сложная и включает не только набор основных частей, но и их элементов с соответствующей пространственной взаимосвязью. Схемы конструкций отдельных частей инструмента рассматриваются ниже при изложении материалов, относящихся к расчетной части СПРИ:

2.4.2. Расчетная часть третьего этапа системы проектирования РИ

Расчетная часть является основным содержанием процесса проектирования. Структура этой части СПРИ, включающая 16 блоков (см. рис. 1.1), обоснована в разд. 2.1. Ниже рассматривается каждый блок, кратко излагаются методика определения соответствующих параметров и характеристик и необходимая информационная обеспеченность ее реализации.

2.4.2.1. Исходные данные (блок 1)

Расчетная часть начинается с исходных данных. В общем случае исходные данные могут включать:

деталь: материал (марка, НВ, σ_B и др.), размеры;

операцию: наименование операции, припуск на обработку, технические требования к операции, точность и шероховатость поверхности обработки, режимы обработки (t , S , v), коэффициенты для определения P_z , T и др., партия деталей или тип производства;

станок и оснастку: модель станка, ряды частот вращения шпинделя и подач, мощность, тяговое усилие и др., наличие оправок кулачков, копиров, сменных зубчатых колес и т. д.;

инструмент: вид, тип (схема срезания припуска), типовая конструкция, назначение инструмента, параметры установки инструмента, требования к инструменту (в том числе точность исполнения), данные, относящиеся к технологии изготовления инструмента;

прочие данные.

С точки зрения системного проектирования исходные данные должны включать все условия, необходимые для установления существенных внешних и внутренних связей инструмента как системы, которые могут быть заданы (или определены) после 1-го и 2-го этапов проектирования. Те условия, которые не могут быть определены после 1-го и 2-го этапов, рассчитываются в дополнительных исходных данных (блок 2, см. рис. 1.1) третьего этапа СПРИ или же в последующих блоках.

2.4.2.2. Расчет дополнительных исходных данных (блок 2)

Содержание данного блока расчетной схемы является специфическим для каждой конкретной задачи и вводится в связи с тем, что исходные данные должны включать минимально необходимую и достаточную информацию для процесса проектирования. Дополнительные исходные данные определяются в каждом конкретном случае по своим расчетным зависимостям. К ним относятся: определение расчетных размеров профиля детали с учетом допусков на них и разбивки: пересчет размеров профиля детали из одной плоскости в другую, необходимый для профилирования инструмента; расчет исходной инструментальной рейки для инструмента, работающего по методу обкатки; определение положения базовой линии на детали при ее обработке фасонным резцом; определение дополнительных размеров детали (например, зубчатого колеса), недостающих для расчета инструмента, и т. д.

Часть указанных расчетов, которые используются при конструировании большой группы инструментов, могут быть оформлены в самостоятельные модули и входить в общий фонд модулей, используемый при машинном проектировании.

2.4.2.3. Выбор инструментальных материалов (блок 3)

Инструментальный материал (ИМ) оказывает большое влияние на производительность обработки, качество обработанной поверхности и на конструкцию самого инструмента, т. е. является важнейшей характеристикой режущего инструмента (табл. 2.4). Поэтому в системе СПРИ выбор ИМ осуществляется непосредственно после исходных данных (см. рис. 1.1).

Трудности выбора ИМ помимо сложности процесса резания и явлений, его сопровождающих, объясняются еще двумя причинами. Во-первых, в отличие от многих других характеристик или параметров инструмента выбор марок затруднен, так как не имеется одного какого-либо надежного и общего комплексного численного критерия, по которому можно было бы осуществлять выбор. Во-вторых, число возможных сочетаний различных факторов, условий работы инструмента, существенно влияющих на выбор ИМ, огромно. Очевидно, что дать рекомендации для каждого конкретного условия не представляется возможным.

Имеющиеся опытные данные, а также рекомендации по выбору ИМ в различных стандартах и нормативах позволяют с большим или меньшим основанием выбрать марку ИМ. При этом, однако, учитывается обычно от двух до пяти факторов, что для правильного выбора ИМ часто совершенно недостаточно.

Изложенная ниже методика выбора марок ИМ учитывает большее число факторов, что позволяет сделать выбор более обоснованным. Использование таблиц соответствий [7, 11] также позволяет осуществлять выбор ИМ при автоматизированном проектировании.

2.4. Марки и коды инструментальных материалов

Код ИМ	Марка ИМ	Код ИМ	Марка ИМ	Код ИМ	Марка ИМ
Углеродистые стали		29	P12Ф2К8М3	60	ТН-20
1	У7А	30	P18Ф2К8М	61	ТН-25
2	У8А	31	11М5Ф	62	ТН-30
3	У9А	32	P9Х2Ф2МГЛ	63	КНТ-16
4	У10А	33	РЛ-2 (Р6М5Ф2)	64	ТМ
5	У11А	34	РЛ-3 (Р6М5Ф3)		Керамика
6	У12А	35	B11М7К23		
7	У13А	36	B11М7К23Х	65	В-3
		37	B3М12К23	66	ВО-13
Легированные стали		Твердые сплавы		67	ВО-14
8	Х ВСГ	38	ВК3	68	ВОК-50
9	Х ВГ	39	ВК3М	69	ВОК-63
10	9ХС	40	ВК4	70	ВШ-75
11	11ХФ	41	ВК6	71	ЦМ-332
12	Х6ВФ	42	ВК6-М	72	Композиты
Быстрорежущие стали		43	ВК6-ОМ	73	Композит-01 (эльбор-Р)
13	P18	44	ВК8	74	Композит-02 (белбор)
14	P12	45	ВК10	75	Композит-03 (исмит)
15	P9	46	ВК10-М	76	Композит-05
16	P6АМ5 (Р6М5)	47	ВК10-ОМ	77	Композит-09 (ПТНБ)
17	P12Ф3	48	ВК15		Композит-10 (композит-Р)
18	P9К5	49	T30K4		Алмазы
19	P6АМ5Ф3	50	T15K6	78	А (природный)
20	P6М5К5	51	T14K8	79	АСБ (синтетиче- ский, баллас)
21	P9М4К8	52	T5K10	80	АСПК (синтети- ческий, карбона- до)
22	P18К5Ф2	53	T5K12В		
23	11Р3АМ3Ф2	54	ТТ7К12		
24	P12Ф4К5	55	ТТ8К6		
25	10Р6М5	56	ТТ10К8-Б		
26	10Р6М5К5	57	ТТ20К9		
27	P8М3К6С	58	ВК10-ХОМ		
28	P9К10	59	ВК15-ХОМ		

Множество марок ИМ, допустимых при заданных условиях:

$$\mathcal{E}_{\text{доп}} = f(u_1, u_2, u_3, \dots, u_{13}, u_{14}), \quad (2.18)$$

где u_1 — обрабатываемый материал (ОМ — см. прил. 1); u_2 — состояние поверхности заготовки; u_3, u_4, u_5 — режимы резания (соответственно t, S, v); u_6 — характер резания (прерывистое, непрерывное); u_7 — тип производства (массовое, серийное, единичное); u_8 — жесткость технологической системы; u_9 — требуемая надежность инструмента; u_{10} — технология перетачивания инструмента (способ, трудоемкость, оборудование, инструмент для перетачивания); u_{11} — технология изготовления инструмента (ковка, прокат, литье, вышлифовка и др.); u_{12} — размеры инструмента (режущей части); u_{13} — угол β заострения лезвия; u_{14} — форма (размеры) профиля инструмента.

Зависимость (2.18) при выборе возможных марок ИМ от перечисленных условий «и» можно выразить в форме таблиц соответствий (например, табл. 2.5). В табл. 2.5 знак «+» означает, что данная марка ИМ рекомендуется для использования при данном значении u ; знак «(+)-» означает, что данная марка допускается для использования, но предпочтение имеет марка, которой соответствует знак «+», знак «—» означает, что марка не рекомендуется. Кодирование инструментальных материалов (ИМ) и обрабатываемых материалов (ОМ) соответствует табл. 2.4 и прил. 1.

Каждое из условий $u_1, \dots, u_{14}$ может принимать два — четыре значения. Большое число значений весьма усложняет таблицы и алгоритмы без ощутимого эффекта. Исключение составляет условие u_1 — обрабатываемый материал ОМ (см. прил. 1): число значений u_1 должно соответствовать всем группам ОМ и различным их характеристикам (σ_B , HB), которые охватываются алгоритмом. Это вызвано тем, что ОМ является условием, наиболее сильно влияющим на выбор ИМ. Вообще при разработке конкретного алгоритма число возможных значений каждого условия u должно соответствовать практике производства на данном предприятии. Например, число значений u_1 должно быть таким, чтобы включать все группы ОМ, каждая из которых при прочих равных условиях могла бы обрабатываться одной маркой ИМ данного вида инструмента. Условие u_2 может принимать два — три значения. Например, если обрабатываемая поверхность предварительно уже обработана, $u_2 = 1$; если имеется окалина после штамповки или литейная корка, то $u_2 = 2$.

Наибольшее влияние на выбор ИМ оказывает скорость резания — условие u_6 . В таблицах соответствия наиболее целесообразно ограничиваться двумя — тремя значениями u_6 : $u_6 = 1$ — для нормативной скорости резания наиболее типичной марки ИМ данной группы, например, для Р6М5 группы быстрорежущих сталей; $u_6 = 2$ — для повышенной скорости резания (при заданных t и S); $u_6 = 3$ — для пониженной скорости резания.

Некоторые из условий u в зависимости от вида инструмента и техпроцесса могут трактоваться различно. Например, размеры спиральных сверл u_{14} могут оказывать влияние на выбор ИМ: сверла из кобальтовых сталей диаметром менее 5 мм показывают невысокую стойкость из-за ухудшения теплоотвода при малой массе лезвия сверла. Кроме того, сверла и другие инструменты малого диаметра (метчики, протяжки) при малых размерах часто работают с предельными напряжениями, и поэтому предпочтение имеют марки ИМ более прочные и менее хрупкие. Для других видов инструмента, например, цельных стальных червячных фрез, характерно использование относительно больших диаметров (60—200 мм и более). Здесь размер инструмента, как показывает практика, может существенно повлиять на балл карбидной неоднородности, что особенно опасно для более твердых и хрупких марок ИМ.

2.5. Выбор марок инструментальных материалов для спиральных сверл

и		ИМ																		
		6	10	16	17	18	19	20	21	22	24	25	26	27	28	29	30	32	35	36
и ₁	1—9, 12—19	+	+	+	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—
	10—11	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	—	—	+	—	+	+	—	—	—	—	—
	20—22, 27—29, 33, 40	(+)	(+)	+	—	+	—	+	(+)	—	—	—	—	—	(+)	—	—	+	—	—
	21; 24; 38	(+)	(+)	+	+	+	+	+	(+)	—	—	—	—	—	(+)	—	—	+	—	—
	26; 34—37	—	—	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	(+)	+	+	(+)	—	—
	41—44; 51—53; 56; 62; 64; 65	(+)	(+)	+	—	+	+	+	(+)	—	—	—	—	—	(+)	—	—	+	—	—
	45—49; 54—55; 57—61; 63; 67—71	—	—	+	+	+	+	+	+	—	—	+	—	—	+	—	—	(+)	—	—
	72—73; 79—80	—	—	—	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+	+	—	+	+	+	+	+	+	+	+
	92—93	—	—	+	+	+	+	+	+	—	—	+	—	+	+	+	—	(+)	—	—
	94—96; 100—103; 105; 117	—	—	(+)	(+)	+	(+)	+	+	—	—	+	+	+	+	(+)	—	—	—	—
	97—100; 104; 106—112; 118—119	—	—	—	(+)	+	(+)	+	+	+	+	—	+	+	+	+	+	—	+	+
	120; 121; 115; 116; 113; 114	—	—	—	—	(+)	—	—	+	+	+	—	+	+	+	+	+	—	+	+
	124; 127	(+)	(+)	+	(+)	(+)	(+)	(+)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—
125; 128—130	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	(+)	+	—	—	(+)	—	—	
126; 131	—	—	(+)	+	+	+	+	+	(+)	(+)	+	+	+	+	(+)	—	—	—	—	
и ₂	Корки нет	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Корка есть	—	—	(+)	+	+	+	+	+	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+	—	+
и ₄	Понижена	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+
	Средняя	+	+	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	Повышена	—	—	+	(+)	(+)	(+)	(+)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Понижена	+	+	(+)	+	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	—	—
и ₆	Средняя	—	—	+	+	(+)	+	(+)	—	—	—	+	—	—	—	—	—	+	—	—
	Повышена	—	—	—	—	(+)	—	+	+	+	+	(+)	+	+	+	+	+	—	+	+

И		ИМ																		
		6	10	16	17	18	19	20	21	22	24	25	26	27	28	29	30	32	35	36
u_6	Резание непрерывное Резание прерывистое	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
u_8	Понижена Средняя Повышена	(+) + +	+	+	(+) + +	(+) + +	(+) + +	(+) + +	— (+) +	— + +	— + +	(+) (+) +	— + +	— + +	— + +	— + +	— + +	— (+) +	— + +	— +
u_9	Пониженные требования Средние требования Повышенные требования	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		—	(+)	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
		—	—	+	+	(+)	+	+	(+)	—	(+)	+	(+)	(+)	—	—	—	—	—	—
u'_{11}	Резание Вышлифовка Прокат Литье	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	(+)	(+)
		—	—	+	—	—	—	—	—	(+)	—	+	+	+	+	+	+	—	(+)	(+)
		+	+	+	+	(+)	+	+	—	—	—	+	(+)	(+)	—	—	—	—	—	+
u''_{11}	Возможность перегрева есть Перегрев не допускается	—	—	—	+	+	—	—	—	+	+	—	—	—	(+)	—	—	—	—	—
		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
u'''_{11}	Возможность обезуглероживания есть Обезуглероживания нет	+	—	—	+	(+)	—	—	—	(+)	(+)	—	—	—	—	—	—	—	+	+
		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
u_{12}	$3 \text{ мм} < d < 50 \text{ мм}$ $d \geq 50 \text{ мм}$ $d \leq 3 \text{ мм}$	(+) — (+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	+	+
		(+)	+	+	+	(+)	+	(+)	—	(+)	(+)	+	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+	(+)	+
u_{13}	β — средняя величина β — пониженная величина	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		—	+	+	+	+	+	+	(+)	—	—	+	(+)	(+)	(+)	—	—	—	—	—

Число условий u может быть увеличено или уменьшено. Например, технология изготовления инструмента — условие u_{11} — может быть охарактеризована не одним, а несколькими условиями, если они существенно влияют на выбор ИМ. Если инструмент подвергается закалке с нагревом в печи без автоматического контроля и регулирования температуры закалки, то возникает возможность перегрева, т. е. завышения температуры нагрева по сравнению с оптимальной. Такая опасность имеется и в тех случаях, когда термообработке подвергается одновременно партия различных инструментов из марок ИМ, имеющих разную оптимальную температуру нагрева. В этих случаях должно учитываться такое важное свойство ИМ, как чувствительность к перегреву. Вообще технологические свойства инструментальных материалов, особенно сталей, в технической литературе освещены недостаточно и мало систематизированы, что затрудняет их учет при выборе ИМ. В то же время они могут иметь не только существенное, но в ряде случаев решающее значение при выборе той или иной марки ИМ. При разработке таблиц соответствий учет технологических свойств является обязательным. В связи с этим в прил. 2 рассмотрены основные технологические свойства быстрорежущих сталей. Некоторые из этих свойств могут не учитываться в таблицах соответствий, но лишь в тех случаях, когда по условиям изготовления или эксплуатации (u_{10} , u_{11} и др.) они не оказывают влияния на выбор марки ИМ. Например, если канавки сверла не вышлифовываются или не прокатываются, а фрезеруются, то шлифуемость или ковкость можно не учитывать. Если при переточках инструмента объем шлифовальных работ значителен (червячные фрезы, протяжки), то при использовании для заточки корундовых кругов необходимо учитывать шлифуемость как технологическое свойство марки ИМ; это свойство влияет, кроме трудоемкости шлифования, и на стойкость инструмента. Если же для переточек используются эльборовые круги, то шлифуемость можно не учитывать.

Если какие-либо условия u из вышеперечисленных мало изменяются, оставаясь в пределах стандартных или нормативных, их можно не учитывать. Анализ показал, что число условий u , как правило, должно быть не менее 6.

В качестве примера рассмотрим выбор марки ИМ для спирального сверла по табл. 2.5. Сверла выполняются цельными из углеродистой, легированной или быстрорежущей стали. В таблице приведены 19 наиболее часто рекомендуемых для сверл марок ИМ; их кодирование соответствует табл. 2.4. Сверление производится в заготовке из стали 45; диаметр отверстия $d = 10$ мм; длина 50 мм; режимы: $S = 0,25$ мм/об; $v = 0,65$ м/с.

У с л о в и я $u_1 \dots u_{14}$ с л е д у ю щ и е: u_1 — ОМ53 (см. прил. 1); u_2 — корка или окалина отсутствуют; u_4 — подача средняя (нормативная); u_6 — скорость резания повышена; u_8 — резание непрерывное (отверстие не имеет пересечения с другими

отверстиями или полостями); u_7 — тип производства — серийное; u_8 — жесткость технологической системы пониженная [в частности, отношение $(l/d) = 5$, т. е. достаточно велико]; u_9 — особых требований к надежности нет; u_{11} — способ изготовления — шлифовка канавок в цельной закаленной заготовке, перегрев и обезуглероживание при закалке исключены; u_{12} — $5 < d < 50$; u_{13} — угол β заострения лезвия понижен (из-за увеличения угла подъема спирали канавки сверла до $24\text{--}30^\circ$ для лучшего отвода стружки, что необходимо ввиду увеличенного отношения l/d).

Условие u_3 здесь не учитывается, так как при сверлении $f_z = 0,5d$ всегда. Условие u_{10} также отсутствует в табл. 2.5, так как перетачивание сверла осуществляется эльборовым кругом на специальном заточном станке. Особого влияния на выбор ИМ технология заточки не оказывает. При использовании обычных корундовых кругов следовало бы вводить условие u_{10} , так как шлифуемость ИМ корундовым кругом сильно различается для разных марок (см. ниже).

При данных условиях $u_1, \dots, u_{13}$ в соответствии с табл. 2.5 допускаются следующие марки ИМ:

для u_1 — (6), (10), 16, 18—20, (21), (28), 32;

для u_2 — ограничений нет;

для u_3 — 6—21, (22), (24), 25, 26, (27—36);

для u_5 — (18), 20—24, (25), 26—30, 35, 36;

для u_6 и u_7 — ограничений нет;

для u_8 — (6), 10, 16, (17—20), (25);

для u_9 — (10), 16—21, (22), (24), (27)—(36);

для u_{11} — 16, 20, (21), 25, 26, (27), (29);

для u_{12} — ограничений нет;

для u_{13} — 10—20, (21), 25, (26—28).

Марки ИМ, входящие в каждое из перечисленных множеств, в нашем примере сводятся лишь к одной: ИМ (20), т. е. (Р6М5К5). Для тех же условий, но при средней скорости резания ($v = 0,4 \div 0,45$ м/с) множество допустимых марок, определенное таким же способом из табл. 2.5, включает две марки: ИМ 16 и (20), т. е. Р6М5 и (Р6М5К5). Предпочтительной является Р6М5, так как марка Р6М5К5 взята в скобки, т. е. не рекомендуется, но допускается.

При использовании таблиц соответствий возможны случаи, когда ни одна марка не допускается и не рекомендуется для заданных условий. Это означает, что при данных условиях использование всех рассмотренных марок будет неэффективно, а стойкость инструмента низкая. В таком случае надо прежде всего изменить исходные данные, что практически требует либо изменения режимов резания, либо других условий эксплуатации или изготовления инструмента. Можно также увеличить число рассматриваемых марок или решать вопрос о применении ИМ другой группы, например, твердого сплава вместо быстрорежущей стали.

2.6. Свойства * быстрорежущих сталей (при 20 °С)

№ п/п	Марка ИМ	HRC ₂	K _{Р₂} С	σ _н	σ _в	σ _{сж}	α _к · 10 ³ , Дж/м ³	G · 10 ⁻³ , Н/мм ²	f _к , МПа
				МПа					
1	P18	≥62	620	3000	2150	3820	3,0	8,8	1880
2	P12			3050	2100	3740			1850
3	P9			3150	2210	3900	2,0	8,7	1960
4	P6M5	≥63	630	3350	2410	4220	3,5	8,9	2090
5	P12Φ3			3000	2150	3820	2,5	8,8	1000
6	P9K5			2500	2130	3920	2,0	9,0	1950
7	P9K10			2200	2020	3730	1,5	9,1	1830
8	P6M5Φ3			2900	—	—	—	—	—
9	P6M5K5	≥64	630	3000	2050	3750	2,5	9,1	1820
10	P9M4K8			2550	1660	3300	1,5	9,25	1460
11	P12Φ2K8M3			2500	1650	3250		9,3	1510
12	P12Φ4K5	≥67	640	2000	—	—	2,5	—	—
13	P18K5Φ2	64—67		—	—	—	2,0	—	—
14	P18Φ2K8M	67—68		1600	—	—	1,15	—	—
15	10P6M5	64—65	625	2800	—	—	—	—	—
16	10P6M5K5	64—67	630	2600	—	—	—	—	—
17	P8M3K6C	66—69	635	2500	—	—	2,1	—	—
18	B11M7K23	67—69	710	2400	—	—	1,2	—	—
19	B3M12K23			2600	—	—	1,4	—	—
20	11P3AM3Φ2	63—64	620	3600	—	—	—	—	—
21	11M5Φ	64—66	—	3700	—	—	—	—	—
22	P10K5Φ5	63—67	640	2000	1990	4160	1,0	—	—

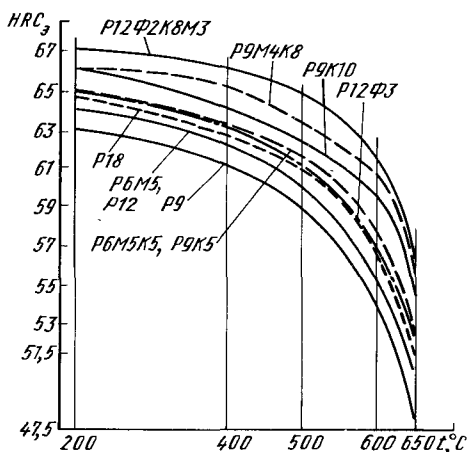
* Свойства для первых одиннадцати марок даны после закалки прутков диаметром 10—35 мм с баллом карбидной неоднородности не более 3; балл аустенитного зерна 10—11. Для остальных марок образцы сечением 6×6 мм*.

Возможен случай, когда допускаемых марок несколько. При автоматизированном проектировании должен быть предусмотрен дополнительный критерий или даже несколько критериев, используемых последовательно, с помощью которых из числа допускаемых марок выбирается одна. Такими критериями могут быть дефицитность, например, пропорциональная содержанию в марке вольфрама, стоимость, хрупкая или пластическая прочность и др. При неавтоматизированном проектировании окончательный выбор

Рис. 2.21. Зависимость твердости быстрорежущих сталей от температуры

марки ИМ из числа найденных возможных может быть также осуществим с учетом их физико-механических свойств (табл. 2.6 и табл. 2.7; рис. 2.21 и рис. 2.22).

В рассмотренном примере при выборе марки ИМ для сверла (принимают, что скорость резания повышена и канавки сверла не вышлифовываются, а фрезеруются) множество допустимых марок, найденное из табл. 2.5, включает ИМ (18) и (20), т. е. (Р9К5) и (Р6М5К5). Сравним эти марки по физико-механическим свойствам. По хрупкой прочности Р6М5К5 обладает преимуществом, так как имеет значительно большее σ_H как при 20 °С (табл. 2.6), так и во всем диапазоне температур 200—600 °С (рис. 2.22). Марка Р6М5К5 несколько уступает марке Р9К5 по σ_B , $\sigma_{сж}$ при 20 °С, в то же время существенно превосходя ее по вязкости a_K . По важнейшему показателю пластической прочности — HRC_0 — при 20 °С Р6М5К5 имеет некоторое преимущество, а при $T =$



2.7. Свойства твердых сплавов

Под- группа	Марка ИМ	HRA	σ_H , МПа	Теплостой- кость, °С	Под- группа	Марка ИМ	HRA	σ_H , МПа	Теплостой- кость, °С
Одио- карбид- ные	ВК3	89,5	1100	800— 850	Двух- карбид- ные	T30K4	92	950	850— 900
	ВК3-М	91	1100			T15K6	90	1150	
	ВК4	89,5	1400			T14K8	89,5	1250	
	ВК6	88,5	1500			T5K10	88,5	1400	
	ВК6-М	90	1350			T5K12	87	1650	
	ВК6-ОМ	90,5	1200		Трех- карбид- ные	ТТ7К12	87	1650	750
	ВК8	87,5	1600			ТТ8К6	90,5	1250	
	ВК10	87	1650			ТТ10К8Б	89	1450	
	ВК10-ОМ	88	1400			ТТ20К9	89	1300	
	ВК15	86	1800		Мало- вольфра- мовые	КНТ-16	89	1150	750— 850
						ТН-20	91	1050	
						ТМ3	89	1200	

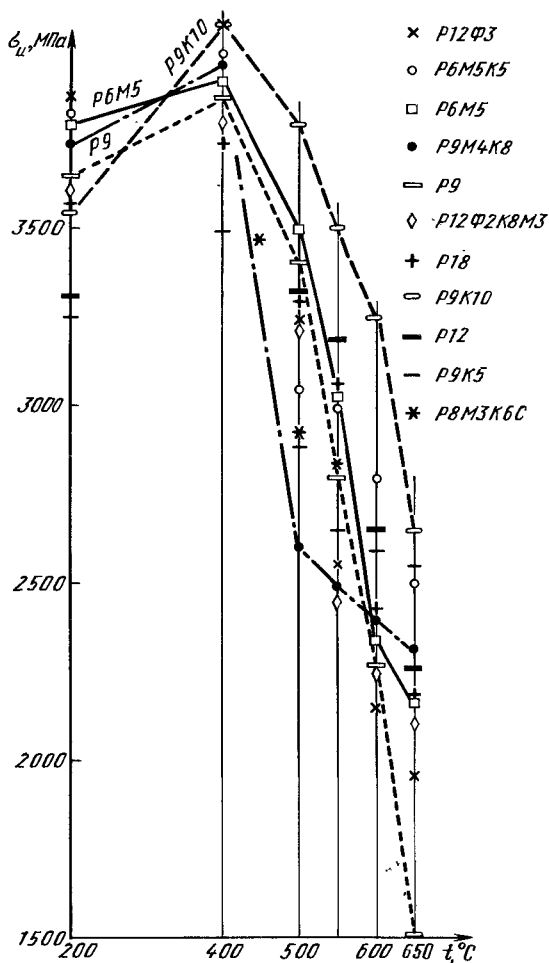


Рис. 2.22. Зависимость прочности быстрорежущих сталей от температуры

$= 200 \div 600 \text{ } ^\circ\text{C}$ HRC₉ обеих марок совпадают (рис. 2.21). Такой весьма приближенный анализ свойств позволяет отдать некоторое предпочтение марке P6M5K5 с точки зрения стойкости сверла при данных условиях (учитывая повышенную скорость резания, невысокую жесткость технологической системы и уменьшенный угол β лезвия).

Рассмотрим другой пример. Твердосплавный токарный резец предназначен для чистового точения стали марки 10X15H27T3MP, $\sigma_b = 1030 \text{ МПа}$, HB 217 (ОМ 108 см. прил. 1). Технологический процесс и режимы заданы: $S = 0,15 \text{ мм/об}$; $t = 0,6 \text{ мм}$; $v = 0,6 \div 0,7 \text{ м/с}$. Условия $u_2 - u_{14}$: поверхность без корки; t и S —

2.8. Выбор марок ИМ (твердого сплава) для токарных резцов

ОМ	ИМ																	
	38	39	40	41	42	43	44	47	49	50	51	52	53	54	55	56	60	63
1—9; 12—19	+	+	+	+	+	—	+	+	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—
10—11	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20; 29; 31	—	—	—	+	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21; 22; 24;	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26	+	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
34—37	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38	—	—	+	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	—	+	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
41—44;	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—
51—53;	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
56; 62; 64;	—	+	—	—	+	+	—	—	+	—	—	—	—	—	+	—	—	—
65; 72—75;	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
79—81;	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50; 86	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
92—94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+	+	—	—	—	—	—	—
95—97	—	+	—	—	—	+	+	—	—	+	—	+	—	—	—	—	—	—
98—100	—	+	—	—	+	+	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—
101—109	—	+	+	—	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
110—116	—	+	—	—	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
117—120	—	+	+	—	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
121	—	+	—	—	+	+	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—
122—123	—	+	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
124; 127	+	—	+	+	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	+	—	+	+
125;	+	+	+	+	+	—	+	+	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—
128—130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
126;	—	+	—	—	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	+	—	—	—
131—133	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. ОМ — см. прил. 1; ИМ — см. табл. 2.4; «+» — марка рекомендуется; «—» — марка не рекомендуется.

малые; v — средняя; резание — непрерывное; жесткость СПИД — средняя (отношение длины к диаметру детали $l/d = 6$, без люнетов, в центрах, станок мощностью 4 кВт); особых требований к надежности нет (оборудование универсальное); длина кромки малая; угол β лезвия достаточен (не уменьшен); форма профиля кромки — простая.

По табл. 2.8 для заданного материала детали (ОМ 108, см. прил. 1) находят допустимые марки ИМ: 39, 40, 42—44, 47, т. е. (см. табл. 2.4): ВКЗ-М, ВК4, ВК6-М, ВК6-ОМ, ВК8, ВК10-ОМ. Расположим эти марки в соответствии с табл. 2.7, в порядке увеличения прочности $\sigma_{\text{м}}$ и уменьшения твердости и износостойчивости: ВКЗМ, ВК6-ОМ, ВК6-М, ВК4, ВК10-ОМ, ВК8. По справочным данным для рассматриваемой группы материалов (ОМ 101—109) при различных видах точения (от тонкого до грубого) используются режимы: $t = 0,05 \div 3$ мм; $S = 0,02 \div 0,8$ мм/об; $v =$

$= 1,0 \div 0,3$ м/с. Поскольку все остальные условия ($u_2, u_8, \dots, u_{14}$) — средние, их не учитываем, принимая во внимание лишь режимы резания. Заданные режимы, как видно из сравнения их с приведенным диапазоном возможных t, S, v , нельзя отнести к крайне низким, как при тонком точении, или к крайне высоким (по t и S), как при черновой обработке, хотя они значительно ближе к тонкому точению.

Для тонкого точения используется наиболее твердая и наименее прочная марка ВКЗ-М, а для тяжелых условий грубого точения — наиболее прочная ВК8. Поэтому с достаточным основанием можно принять, как наиболее рациональные для данных режимов, марки: ВК6-ОМ, ВК6-М и ВК4. Оптимальная из них по стойкости должна определяться опытным путем. При автоматизированном проектировании табл. 2.8 может быть дополнена другими условиями и аналогично табл. 2.5.

В случаях, когда разрабатывается новый технологический процесс, новое оборудование или инструмент, необходимо решать вопрос о выборе группы инструментальных материалов. Хотя имеются известные теоретические основы, в окончательных рекомендациях ориентируются на экспериментальные данные, опыт промышленности и, как правило, необходимы экономические расчеты вследствие существенной разницы в стоимости ИМ разных групп. Ориентировочная область использования различных групп ИМ в зависимости от вида и типа инструмента, точности обработки и типа производства показана в прил. 3 и в зависимости от материала обрабатываемой детали — в прил. 4. Выбор марки ИМ среди различных групп осуществляется в следующей последовательности: выбор возможных для использования групп ИМ; выбор марки ИМ в каждой группе; выбор (окончательный) группы и марки ИМ.

Рассмотрим следующий пример. Необходимо выбрать марку ИМ резца, предназначенного для тонкого растачивания отверстия в цилиндре из алюминиевого сплава АЛ30 (ОМ 5, прил. 1); диаметр отверстия $d = 22$ мм; длина $l = 45$ мм; припуск 0,1 мм; требуемая шероховатость $Ra = 0,25$ мкм. Тип производства — массовое, годовая программа выпуска $A = 250\,000$ шт/год. Режимы не заданы; по опытным данным, операция может осуществляться на специальном расточном станке твердосплавным резцом при $v = 3,17$ м/с, $S = 0,021$ мм/об, $t = 0,1$ мм.

В соответствии с прил. 3 и 4 для данного типа производства при обработке сплава АЛ30 с заданной шероховатостью можно использовать твердый сплав, композит и алмаз. Из опыта известно, что композит наиболее эффективен при обработке чугуна и закаленной стали. Для тонкого точения цветных металлов, в частности алюминиевых сплавов, успешно применяются твердый сплав и алмаз. Поэтому сравним эти два материала для данных условий.

Условия $u_2, \dots, u_{14}$: отсутствие корки, весьма малые t и S , высокая скорость резания, непрерывное резание, повышенная

жесткость СПИД, средняя надежность, режущая кромка короткая и простой формы; средняя, не уменьшенная величина угла β заострения лезвия.

Из табл. 2.8 для ОМ 5 при заданных условиях находятся марки ИМ: 38—42, 44, 47, 55, т. е. (см. табл. 2.4) ВКЗ, ВКЗ-М, ВК4, ВК6, ВК6-М, ВК8, ВК10-ОМ, ТТ8К6.

В соответствии с условиями $u_2 \dots u_{14}$ и с учетом свойств ИМ (табл. 2.8) можно принять марки ВКЗ или ВКЗ-М. Режимы резания: $v = 3,17$ м/с; $S = 0,021$ мм/об; $t = 0,1$ мм.

При растачивании алмазным резцом (АСПК) $v = 11,86$ м/с; t и S те же, что и для марок ВКЗ и ВКЗ-М.

Машинное время обработки для варианта I (твердый сплав ВКЗ) $t_{0I} = 0,82$ мин; для варианта II $t_{0II} = 0,22$ мин. Поскольку цена инструментов и их стойкость в обоих вариантах сильно отличаются, необходимо провести расчет себестоимости C_I , C_{II} операции для обоих вариантов. Цена инструмента для варианта I — 0,9 р., для варианта II — 40,8 р.; стойкость соответственно 60 и 2900 мин; цена одной переточки соответственно 0,091 и 20 р. при примерно одинаковом общем количестве переточек. Расчет по типовой методике дает сумму изменяющихся элементов себестоимости по варианту I — 0,019 р./шт, по варианту II — 0,011 р./шт.

Использование формулы $\mathcal{E} = [(C_{II} - E_{\text{в}} K_{II}) - (C_I + E_{\text{в}} K_I)] A$ позволяет определить экономический эффект от использования алмазного резца взамен твердосплавного. Так как удельные капитальные вложения здесь $K_I = K_{II}$, то $\mathcal{E} = [0,019 - 0,011] \times \times 250\,000 = 2000$ р./год.

Выше рассматривался выбор марки ИМ для инструментов одного вида, например, токарных резцов или спиральных сверл. При сравнении различных техпроцессов возможны случаи, когда выбор группы и марки ИМ осуществляется для РИ различных видов. При этом группа ИМ может, в свою очередь, влиять на выбор вида РИ. В этих случаях марку ИМ необходимо определять на первом этапе проектирования. Здесь можно использовать ту же методику, что и при выборе ИМ различных групп, но с обязательным сравнением технико-экономических показателей различных технологических процессов (или различных операций).

Рассмотрим пример. Выбирается марка ИМ резца для обработки с шероховатостью $R_z = 40$ мкм фасонного контура детали из стали 40Х, НВ207 (рис. 2.23). Заготовка — штампованная с припуском по всему профилю 3 мм (по диаметру). Тип производства — крупносерийное. Режимы не заданы. Имеющееся оборудование позволяет использовать фасонное точение токарным резцом на

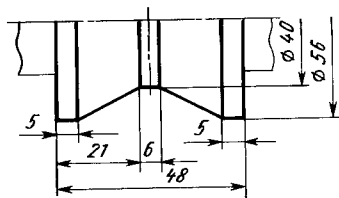


Рис. 2.23. Деталь

гидрокопировальном станке (мод. 1712 или мод. 1722) или точение фасонным резцом с радиальной подачей.

Выбор марок ИМ в данном случае связан с различными видами инструментов, работающих по разным кинематическим схемам.

Для токарного резца в соответствии с прил. 3 и 4 при данных условиях (тип производства, шероховатость, обрабатываемый материал ОМ 56 из прил. 1) в качестве ИМ можно использовать твердый сплав и минералокерамику. Последняя эффективна лишь при высокой жесткости технологической системы на чистовой или получистовой обработке. При использовании гидрокопировальной системы станка и изменяющихся углов в плане φ_0 и φ' резца жесткость технологической системы невысокая. Поэтому для токарного резца выбираем твердый сплав.

При $t = 1,5$ мм, $S = 0,56$ мм/об, $S_{\text{попер}} = 0,21$ мм/об условия $u_2 \dots u_{14}$ работы токарного резца (на станке мод. 1722): наличие корки; небольшая величина t ; средние v и S ; резание непрерывное; жесткость средняя или пониженная; надежность средняя; кромка короткая простой формы; угол β лезвия средней величины.

Согласно табл. 2.8, для ОМ 56 возможны следующие марки ИМ: 49—56, 60, 63, т. е. по табл. 2.4: Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12В, ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8-Б, ТН-20, КНТ-16.

Для заданных условий ($u_2 \dots u_{14}$) целесообразно использовать марки средней прочности и износостойчивости из вышеперечисленных: Т14К8, ТТ8К6, КНТ-16, Т15К6. При наличии окалин и невысокой жесткости СПИД принимаем более прочную из этих марок — Т14К8. Нормативная скорость при $\varphi_0 = 60^\circ v = 2,5$ м/с. Машинное время обработки $t_0 = l/(nS) = 52/(850 \cdot 0,56) = 0,109$ мин.

Марку ИМ быстрорежущей стали для фасонного резца выбираем по табл. 2.9.

Для ОМ 56 (u_1) возможны следующие марки ИМ: 16—21, 26, 28; для $l > 30$ (u_3) и для средней S (u_4) — те же марки ИМ; для средней v (u_5): 16, 18, 19, (20), (21), (28); для средней жесткости СПИД (u_9): 16, 18, 19, 20, (21), (28); считаем, что условия для перегрева и обезуглероживания исключены; условия u_{12} ($D > 60$) и u_{13} (β_0 — нормальной величины) не вносят дополнительных ограничений.

Множество марок ИМ, удовлетворяющих всем заданным условиям, следующие: 16, 18, 19, т. е. согласно табл. 2.4 марки Р6АМ5, Р9К5, Р6АМ5Ф3.

Наибольшую скорость резания из этих трех марок получают при Р9К5 (см. рис. 2.21 и табл. 2.6); поэтому для сравнения с твердосплавным токарным резцом примем в качестве ИМ Р9К5. При $v = 0,5$ м/с, частоте вращения $n = 170$ об/мин и радиальной подаче $S_p = 0,05$ мм/об машинное время $t_0 = (1,5 + 1)/(0,05 \cdot 170) = 0,29$ мин, что значительно больше, чем при обработке твердосплавным резцом.

2.9. Выбор марки ИМ для фасонных резцов

Условия		ИМ												
		16	17	18	19	20	21	22	24	26	27	28	29	30
ОМ (μ_1)	1—9; 12—19	+	(+)	+	(+)	+	—	—	—	—	—	—	—	—
	10—11	+	+	+	+	+	+	—	—	+	—	+	—	—
	21; 22; 28; 29; 33; 38	+	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—
	24; 26; 37	(+)	+	+	+	+	+	—	—	—	—	+	—	—
	41—44; 51—53; 56; 62; 64; 65	+	+	+	+	+	+	—	—	+	—	+	—	—
	45—49; 54—55; 57—61; 63; 66—71	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)	+	+	+	(+)	(+)
	92—93	+	+	+	+	+	+	—	(+)	(+)	(+)	+	(+)	—
	94—97	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	101—105	—	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	106—108	—	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+	+	(+)	+	+	+	+
	117—118	—	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+	+	(+)	+	+	+	+
	119—120	—	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+
	124; 127; 128	+	—	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
	125; 129; 130	(+)	—	+	+	+	+	—	(+)	+	(+)	+	(+)	—
I (μ_2)	До 15 мм	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	15—30 мм	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)	+	+	+	(+)	(+)
	Св. 30 мм	+	(+)	+	+	+	(+)	+	—	+	+	+	—	—
S (μ_3)	Понижена	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Средняя (нормативная)	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)	+	+	+	(+)	(+)
	Повышена	+	(+)	+	(+)	(+)	—	—	—	(+)	—	—	—	—
v (μ_4)	Понижена	+	+	(+)	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Средняя (нормативная)	+	+	+	+	(+)	(+)	—	—	—	(+)	(+)	—	—
	Повышена	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Условия		ИМ													
		16	17	18	19	20	21	22	24	26	27	28	29	30	
Жесткость СПИД (u_8)	Поннжена	+	(+)	(+)	(+)	(+)	—	—	—	—	—	—	—	—	
	Средняя	+	+	+	+	+	(+)	—	—	(+)	(+)	(+)	—	—	
	Повышена	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Надежность (u_9)	Поннжена	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Средняя	+	+	+	+	+	(+)	(+)	(+)	+	+	+	(+)	(+)	
	Повышена	+	+	+	+	+	(+)	—	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	—	
Способ изготовления (u_{11})	Резанием (лезвийным инструментом)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Вышлифовкой	+	—	—	—	+	—	(+)	—	+	(+)	—	—	—	
Технология термической обработки (u_{11})	Возможность перегрева есть	—	+	+	—	—	—	(+)	(+)	—	—	(+)	—	—	
	Возможности перегрева нет	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Технология нагрева (u_{11})	Возможность обезуглероживания есть	—	+	(+)	—	—	—	(+)	(+)	—	—	—	—	—	
	Возможности обезуглероживания нет	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Наружный диаметр (u_{12})	До 60 мм	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Св. 60 мм (конструкция цельная)	+	—	+	+	+	(+)	—	—	+	(+)	(+)	—	—	
Угол β заострения (u_{13})	Средний	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Уменьшенный	+	+	+	+	(+)	(+)	—	—	(+)	(+)	—	—	—	
Профиль (u_{14})	Сложный	+	+	+	+	+	(+)	—	(+)	(+)	(+)	(+)	—	—	
	Простой	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

Обозначения: знак «+» — марка ИМ пригодна; знак (+) — марка ИМ допускается; знак «—» — не рекомендуется.

Примечание. ОМ — из прил. 1; ИМ — из табл. 2.4.

Так как стоимость твердосплавного резца меньше стоимости фасонного и при наличии оборудования для обоих вариантов капитальные затраты не изменяются, то при сравнении машинного времени в данном случае более эффективно использование токарного твердосплавного резца. Если заготовка имеет цилиндрическую форму (пруток), использование токарного резца требует нескольких рабочих ходов, и в этом случае время обработки радиальным фасонным резцом меньше, чем при обработке токарным.

В заключение отметим, что все задачи по выбору ИМ, рассмотренные выше, можно классифицировать следующим образом.

1. Марку ИМ выбирают на этапе III проектирования в системе СПРИ для одного вида РИ и одной группы ИМ.

2. Марку ИМ выбирают для одного вида РИ (этап III СПРИ), но из различных групп ИМ, например, твердого сплава и быстрорежущих сталей.

3. Марку ИМ выбирают для разных видов РИ из различных или одной группы ИМ на этапе I СПРИ.

Во всех случаях при выборе марок ИМ используются таблицы соответствия (см. табл. 2.5, табл. 2.8, табл. 2.9, а также прил. 3—6). В задачах второго и третьего типа, помимо таблиц необходимо также использовать технико-экономические показатели. Таблицы упрощаются благодаря имеющимся на конкретном предприятии постоянным (и поэтому не входящим в таблицы) условиям и ограниченному числу марок. Однако при предварительном выборе используемых на предприятии марок следует учитывать все условия.

2.4.2.4. Выбор геометрических параметров режущей части инструментов (блок 4, см. рис. 1.1)

Геометрические параметры режущей части инструментов выбирают в соответствии с общей системой СПРИ (см. рис. 1.1, блоки 4 и 12). В блоке 4 выполняют выбор формы передней и задней поверхностей, а также предварительный выбор геометрических параметров режущей части инструмента. В блоке 12 производят расчет тех параметров, которые зависят от габаритных размеров инструмента и других элементов, рассчитываемых в блоках 5—11. Затем окончательно определяют значения указанных параметров с учетом их изменения в процессе резания (кинематики).

Форму передней и задней поверхностей выбирают на основе таблиц соответствия, которые, при необходимости, для некоторых инструментов дополняются расчетами. Например, форма задней поверхности дисковых фасонных резцов обычно принимается кольцевой, но при малых боковых задних углах резца и определенной форме профиля детали может быть винтовой с углом наклона σ (см. п. 3.3).

Форму передней поверхности токарных резцов различного типа выбирают в зависимости от материала детали, его прочности, а также характера обработки и режимов резания.

Для большинства инструментов существует определенный диапазон различных форм передней и задней поверхностей. Как правило, диапазон этот сравнительно невелик [12, 23] и легко определяется с помощью таблиц как при неавтоматизированном, так и при автоматизированном проектировании.

Выбор рациональных геометрических параметров инструментов, их оптимизация наиболее эффективно осуществляются на основе многофакторного эксперимента. Однако для всех многообразных условий эксплуатации такой выбор практически не может быть осуществлен. Трудно осуществить в настоящее время и другой путь выбора геометрических параметров — методами расчета из условий прочности, стойкости, производительности, — так как методы эти сложны и требуют наличия статистических данных, которые имеются лишь для ограниченного числа условий.

Поэтому геометрические параметры при реальном инженерном проектировании следует выбирать на основе таблиц соответствия, дополняя их при необходимости расчетами. Таблицы соответствия должны разрабатываться на основе опытных данных и по мере их накопления корректироваться.

Основными особенностями изложенной ниже методики выбора геометрических параметров являются следующие: а) для всех лезвийных инструментов используются общие определения и соотношения между геометрическими (статическими) параметрами; б) уравнения, связывающие значения отдельных параметров, расширены, и значения некоторых из них сведены в таблицы; в) для всех инструментов — от дисковых резцов до червячных фрез — использована общая методическая основа выбора геометрических параметров.

Рассмотрим кратко определение геометрических параметров, их соотношения и методику выбора.

Терминология и определение геометрических параметров приняты в соответствии с ГОСТ 25762—83 с некоторыми необходимыми поправками для червячных фрез (см. п. 3.3.5). Для всех видов лезвийных инструментов действительны те же основные геометрические параметры, что и для токарного резца (рис. 2.24). В статической системе координат за основную принимается плоскость, проходящая через точку x кромки AB перпендикулярно вектору v_x скорости резания в этой точке. Плоскость резания проходит через вектор v_x и точку x кромки AB касательно к последней. Между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью находится передний угол γ ; между задней поверхностью лезвия и плоскостью резания находится задний угол α . С точки зрения процесса резания углы α и γ должны определяться в главной секущей плоскости $P_{\tau 6}P_{\tau 6}$, нормальной к проекции кромки AB на основную плоскость. В сечении $P_{\tau 6}P_{\tau 6}$ находятся статические

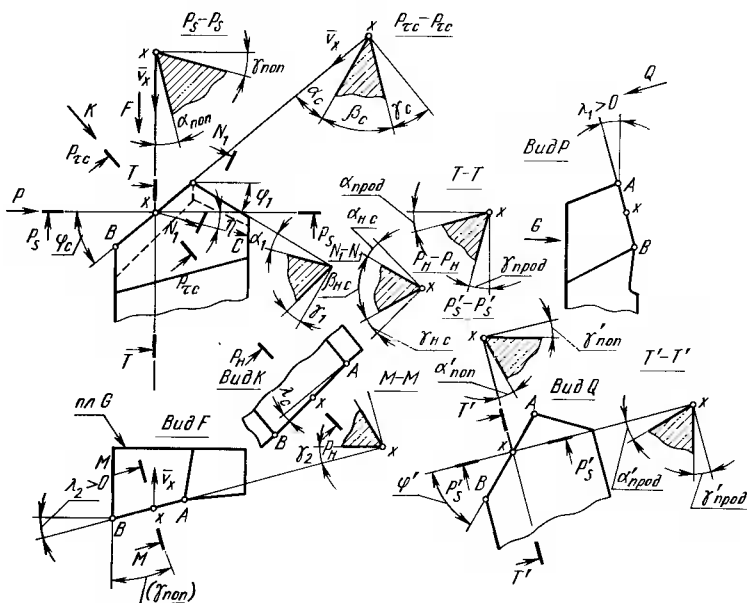


Рис. 2.24. Геометрические параметры резца (φ' на рисунке должно соответствовать φ_1 , $\varphi_1 - \varphi'$)

углы γ_0 и α_0 . Для удобства изготовления, контроля и при заточке передний и задний углы часто задаются в продольном сечении TT или в поперечном P_sP_s : углы $\gamma_{\text{прод}}$, $\alpha_{\text{прод}}$ и $\gamma_{\text{поп}}$, $\alpha_{\text{поп}}$. Некоторые геометрические параметры редко используются для резца, но играют существенную роль для других инструментов. Например, в сечении $M-M$ плоскостью, перпендикулярной к проекции кромки AB на плоскость P_s-P_s , находится угол γ_2 . На резце этот угол обычно не задается, но на сверлах (рис. 2.25), зенкерах (рис. 2.26) и развертках угол γ_2 является передним углом на калибрующей части — в сечении, перпендикулярном к винтовой линии зуба. То же можно сказать и об угле $\gamma_{\text{поп}}$: если для резца (см. рис. 2.24) он имеет ограниченное использование, в основном как технологический параметр, то для сверл, зенкеров и разверток этот угол равен углу наклона винтовых канавок (см. рис. 2.25 и рис. 2.26), т. е. обладает важным самостоятельным значением, обеспечивая выход стружки.

Таким образом, с учетом необходимости задания геометрических параметров для различных инструментов в разных проекциях и секущих плоскостях, на резце рассматриваются следующие параметры (см. рис. 2.24):

$$\varphi_0; \varphi_1; \varphi';$$

$$\gamma_0; \gamma_{\text{поп}}; \gamma_{\text{прод}}; \gamma'_{\text{поп}}; \gamma'_{\text{прод}}; \gamma_{\text{нс}}; \gamma_2; \gamma_1;$$

$$\alpha_0; \alpha_{\text{поп}}; \alpha_{\text{прод}}; \alpha'_{\text{поп}}; \alpha'_{\text{прод}}; \alpha_{\text{нс}}; \alpha_1; \lambda_0; \lambda_1; \lambda_2; \beta_0; \beta_{\text{нс}}.$$

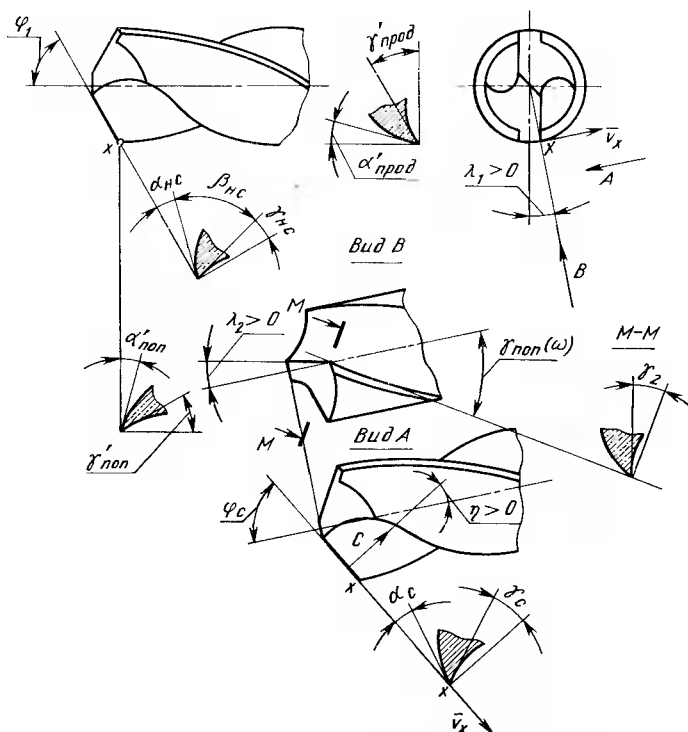


Рис. 2.25. Геометрические параметры сверла

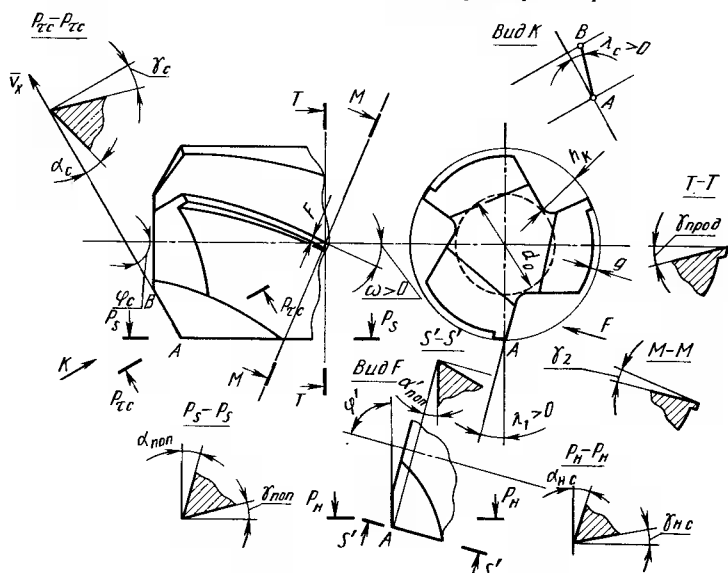


Рис. 2.26. Геометрические параметры зенкера (φ' должно соответствовать φ_1)

На рабочих чертежах инструментов проставляются в первую очередь те параметры, которые необходимы для изготовления и контроля. Целесообразно также проставлять углы, характеризующие условия резания и прочность кромки: φ_0 (или φ_1), φ' , γ_0 , α_0 , α_1 , λ_0 (или λ_1), β_{nc} (или β_0). С целью упрощения чертежей для некоторых инструментов принято указывать весьма ограниченное число геометрических параметров. Например, для долбляков, червячных фрез, дисковых фрез обычно показывают лишь передний и задний углы при вершине. Однако при проектировании этих инструментов необходимо также определять углы α_0 , γ_0 и β_0 в различных точках режущей кромки (во избежание слишком больших отклонений этих углов от значений, близких к оптимальным).

В значительной мере это относится и к углу λ_0 (или λ_1). Его величина влияет не только на стойкость, прочность кромки и процесс стружкообразования, но прежде всего на направление схода стружки и ее форму, что имеет первостепенное значение для работоспособности многих инструментов (сверл, протяжек и др.).

Следует также учитывать и возможные изменения геометрических параметров инструмента в процессе работы. Положение вектора $\mathbf{v}_x$ скорости резания в данной точке кромки в ряде случаев определить сложно, так как приходится значительно усложнять расчет. В тех случаях, когда это допустимо, приближенно принимают направление вектора $\mathbf{v}_x$ (например, для резца) по перпендикуляру к опорной плоскости G резца (см. рис. 2.24). В этом случае не учитывается движение подачи и изменение положения разных точек кромки AB резца по высоте из-за наличия угла λ . В большинстве случаев погрешности для резцов в расчете углов пренебрежимо малы. При изготовлении и заточке резцов за основную плоскость для отсчета углов также принимается опорная плоскость G резца (см. рис. 2.24). В указанных случаях геометрические параметры резца определяются без точного нахождения вектора $\mathbf{v}$ скорости резания в инструментальной системе координат (γ_n , α_n и др.).

Рассмотрим соотношения между различными геометрическими параметрами. Следует учитывать, что некоторые из них можно задавать, а другие — рассчитывать в зависимости от заданных. При этом известные (заданные) и рассчитываемые параметры можно менять между собой. Например, все передние углы сверла (см. рис. 2.25) — γ_0 , γ_{nc} , γ_2 , $\gamma_{поп}$, $\gamma_{прод}$, а также углы φ_0 , λ_1 , λ_2 — определяются, если заданы углы φ_1 , λ_0 и γ_0 . Однако все эти углы не могут рассматриваться только как зависящие от φ_1 , λ_0 , γ_0 . Например, от угла $\gamma_{поп}$ сверла зависит обеспечение выхода стружки. Угол γ_{nc} вместе с α_{nc} определяет β_{nc} и прочность кромки. Поэтому соотношения между различными углами даются для нескольких случаев в зависимости от того, какие параметры заданы и какие находят.

При заданном α_0 :

$$\operatorname{ctg} \alpha_{\text{пон}} = \operatorname{ctg} \alpha_0 \sin \varphi_0 + \operatorname{tg} \lambda_0 \cos \varphi_0; \quad (2.19)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_{\text{прод}} = \operatorname{ctg} \alpha_0 \cos \varphi_0 - \operatorname{tg} \lambda_0 \sin \varphi_0; \quad (2.20)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha'_{\text{пон}} = \operatorname{ctg} \alpha_{\text{нс}} \sin \varphi_1; \quad (2.21)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha'_{\text{прод}} = \operatorname{ctg} \alpha_{\text{нс}} \cos \varphi_1; \quad (2.22)$$

$$\operatorname{ctg} \alpha_{\text{нс}} = \operatorname{ctg} \alpha_0 \cos \lambda_0. \quad (2.23)$$

При заданном $\alpha_{\text{прод}}$:

$$\operatorname{ctg} \alpha_0 = \operatorname{ctg} \alpha_{\text{прод}} \sec \varphi_0 + \operatorname{tg} \lambda_0 \operatorname{tg} \varphi_0. \quad (2.24)$$

При заданных φ_0 , γ_0 , λ_0 :

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{пон}} = \operatorname{tg} \gamma_0 \sin \varphi_0 + \operatorname{tg} \lambda_0 \cos \varphi_0; \quad (2.25)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{прод}} = \operatorname{tg} \gamma_0 \cos \varphi_0 - \operatorname{tg} \lambda_0 \sin \varphi_0; \quad (2.26)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{нс}} = \operatorname{tg} \gamma_0 \cos \lambda_0; \quad (2.27)$$

$$\operatorname{tg} \lambda_1 = \operatorname{tg} \lambda_0 \operatorname{cosec} \varphi_0; \quad (2.28)$$

$$\operatorname{tg} \lambda_2 = \operatorname{tg} \lambda_0 \sec \varphi_0; \quad (2.29)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{\operatorname{tg} \varphi_0}{\cos \lambda_1} \text{ (при } \varphi_0 = 90^\circ, \varphi_0 = \varphi_1 = 90^\circ); \quad (2.30)$$

$$\operatorname{tg} \gamma'_{\text{пон}} = \operatorname{tg} \gamma_{\text{нс}} \sin \varphi_1; \quad (2.31)$$

$$\operatorname{tg} \gamma'_{\text{прод}} = \operatorname{tg} \gamma_{\text{нс}} \cos \varphi_1; \quad (2.32)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_2 = \operatorname{tg} \gamma_{\text{прод}} \cos \gamma_{\text{пон}}. \quad (2.33)$$

При заданных φ_0 , $\gamma_{\text{пон}}$, λ_0 :

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \operatorname{tg} \gamma_{\text{пон}} \operatorname{cosec} \varphi_0 - \operatorname{tg} \lambda_0 \operatorname{ctg} \varphi_0 \quad (2.34)$$

при $\varphi_0 = 90^\circ$, $\gamma_0 = \gamma_{\text{пон}}$:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{прод}} = \operatorname{tg} \gamma_{\text{пон}} \operatorname{ctg} \varphi_0 - \operatorname{tg} \lambda_1. \quad (2.35)$$

При заданных φ_0 , γ_0 , $\gamma_{\text{пон}}$:

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{прод}} = \operatorname{tg} \gamma_0 \sec \varphi_0 - \operatorname{tg} \gamma_{\text{пон}} \operatorname{tg} \varphi_0; \quad (2.36)$$

$$\operatorname{tg} \lambda_0 = \operatorname{tg} \gamma_{\text{пон}} \sec \varphi_0 - \operatorname{tg} \gamma_0 \operatorname{tg} \varphi_0 \quad (2.37)$$

при $\varphi_0 = 90^\circ$, λ_0 не зависит от γ_0 и $\gamma_{\text{пон}}$; $\gamma_{\text{прод}} = -\lambda_0$.

При заданных φ_0 , $\gamma_{\text{прод}}$, $\gamma_{\text{пон}}$:

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \operatorname{tg} \gamma_{\text{прод}} \cos \varphi_0 + \operatorname{tg} \gamma_{\text{пон}} \sin \varphi_0; \quad (2.38)$$

$$\operatorname{tg} \lambda_1 = \operatorname{tg} \gamma_{\text{пон}} \operatorname{ctg} \varphi_0 - \operatorname{tg} \gamma_{\text{прод}}; \quad (2.39)$$

$$\operatorname{tg} \lambda_0 = \operatorname{tg} \gamma_{\text{пон}} \cos \varphi_0 - \operatorname{tg} \gamma_{\text{прод}} \sin \varphi_0. \quad (2.40)$$

Ориентировочное значение угла η схода стружки (по направлению стрелки C , см. рис. 2.24, рис. 2.25)

$$\eta = 90 - \varphi_0 - \lambda_0. \quad (2.41)$$

Соотношение между углами α , γ и β в любом сечении (например, $P_{\tau c}P_{\tau c}$ или $P_H P_H$)

$$\alpha_c + \gamma_c + \beta_c = 90^\circ; \quad \alpha_{nc} + \gamma_{nc} + \beta_{nc} = 90^\circ. \quad (2.42)$$

Величина переднего угла γ_w в плоскости схода стружки (т. е. в сечении плоскостью, перпендикулярной к основной и проходящей через стрелку C ; см. рис. 2.24 и рис. 2.25)

$$\operatorname{tg} \gamma_w = \operatorname{tg} \gamma_{\text{поп}} \sin(\varphi_c + \lambda_c) + \operatorname{tg} \gamma_{\text{прод}} \cos(\varphi_c + \lambda_c). \quad (2.43)$$

При заданных $\gamma_{\text{поп}}$ и λ_1 угол φ_c , при котором передний угол γ_c принимает максимальное значение, находят так:

$$\sin^2 \varphi_c = \sqrt[3]{g} (\sqrt[3]{1,5 + e} + \sqrt[3]{1,5 - e}), \quad (2.44)$$

где $g = \frac{\operatorname{tg}^2 \gamma_{\text{поп}}}{3 \operatorname{tg}^2 \lambda_1}$; $e = \sqrt{2,25 + g}$.

Численные соотношения между параметрами φ_1 , $\gamma_{\text{поп}}$, λ_1 , γ_0 , $\gamma_{\text{прод}}$, γ_2 , γ_{nc} даны в прил. 7.

Зависимости (2.19)—(2.44) носят общий характер, т. е. применимы для всех лезвийных инструментов — резцов, сверл, дисковых фрез, червячных фрез и др. При выборе геометрических параметров они определяют внутренние связи инструмента как системы. При изготовлении и эксплуатации инструмента эти зависимости используются для определения тех параметров, которые не заданы на рабочем чертеже. Указанные зависимости могут быть дополнены для некоторых видов инструментов. Например, у червячных шлицевых фрез задние боковые углы зависят от радиуса R начальной окружности обрабатываемого валика, и поэтому выбор задних углов и радиуса R должен быть взаимосвязан.

Методика выбора геометрических параметров РИ в общем случае включает (рис. 2.27): а) определение диапазона $\mathcal{E}_{\text{воз}}$ возможных значений рассматриваемого параметра (как конструктивного элемента $\mathcal{E}$); б) определение оптимального значения параметра ($\mathcal{E}_{\text{опт}}$); в) окончательное определение параметра $\mathcal{E}$ с учетом соотношения между $\mathcal{E}_{\text{воз}}$ и $\mathcal{E}_{\text{опт}}$.

Диапазон возможных значений находится с учетом всех существенных внешних и внутренних связей РИ как системы. Внешние связи целесообразно выражать в виде практических условий, которым должен удовлетворять инструмент. К этим условиям в общем случае относятся: а) работоспособность РИ (прочность, стойкость, надежность, отвод стружки); б) формообразование (точность обработанной поверхности); в) эксплуатация (тип производства детали, требуемая на данной операции шероховатость, режимы, жесткость технологической системы, технология затачивания); г) изготовление (тип производства РИ, технология его изготовления, оборудование).

Внутренние связи каждого параметра определяются уравнениями (2.19)—(2.44) с необходимыми дополнениями для раз-

личных видов РИ. Для каждого параметра как конструктивного элемента, имеющего численное значение, диапазон $\mathcal{Z}_{\text{воз}}$ возможных значений определяется следующим образом.

Минимальное значение $\mathcal{Z}_{\text{min}}$ находится как максимальное среди всех минимальных значений $\mathcal{Z}$, определяемых условиями работоспособности $\mathcal{Z}_p$, формообразования $\mathcal{Z}_\phi$, эксплуатации $\mathcal{Z}_{\text{эк}}$, изготовления $\mathcal{Z}_{\text{изг}}$, а также зависимостями от других элементов $\mathcal{Z}_\theta$ РИ:

$$\mathcal{Z}_{\text{min}} = \max \{ \mathcal{Z}_{p \text{ min}}; \mathcal{Z}_{\phi \text{ min}}; \mathcal{Z}_{\text{эк} \text{ min}}; \mathcal{Z}_{\text{изг} \text{ min}}; \mathcal{Z}_{\theta \text{ min}} \}. \quad (2.45)$$

Максимальное значение $\mathcal{Z}_{\text{max}}$ находится как минимальное из всех максимальных значений $\mathcal{Z}$, определяемых теми же условиями:

$$\mathcal{Z}_{\text{max}} = \min \{ \mathcal{Z}_{p \text{ max}}; \mathcal{Z}_{\phi \text{ max}}; \mathcal{Z}_{\text{эк} \text{ max}}; \mathcal{Z}_{\text{изг} \text{ max}}; \mathcal{Z}_{\theta \text{ max}} \}. \quad (2.46)$$

Значения $\mathcal{Z}_{p \text{ min}} \dots \mathcal{Z}_{\text{изг} \text{ min}}_{\text{(max)}}$ определяются на основании опытных данных, дополняемых при необходимости расчетами. Значе-

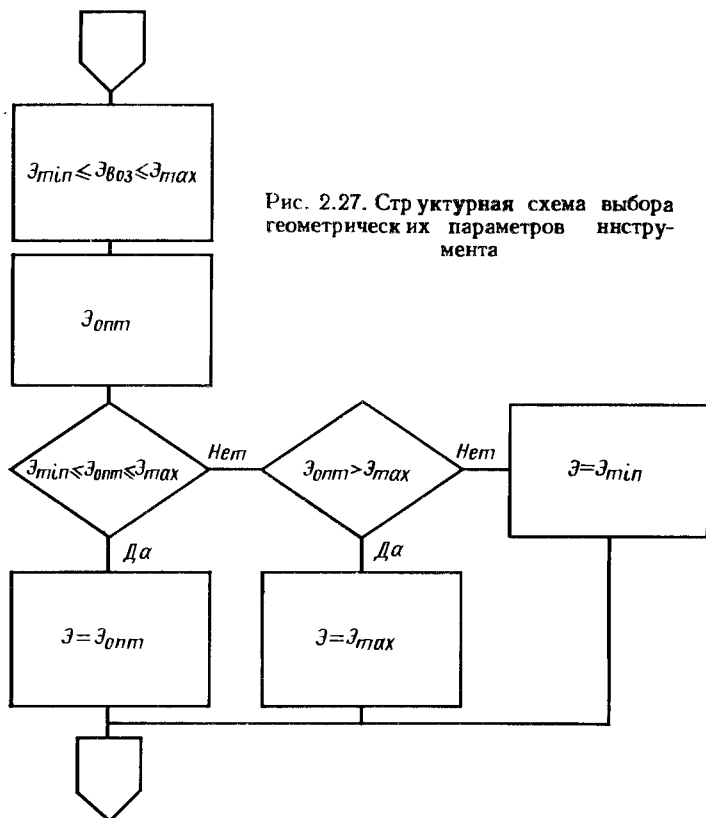


Рис. 2.27. Структурная схема выбора геометрических параметров инструмента

ние $\mathcal{E}_{\min}^{(\max)}$ определяется в основном расчетным путем с использованием уравнений (2.19)—(2.44).

$$\text{Если } \mathcal{E}_{\max} \geq \mathcal{E}_{\min}, \text{ то } \mathcal{E}_{\min} \leq \mathcal{E}_{\text{воз}} \leq \mathcal{E}_{\max}. \quad (2.47)$$

В противном случае диапазон $\mathcal{E}_{\text{воз}}$ отсутствует, т. е. не существует значения $\mathcal{E}$, которое одновременно удовлетворяло бы всем заданным условиям. В этом случае необходимо менять исходные данные или конструкцию инструмента.

Оптимальные значения геометрических параметров в зависимости от вида инструмента и конкретных требований могут назначаться по различным критериям — стойкости, точности, технологичности и т. д. — на основании опытных данных и имеющихся рекомендаций с использованием таблиц соответствий, дополняемых расчетами. В большинстве случаев $\mathcal{E}_{\text{опт}}$ лишь приблизительно отражает действительное оптимальное значение того или иного параметра, особенно по стойкости. Например, угол в плане φ_0 для резцов обычно принимается 30—60° в зависимости от жесткости СПИД, режимов и профиля детали; для спиральных сверл φ_0 принимают 59° (для обработки стали), для зенкеров и разверток 45—60°; передний угол γ_0 для большинства инструментов назначают в зависимости от обрабатываемого материала и т. д.

Окончательное значение параметра $\mathcal{E}$ в большинстве случаев можно установить так:

$$\left. \begin{array}{l} \text{если } \mathcal{E}_{\min} < \mathcal{E}_{\text{опт}} < \mathcal{E}_{\max}, \text{ то } \mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{опт}}; \\ \text{если } \mathcal{E}_{\text{опт}} > \mathcal{E}_{\max}, \text{ то } \mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max}, \text{ иначе } \mathcal{E} = \mathcal{E}_{\min}. \end{array} \right\} \quad (2.48)$$

Изложенная методика выбора геометрических параметров достаточно универсальна, но для различных РИ имеет свои особенности. Например, диапазон $\mathcal{E}_{\text{воз}}$ возможных значений заднего вершинного угла червячных многозаходных фрез должен определяться с учетом получающихся кинематических боковых задних углов (см. разд. 3), в то время как для резцов, зенкеров и ряда других РИ определения кинематических углов, как правило, не требуется.

Приведем в качестве примера выбор переднего угла долбяка для нарезания прямозубых цилиндрических колес. Модуль долбяка $m = 2,5$ мм; делительный диаметр 75 мм; максимально допустимая погрешность эвольвенты нарезаемых колес $f_f = 16$ мкм; задний вершинный угол $\alpha_0 = 9^\circ$. Материал колес—сталь 18ХГТ, НВ 207.

В соответствии с общей схемой (см. рис. 2.27) и зависимостями (2.45)—(2.48) γ_0 находят следующим образом.

Известно, что с увеличением γ_0 растут органические погрешности эвольвенты долбяка и соответственно нарезаемых колес [23]. Принимаем максимальную погрешность δ профиля долбяка $\delta = 0,5f_f$, что в большинстве случаев вполне допустимо, так как

погрешности профиля колес примерно на 60—80 % являются прямым результатом погрешностей профиля инструмента. Известно также, что для рассматриваемого долбяка ($m = 2,5$ мм) при $\alpha_c = 9^\circ$ при заданном значении δ максимальная величина угла $\gamma_{c \max} \simeq 0,673\delta$; при $\delta = 8$ мкм $\gamma_{c \max} \simeq 5,38^\circ$ (величина $\gamma_{c \max}$ здесь определена приближенно и несколько занижена). Таким образом, $\mathcal{E}_{\phi \max} = \gamma_{c \max} = 5,38^\circ$. Можно принять, что $\mathcal{E}_{\phi \min} \approx -5,38^\circ$.

По остальным условиям в соответствии с (2.45), (2.46) можно принять: а) по условиям работоспособности $\mathcal{E}_{p \max} \simeq 15^\circ$; $\mathcal{E}_{p \min} = 0$; б) по условиям эксплуатации (перетачивание внутренней конической поверхности долбяка цилиндрическим кругом): $\mathcal{E}_{\text{вн} \max} \simeq 25^\circ$; $\mathcal{E}_{\text{вн} \min}$ не ограничен; в) по условиям изготовления $\mathcal{E}$ не ограничен; г) по условиям зависимостей от других элементов $\mathcal{E}$ следует учитывать (2.42): $(\gamma_c + \alpha_c) \leq 90^\circ - \beta_c$, где β_c — минимально допустимый угол заострения долбяка; для данных условий (долбяк — из стали Р6М5, колесо — из стали 18ХГТ), из опыта эксплуатации долбяков, $\beta_c \simeq 65^\circ$; следовательно, $\mathcal{E}_{\theta \max} = \gamma_{c \max} = 90^\circ - (65^\circ + \alpha_c) = 16,0^\circ$; $\mathcal{E}_{\theta \min}$ не ограничен.

В соответствии с (2.45), (2.46) имеем:

$$\mathcal{E}_{\max} = \gamma_{c \max} = \min \{5,38^\circ; 15^\circ; 25^\circ; 16,0^\circ\} = 5,38^\circ;$$

$$\mathcal{E}_{\min} = \gamma_{c \min} = \max \{-5,38^\circ, 0\} = 0^\circ.$$

Возможные значения $\gamma_c = 0 \div 5,38^\circ$.

Оптимальное значение угла γ_c по стойкости приближенно находят так:

$$\gamma_{c \text{ опт}} \simeq \gamma_{\text{ом}} k_{\text{им}} k_m k_{\text{над}},$$

где $\gamma_{\text{ом}}$ — передний угол γ_c долбяка в зависимости от обрабатываемого материала (ОМ — см. прил. 1); $k_{\text{им}}$ — коэффициент, учитывающий марку инструментального материала (ИМ — см. в табл. 2.4); k_m — коэффициент, учитывающий размер зуба долбяка ($k_m = 1,0$ при $m \geq 1,5$ мм; $k_m = 0,75$ при $m < 1,5$ мм); $k_{\text{над}}$ — коэффициент, учитывающий требования к надежности инструмента ($k_{\text{над}} = 1,0$ при отсутствии особых требований; $k_{\text{над}} = 0,8$ при повышенных требованиях, например в условиях автоматизированного производства и др.).

Выбор угла $\gamma_{\text{ом}}$ для разных материалов детали приведен ниже.

ОМ	1	2	3	52	53	56	57	58	59	60	61	62	64
$\gamma_{\text{ом}}, ^\circ$	25	20	15	15	12	10	10	8	5	6	10	12	15

Значения $k_{\text{им}}$ в зависимости от инструментального материала даны ниже.

ИМ	13	14	16	17	18	20	21	29
$k_{\text{им}}$	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6

Для данных условий при ОМ 61 (см. прил. 1) $\gamma_{\text{ом}} = 10^\circ$; для Р6АМ5 (ИМ 16; табл. 2.4) $k_{\text{им}} = 1,0$; $k_{\text{иац}} = 1,0$; $k_m = 1,0$; $\gamma_{\text{с опт}} = 10^\circ \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 10^\circ$.

В соответствии с (2.48), так как $\gamma_{\text{с опт}} = 10^\circ > \gamma_{\text{с max}} = 5,38^\circ$, принимаем $\gamma_{\text{с}} = \gamma_{\text{с max}} = 5,38^\circ$. После округления окончательно принимаем $\gamma_{\text{с}} = 5^\circ$.

Примеры выбора геометрических параметров для других инструментов (зенкера, червячных фрез) приведены ниже (см. разд. 3).

2.4.2.5. Определение размеров рабочей части инструмента, числа и размеров зубьев и стружечных канавок (блоки 5—7)

Рабочую часть инструмента конструктивно можно оформить следующим образом: а) как одно целое с корпусной частью (цельный РИ); б) в виде режущей пластины с неразъемным соединением с корпусной (державочной) частью методами пайки, сварки (реже склеиванием) или с разъемным соединением (механическое крепление); в) в виде ножа или резцовой вставки, механически закрепленных в корпусе (державке).

При определении размеров рабочей части необходимо обеспечить: а) требуемые углы α , γ , ϕ , ϕ' , λ и др.; б) требуемое количество переточек; в) правильное стружкоотделение (ломание) и размещение стружки в стружечной канавке (для многозубого инструмента); г) необходимую прочность и жесткость.

Ввиду большого разнообразия типов РИ и условий их работы габаритные размеры рабочей части нельзя определять по единым расчетным зависимостям, и их расчет осуществляется в каждом конкретном случае по соответствующим формулам и рекомендациям. Можно рассмотреть лишь общие положения, которые конструктор должен учитывать при проектировании инструмента.

С точки зрения конструирования рабочей части режущий инструмент разбивается на три подгруппы в зависимости от принятого способа обеспечения требуемого количества переточек и сохранения при этом правильного формообразования обрабатываемой детали.

Инструмент 1-й подгруппы, у которого формообразование осуществляется вершиной резца. Специализация зубьев на черновые и чистовые (калибрующие) отсутствует, но каждый зуб имеет главную (непрофилирующую) и вспомогательную (профилирующую) кромки.

К этой подгруппе относятся все виды резцов (кроме фасонных) и многозубый инструмент — торцовые фрезы (головки), сверла, зенкеры, развертки, расточной инструмент.

У инструмента данной подгруппы обеспечивается необходимое число переточек в пределах каждого зуба (резца) за счет соответствующего увеличения его размеров по отношению к размерам в предельно сточенном состоянии.

Перетачивание рабочей части инструмента осуществляется в зависимости от вида износа (по передней, задней поверхностям или одновременно по обеим). В результате изменяется ее расположение относительно корпусной (державочной) части. Положение вершины зуба (резца) перемещается вдоль линии перетачивания. Трем видам износа соответствуют три схемы переточек. Желательно при конструировании рабочей части режущую пластину располагать вдоль линии переточек. Это обеспечивает рациональное использование инструментального материала, т. е. максимально возможное число переточек.

У размерного инструмента этой группы после переточки изменяется наружный диаметр, что допустимо лишь в пределах, определяемых допусками на обрабатываемую деталь. В случае цельного (нерегулируемого) инструмента, после определенного числа переточек инструмент списывают или отправляют на восстановление. Для увеличения срока службы в этом случае целесообразно вводить в конструкцию механизм регулирования размеров рабочей части инструмента.

У нерегулируемого инструмента этой подгруппы с целью сохранения наружного диаметра переточка осуществляется по главным задним поверхностям. В результате формообразующие «точки» перемещаются вдоль вспомогательных режущих кромок. Последние и определяют скорость уменьшения диаметра, что заставляет конструкторов выбирать ϕ_1 предельно малым из расчета требуемого числа переточек и обеспечения снижения трения между инструментом и обработанной поверхностью.

Размеры предельно сточенного зуба (резца, пластинки) определяются его прочностью. Размеры зубьев (резцов) нового инструмента определяются схемой переточки, числом переточек и величиной съема металла с задней и передней поверхностей за одну переточку.

Для инструмента 2-й подгруппы формообразование осуществляется режущими кромками, расположенными на производящей поверхности. Специализация зубьев на черновые и чистовые (калибрующие) отсутствует. Режущие кромки зубьев вначале выполняют роль черновых, а затем чистовых. Эти функции у зубьев совмещены.

К этой подгруппе относятся фасонные резцы и фрезы, а также инструмент, работающий по методу обкатки (фасонные резцы, работающие по методу обкатки; гребенки; долбяки; червячные фрезы). Этот инструмент, как правило, сложный и точный. Слой, предназначенный для переточки, располагается на передней поверхности (переточка осуществляется по передней поверхности). Для сохранения условий правильного формообразования необходимо, чтобы задние поверхности зубьев удовлетворяли определенным условиям. Отсюда возникла необходимость теоретических исследований по расчету требуемых задних поверхностей (в том числе с учетом их технологичности) и по профилированию инстру-

мента 2-го порядка (затыловочные резцы и шлифовальные круги), предназначенного для образования этих поверхностей.

В 3-й подгруппе инструментов рабочая часть состоит из специализированных зубьев (имеются черновые и чистовые (калибрующие) зубья). К данной подгруппе относятся резбовые гребенки, метчики, плашки и протяжки.

Специализация зубьев обеспечивает определенное (заданное) число переточек без изменения расположения калибрующих зубьев, что гарантирует правильное формообразование поверхности детали. Перетачивание инструмента осуществляется таким образом, чтобы изменение размеров черновых зубьев не отражалось на формообразовании, т. е. оставшиеся калибрующие зубья продолжают располагаться на производящей поверхности. Часть же калибрующих зубьев переходит в разряд черновых, благодаря чему и компенсируются возникающие изменения размеров режущей части в связи с переточкой.

После использования всех калибрующих зубьев инструмент списывается или отправляется на восстановление. Иногда в конструкцию вводится механизм регулирования для восстановления размеров калибрующих зубьев.

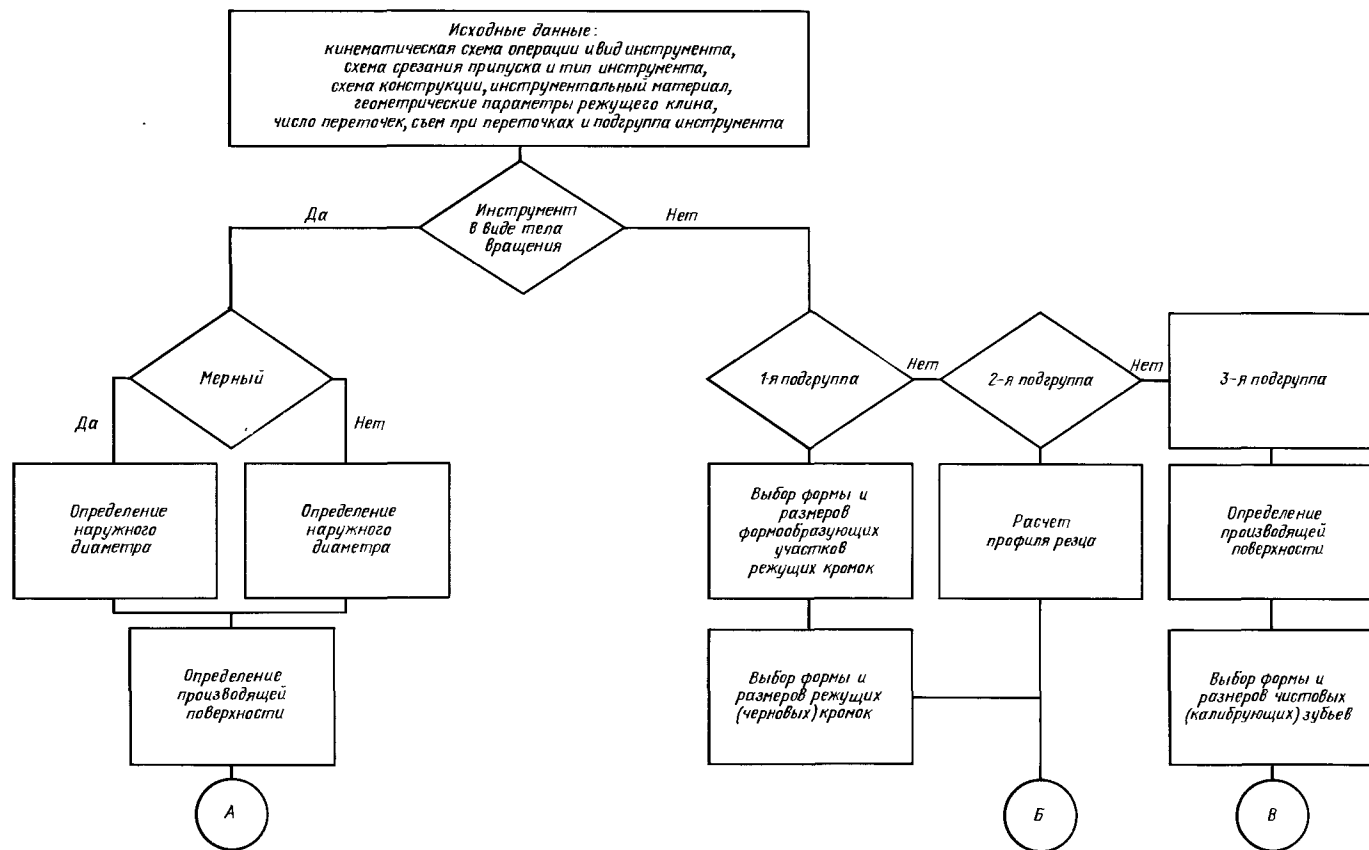
При определении габаритных размеров инструментов этой подгруппы длины режущей и калибрующей частей увеличены по сравнению с инструментом предшествующих подгрупп и зависят от принятого числа зубьев. Определение размеров рабочей части инструмента зависит от формы рабочей части — в виде тела вращения или в виде призматического тела; способа обеспечения заданного числа переточек; наличия или отсутствия механизма регулирования наружного диаметра инструмента 2-й подгруппы (рис. 2.28).

Определение размеров рабочей части инструмента начинается с расчета размеров производящей поверхности (см. п. 2.2.1), т. е. с размеров калибрующей (чистовой) части. В связи с этим инструменты в виде тел вращения подразделяют на мерные и немерные.

Для мерных инструментов наружный диаметр рабочей части определяется размерами обрабатываемой поверхности. Для немерных инструментов определение наружного диаметра представляет более сложную задачу — нахождение оптимального размера при наличии целого ряда ограничений.

После выбора наружного диаметра рабочей части инструмента определяют форму и размеры производящей поверхности на основе теории профилирования (см. п. 2.2.2). Далее следует выбор формы и размеров калибрующих (чистовых) элементов рабочей части: калибрующих (вспомогательных*) режущих кромок для инструментов 1-й подгруппы и зубьев для инструментов 2-й и 3-й подгрупп.

* При точечном формообразовании калибрующей кромкой является участок главной и вспомогательной кромок, участвующий в образовании остаточного гребешка.



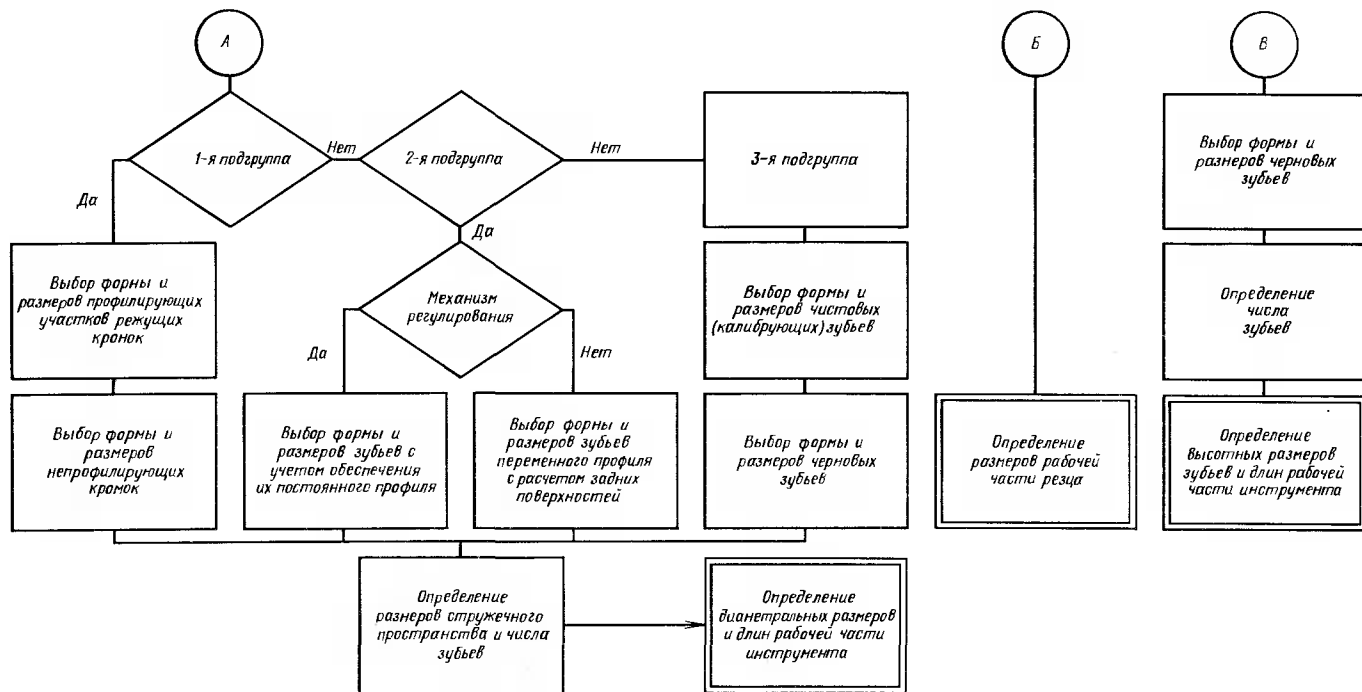


Рис. 2.28. Последовательность определения параметров и характеристик рабочей части инструмента

Следует учесть, что для многозубого инструмента 2-й подгруппы, у которого зубья выполняют роль черновых и чистовых, выбор их параметров усложняется. Однако главным условием все же остается обеспечение правильного формообразования и качества обработанной поверхности детали.

В процессе выполнения этого пункта расчета решается задача обеспечения необходимого числа переточек инструмента 1-й и 2-й подгрупп при соблюдении условий формообразования. Поэтому возникает необходимость введения механизма регулирования размеров рабочей части инструмента. Для нерегулируемых конструкций 2-й подгруппы необходимо рассчитывать форму и размеры задних поверхностей исходя из получения после переточки режущей кромки на новой производящей поверхности, приемлемой для правильного процесса формообразования.

После определения размеров калибрующей части необходимо перейти к определению размеров *режущей* (черновой) части для инструмента 3-й подгруппы. Исходными данными являются принятая схема срезания припуска и ее параметры. Далее можно определить остальные габаритные размеры рабочей части инструмента этой подгруппы.

Определение наружного диаметра мерного инструмента. Для инструмента, обрабатывающего отверстия, наружный диаметр режущей части определяется следующим образом. Для нового инструмента номинальное значение наружного диаметра равно номинальному значению диаметра обрабатываемого отверстия $D_n = D_0$. Верхнее отклонение наружного диаметра $[BO] = \Delta - p'_{\max}$. Нижнее отклонение $[HO] = \Delta - p'_{\max} - N - I = p'_{\min}$, где Δ — допуск на обрабатываемое отверстие; N — допуск на изготовление инструмента; I — допуск на износ инструмента; $p_{\max}$, $p'_{\min}$ — соответственно максимальная и минимальная величина разбивки отверстия.

Диаметр предельно изношенного инструмента $D_{n \min} = D_0 - p'_{\min}$.

Аналогично определяются размеры и допуски на диаметральные размеры калибрующей части метчика. При назначении допуска на внутренний диаметр D_1 учитывается, что он не должен принимать участия в работе. Поэтому верхнее отклонение можно было бы расположить по номиналу. Однако для стандартных метчиков дано некоторое его превышение над номиналом с целью получения большей гарантии, что заусенцы после сверла будут срезаны и резьбовой калибр свободно сможет войти в отверстие гайки. Это превышение установлено одинаковым для метчиков всех степеней точности и равно приблизительно половине зазора между профилями резьбы болта и гайки или $D_{10} = d_1 + 0,55P_x$, где D_{10} — наибольший внутренний диаметр резьбы метчика; d_1 — номинальный внутренний диаметр резьбы; P_x — шаг резьбы.

При расчете круглой протяжки для обработки отверстия принято за номинальное значение диаметра калибрующих зубьев

принимать не номинальное значение диаметра отверстия, а его верхнее значение (наибольшее с учетом разбивки при протягивании). В этом случае наружный диаметр круглой протяжки, равный диаметру калибрующих зубьев, определяется так: $d_n = d_{\max} - p'$, где p' — величина разбивки отверстия при протягивании.

Определение наружного диаметра немерного инструмента. Для немерного инструмента имеются определенные ограничения при выборе наружного диаметра D . В частности, такие ограничения могут быть связаны со станком, обрабатываемой деталью, выполняемой операцией, числом переточек и т. д. Несмотря на это, задача выбора D ограничена определенными значениями.

У цилиндрических и торцовых фрез изменение наружного диаметра не влияет на изменение процесса формообразования. Восстановление параметров установки инструмента осуществляется с помощью механизмов станка.

Для цилиндрических фрез наружный диаметр выбирается с учетом прочности и жесткости инструмента и оправки (для насадного инструмента). В этом случае $D = d + 2(m + H_*)$, где D — наружный диаметр; d — диаметр посадочного отверстия; m — толщина тела (корпуса); H_* — высота зуба.

Размеры d и m определяются из условия прочности и жесткости оправки и инструмента; H_* — из условия прочности и обеспечения необходимого числа переточек зуба. Расчет наружного диаметра для фрез с зубьями четырех типовых форм дан в работе [12].

При выборе наружного диаметра торцовых фрез пользуются зависимостью $D = (1,4 \div 1,8) B$, где B — ширина фрезерования.

В случае ограничений по мощности и жесткости фрезерного станка определяют значение P_z и N_z по соответствующим формулам из теории резания металлов [21] или с помощью соответствующих практических рекомендаций. Диаметры торцовых фрез в зависимости от мощности электродвигателя станка приведены ниже.

Мощность, кВт	До 3,5	3,5—5,5	5,5—7,5	7,5—12
Диаметр торцовых фрез, мм	100	160	200	250—315

Иногда бывает выгоднее нарушить последнюю зависимость, применив фрезу меньшего диаметра (при заданном B), и вести обработку в несколько проходов по ширине. Экономическую целесообразность этого варианта обработки необходимо проверять по следующей формуле:

$$\Delta T = \frac{M^{1,25} (0,2MD_1 + L) - M (0,5D_1 - L)}{S_1} - \frac{0,5D_1M + B [1 + (1/M)]}{S_x},$$

где ΔT — разница в продолжительности обработки сравниваемых фрез; $M = D/D_1$ — отношение диаметра фрезы, обрабатывающей изделие за один проход, к диаметру фрезы, обрабатывающей за несколько проходов; B — ширина детали, мм; L — длина детали,

S_1 — минутная подача при работе фрезой меньшего диаметра; S_x — минутная подача холостого хода. Если $\Delta T \geq 0$, предпочтение отдается фрезе меньшего диаметра.

При назначении номинального делительного диаметра зуборезных долбяков и дисковых шеверов этот диаметр выбирают как можно большим.

Долбяк большего диаметра (делительного, а следовательно, и наружного) обеспечивает получение увеличенных высот эвольвентных участков профиля зуба нарезаемого колеса и позволяет брать большую коррекцию, т. е. большее число переточек. При этом качество обработанной поверхности улучшается.

Шевер дисковый большого делительного диаметра также имеет преимущества: обеспечивает требуемую высоту рабочих участков зубьев обрабатываемых колес, уменьшает передаточное число между шевером и колесом, что приводит к уменьшению разницы скорости резания на выступах и впадинах зуба шевера и выравниванию износа лезвий.

Однако следует учесть, что наибольшие значения делительных диаметров долбяков и шеверов могут ограничиваться станком, а также условиями их изготовления. Например, числа зубьев долбяка из условия шлифования (потери размеров корундового круга вследствие его осыпания) не должны превышать при $m = 0,1 \div 0,9$ мм — 120 зубьев, при $m = 1 \div 12$ мм — 76 зубьев.

Для долбяков, обрабатывающих колеса внутреннего зацепления, дополнительно имеются ограничения на выбор чисел зубьев из условий отсутствия среза головки и ножки зубьев колеса.

Определение числа зубьев инструмента. Выбор числа зубьев инструмента зависит от ряда факторов: 1) диаметра инструмента; 2) объема стружечных канавок; 3) размеров деталей механизма крепления и регулирования (для сборных конструкций); 4) ограничивающих условий, накладываемых на процесс резания: постоянства суммарного сечения среза, ограничения по усилию резания и мощности и др.

В настоящее время задача по обоснованию выбора количества зубьев, как комплексная вариационная задача, не может быть решена до конца, так как многие зависимости отсутствуют. Однако частично эти зависимости экспериментально найдены, а для таких инструментов, как зуборезные долбяки и дисковые шеверы, число зубьев определяется, при знании номинального делительного диаметра, математически.

В связи с указанным инструмент с точки зрения определения числа зубьев можно разбить на три группы: а) инструмент, для которого число зубьев выбирается по практическим рекомендациям (зенкеры, развертки, метчики и плашки); б) инструмент, для которого число зубьев определяется по эмпирическим формулам (разнообразные фрезы, в том числе зуборезные); в) инструмент, для которого число зубьев рассчитывается (протяжки, долбяки, шеверы).

2.10. Число зубьев метчиков

Обрабатываемый материал	Диаметр метчиков, мм					
	2—6	8—14	16—20	22—24	27—36	39—52
Черные металлы	2—3	3	3	3—4	4	4—6
Легкие сплавы	2	2—3	3	3—4	4	4—6

Метчики гаечные, машинные и ручные имеют число зубьев согласно данным табл. 2.10.

Для торцовых фрез сборной конструкции рекомендуется число зубьев определять по эмпирическим зависимостям, которые учитывают расположение и размеры ножей, механизмов крепления и регулирования. Эти зависимости имеют вид: при обработке стали для $D \leq 200$ мм $z = (0,04 \div 0,06) D$; для $D > 200$ мм $z = (0,04 \div 0,06) D + 2$; при обработке чугуна $z = (0,08 \div 0,10) D$.

Часто бывает так, что фрезы с указанными выше зубьями не могут быть использованы из-за недопустимых значений усилий резания или мощности. В этом случае, как следует из теории резания металлов, выгоднее снижать скорость резания, а не число зубьев фрезы.

В том случае, когда по каким-либо причинам нельзя уменьшить скорость резания, уменьшают число зубьев до значений, определяемых по формуле

$$z = \frac{10^4 N_s \eta}{1,15 N_{уд} s_z t B n},$$

где N_s — полная мощность электродвигателя станка, Вт; η — КПД главного привода; $N_{уд}$ — удельная эффективная мощность, Вт.

При назначении числа зубьев необходимо стремиться к удовлетворению условия равномерности фрезерования. Для этого при торцовом фрезеровании необходимо, чтобы в работе находилось не менее двух зубьев, т. е. чтобы удовлетворялось неравенство $B \geq D \sin(2\pi/z)$.

При $D/B = 1,4 \div 1,6$ неравенство имеет вид

$$z \geq \frac{2\pi}{\arcsin(0,6 \div 0,7)} = 8 \div 10.$$

Фрезы фасонные затылованные со шлифованным зубом имеют число зубьев, которое зависит не только от прочности зуба, возможности осуществления его шлифования, но и от высоты профиля детали.

Для обеспечения прочности зуба и возможности получения достаточного количества переточек принимают, что толщина зуба должна составлять 0,8—1,0 его высоты. С увеличением размеров

профиля высота зуба возрастает значительно быстрее, чем диаметр, поэтому для обеспечения достаточной прочности зуба приходится уменьшать число зубьев фрезы z .

Рекомендуется число зубьев определять по формуле

$$z = 0,967r_1/h_n^{0,452},$$

где $r_1 = 0,85d$ — радиус окружности впадин стружечных канавок; h_n — высота профиля; d — диаметр отверстия (оправки) фрезы.

Полученное число зубьев фрезы необходимо проверить с точки зрения обеспечения равномерности фрезерования:

$$z = 480p/\arccos [(D - 2t)/D],$$

где p — количество одновременно работающих зубьев; D — диаметр фасонной фрезы; t — глубина фрезерования.

Проверка проводится также на наибольшее число зубьев фрезы, допустимое по размещаемости стружки в стружечной канавке:

$$z_{\max} = 0,2D/(t_{\max}^{0,5}S_z^{0,5}).$$

Выбор числа зубьев для других инструментов приведен также в [12].

Задние поверхности зубьев для инструментов с неизменным профилем после его переточки (рис. 2.29, табл. 2.11). Ф а с о н н ы е р е з ц ы. Выполнение неизменности условий формообразования, а следовательно, неизменности профиля инструмента после его переточки легкоосуществимо. Все фасонные резцы (винтовые, дисковые и призматические) могут быть изготовлены с задними поверхностями, удовлетворяющими этому условию. В общем случае такими поверхностями могут быть поверхности с постоянной образующей и направляющей разнообразного вида. Однако для простоты изготовления инструмента в качестве последних берут винтовую линию, окружность или прямую. В результате у дисковых резцов задней поверхностью является цилиндрическая винтовая поверхность или поверхность вращения (частный случай — плоскость).

2. Реечный инструмент, работающий по методу огибания, имеет профиль, соответствующий профилю инструментальной рейки (при $\gamma = 0$ эти профили совпадают). Следовательно, реечный инструмент должен иметь задние поверхности, удовлетворяющие условию неизменности профиля. С точки зрения удовлетворения этого требования и других (наличие требуемых углов и технологичность задней поверхности) в качестве задних поверхностей принимают цилиндрическую поверхность. Для прямолинейного профиля рейки цилиндрическая поверхность вырождается в плоскость.

3. Фасонные дисковые фрезы для цилиндрических поверхностей. Этот инструмент после переточки имеет уменьшающийся наружный диаметр (D — пере-

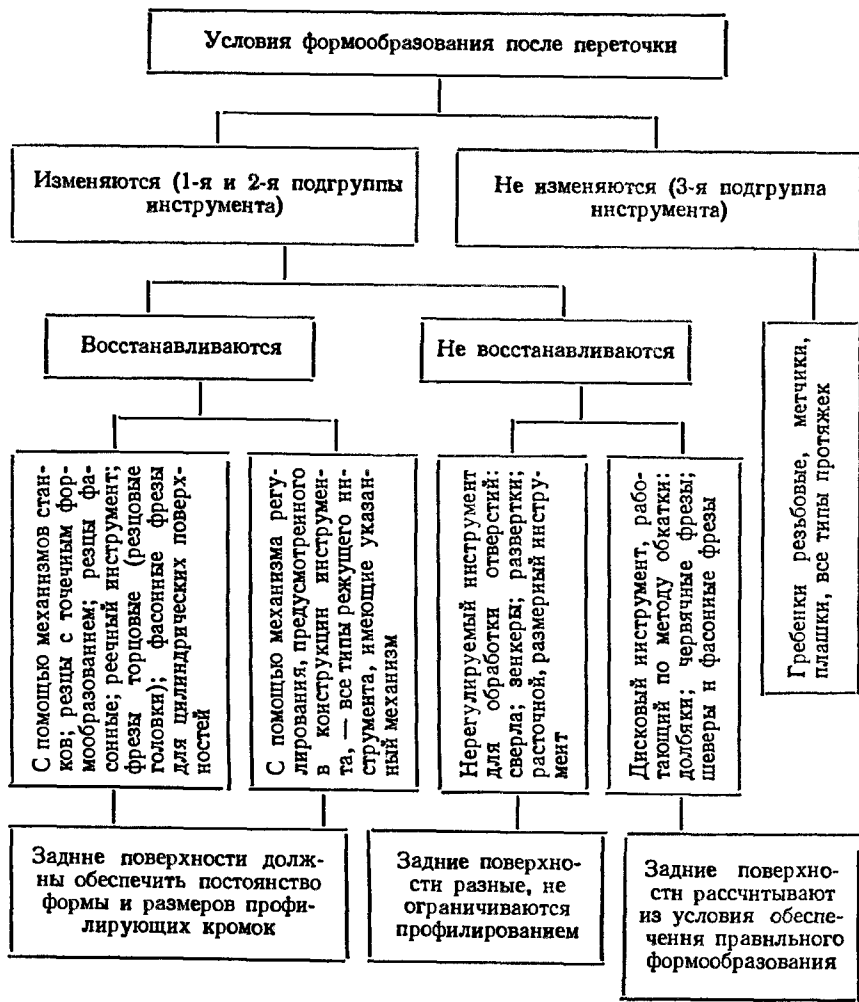


Рис. 2.29. Классификация режущих инструментов по виду задних поверхностей

менный). Обеспечить требуемую поверхность обрабатываемой детали в данном случае можно при неизменном профиле фасонной фрезы, соблюдая следующее условие: в момент формообразования фреза должна иметь профиль, совпадающий с профилем обрабатываемой поверхности. Указанное условие соблюдается при наличии у затылованной фрезы переднего угла $\gamma = 0$.

Фрезы с затылованными нешлифованными зубьями при $\gamma \neq 0$. Рассмотрим случай затылования резцом фасонной фрезы, имеющей $\gamma \neq 0$, способом, показанным на рис. 2.30.

Надо найти такую кривую затылования $\rho = \rho(\theta)$, при которой обеспечивается постоянство профиля производящей поверхности (тела вращения) с переточкой фрезы. Это условие математически записывается следующим образом (рис. 2.31):

$$\rho = \rho_1 (\theta + \theta_v) + h, \quad (2.49)$$

где

$$\theta_v = \eta - \varphi, \quad (2.50)$$

$$\sin \eta = \rho(\theta) \sin \varphi / (\rho(\theta) - h). \quad (2.51)$$

Если (2.51) преобразовать, то получим

$$\sin \eta = \sin \varphi / \left(1 - \frac{h}{\rho(\theta)} \right). \quad (2.52)$$

Из (2.52) вытекает, что с переточкой фрезы, т. е. при уменьшении $\rho(\theta)$, значение η увеличивается. Соответственно из (2.50) следует, что увеличивается и значение θ_v . При этом высота профиля в передней плоскости будет переменной. Из рис. 2.31 видно, что

$$AB = \rho \cos \varphi - (\rho - h) \cos \eta. \quad (2.53)$$

При уменьшении ρ увеличивается η и уменьшается $\cos \eta$, и, что очевидно, высота профиля фрезы при переточке увеличивается. В связи с этим нельзя осуществлять затылование зуба фрезы резцом при совпадении его передней грани с передней поверхностью фрезы (см. рис. 2.30) и получить выполнение условия (2.49).

В частном случае, когда $\varphi = 0$, из (2.51) вытекает, что $\eta = 0$, а следовательно, из (2.53) получают, что высота профиля фрезы с переточками будет величиной постоянной: $AB = h = \text{const}$, и условие (2.49) будет удовлетворяться: $\rho - \rho_1 = h$.

Фрезы со шлифованными затылованными зубьями имеют задние поверхности в виде огибающей семейства производящих поверхностей шлифовального круга.

Условие неизменяемости профиля переточенного инструмента (условие конгруентности профиля), или, иначе говоря, независимость характеристики от параметра затыловочных движений (угла поворота фрезы в процессе затылования), соблюдается в частных случаях: при винтовом цилиндрическом затыловании и круговом затыловании.

При винтовом коническом и плоскокриволинейном затыловании принципиально нельзя получить затылованную поверхность, обеспечивающую неизменность профиля фрезы при ее переточках.

Расчет погрешностей профиля червячных фрез, затылованных дисковым кругом, при их стачивании приведен ниже (см. п. 3.3). Он может быть использован также и для дисковых шлифованных затылованных фрез, если принять параметры $a = kz_n/2\pi$, $p = 0$ где k — величина затылования; z_n — число зубьев фрезы.

4. Регулируемый сборный инструмент. Для инструментов, у которых межосевое расстояние в процессе работы

$M \neq \infty$ (дисковых и червячных), для сохранения условий формообразования необходимо выполнять условие $M = \text{const}$. Однако обеспечить для этого постоянство наружного диаметра после переточки цельного инструмента не удается. Необходимо применять сборные регулируемые конструкции.

Регулируемые фасонные фрезы, работающие как по методу копирования, так и по методу огибания, упрощают технологию изготовления задних поверхностей инструмента и повышают точность профилирования, так как устраняются органические погрешности профилирования, связанные с переточкой инструмента.

Размеры режущих зубьев и стружечных канавок влияют на нормальную работу любого режущего инструмента, особенно в современных условиях, когда все более интенсифицируется процесс обработки металлов резанием и когда в единицу времени инструмент снимает все большие объемы металла. Несоответствие стружечного пространства объему снимаемой стружки приводит к плохой работе инструмента, а часто и к его поломке.

Форму и размеры зуба и стружечной канавки определяют исходя из условия прочности зуба; необходимости получения стружечного пространства, обеспечивающего свободное размещение стружки; достаточного количества переточек; технологичности изготовления; условия получения минимального количества типоразмеров инструмента 2-го порядка. Подробнее см. в [12].

2.4.2.6. Определение размеров механизма крепления режущей части (блок 8)

Назначение механизма крепления — обеспечение надежного контакта закрепляемого элемента (пластины, ножа) с корпусной (державочной) частью инструмента.

Требования к механизму крепления: обеспечение правильного и неизменного расположения режущего (закрепляемого) элемента относительно баз в процессе работы инструмента; минимальные усилия крепления; отсутствие деформации опорных поверхностей; удобство закрепления и открепления; технологичность элементов механизма.

В общем случае различают три вида крепления: 1) отсутствие механизма — крепление с помощью сил резания; 2) совмещение элементов механизма крепления с закрепляемым элементом в единое целое; 3) с помощью специального механизма.

В первом случае необходимо обеспечивать такое расположение режущего элемента и баз, при котором возникающие силы резания и силы реакции удовлетворяют условиям равновесия.

Во втором случае необходимо, чтобы режущий элемент удовлетворял не только требованиям, предъявляемым к режущей части, но и к крепежной. В результате используются ножи клиновой формы.

2.12. Варианты исполнений механизма крепления режущей части инструмента

Крепящий элемент			Промежуточный элемент									
			00	10	20	30			40	50	60	70
			Отсут- ствуют	Упругая стенка корпуса	Наклад- ка (при- хват, шайба)	31	32	33	Рычаг	Тяга	Шарик	Другие
						Клины (несамотормозящий):						
						плоский	цилинд- риче- ский	кониче- ский				
10	Клин	11. Плоский	11—00	11—10	11—20	11—31	11—32	11—33	11—40	11—50	11—60	11—70
		12. Цилиндр	12—00	12—10	12—20	12—31	12—32	12—33	12—40	12—50	12—60	12—70
		13. Конический	13—00	13—10	13—20	13—31	13—32	13—33	13—40	13—50	13—60	13—70
20	Винт	21. Обычный	21—00	21—10	21—20	21—31	21—32	21—33	21—40	21—50	21—60	21—70
		22. Специальный	22—00	22—10	22—20	22—31	22—32	22—33	22—40	22—50	22—60	22—70
		23. Дифферен- циальный	23—00	23—10	23—20	23—31	23—32	23—33	23—40	23—50	23—60	23—70
30	Эксцен- трик (кула- чок)	31. Плоский	31—00	31—10	31—20	31—31	31—32	31—33	31—40	31—50	31—60	31—70
		32. ...	32—00	32—10	32—20	32—31	32—32	32—30	32—40	32—50	32—60	32—70
		33. ...	33—00	33—10	33—20	33—31	33—32	33—33	33—40	33—50	33—60	33—70
40	Пружи- на	41. Плоская	41—00	41—10	41—20	41—31	41—32	41—33	41—40	41—50	41—60	41—70
		42. Винтовая	42—00	42—10	42—20	42—31	42—32	42—33	42—40	42—50	42—60	42—70
		43. Упругая стенка	43—00	43—10	43—20	43—31	43—32	43—33	43—40	43—50	43—60	43—70
50	Другие		50—00	50—10	50—20	50—31	50—32	50—33	50—40	50—50	50—60	50—70

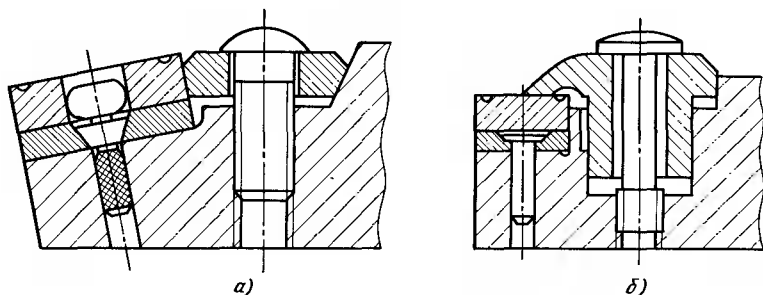


Рис. 2.32. Крепление твердосплавных пластин:
а — клином; *б* — прихватом сверху

В третьем случае используются самые разнообразные способы, различающиеся как схемами механизма крепления, так и использованием его элементов. Несмотря на разнообразие механизмов, они включают в себя два основных элемента: крепящий (самотормозящий) и промежуточный. Последний обеспечивает передачу и распределение сил на закрепляемом элементе.

Крепящие элементы: пружина; эксцентрик; винт (болт); клинья цилиндрические, конические плоские односторонние, плоские двусторонние.

Промежуточные элементы: рычаг (тяга); упругая стенка корпуса; накладка, подкладка; планка, в том числе клиновья, несамотормозящая.

Схема механизма крепления представляет собой различные варианты сочетаний указанных элементов с различным их пространственным расположением.

Типовые и наиболее часто используемые исполнения механизма крепления представлены в табл. 2.12. Примеры механизмов крепления приведены на рис. 2.32, *а* (код крепления 21—31, см. табл. 2.12) и на рис. 2.32, *б* (код крепления 22—20). Различные варианты исполнений имеют свою область наиболее эффективного использования в зависимости от режимов резания.

Последовательность конструирования: 1-й этап — определение схемы конструкции (в том числе установочных баз и способа закрепления и пространственной компоновки); 2-й этап — расчет конструкции [12].

2.4.2.7. Определение параметров механизма регулирования режущей части (блок 9)

Для обеспечения режущей способности, а также взаимозаменяемости инструмента (после его переточек и замены) он снабжается регулировочными устройствами (механизмом регулирования). Классификация механизмов регулирования размеров режущей части инструмента:

перемещающие элементы — винты, рифления, эксцентрики, зубчатые (шлицевые) венцы;

промежуточные элементы — клин, рифления, зубчатый венец или они отсутствуют.

Длины инструментов (резцов, концевых инструментов) обычно восстанавливаются с помощью винтов, имеющих опорную базовую поверхность. Для восстановления диаметральных размеров сборных фрез, зенкеров и разверток чаще всего используются ножи с рифлениями, расположенными параллельно или наклонно к оси инструмента. Для восстановления размеров инструмента вдоль ширины (пазовые и комплектные фрезы) используются прокладочные кольца (иногда регулируемые).

Размерный инструмент (зенкеры, развертки, расточной инструмент) можно предварительно грубо регулировать по диаметру с последующим получением точного диаметра с помощью заточки и доводки.

При обеспечении требуемых размеров инструмента с помощью механизма регулирования к последнему предъявляют повышенные требования. Настройка осуществляется вне станка с использованием специальных устройств (стендов) и измерительных средств.

Габаритные размеры элементов механизма регулирования определяются не из прочностных расчетов, так как они не должны нести нагрузки (за исключением случая совмещения элементов механизма регулирования с режущей частью или элементами ме-

2.13. Зависимости для расчета механизмов регулирования размеров режущего инструмента

Перемещающий элемент	Промежуточный элемент	Расчетная формула
Рифления	Отсутствует	$S_p = S_{\text{риф}}$, где S_p — перемещение режущего элемента; $S_{\text{риф}}$ — шаг рифления
Рифления	Клинья, совмещенные с режущей частью	$S_p = S_{\text{риф}} \operatorname{tg} \delta_2 / \operatorname{tg} \delta_1$, где δ_1 и δ_2 — угол продольного и поперечного клина соответственно
Винт обычный	Отсутствует	$S_p = S_v$, где S_v — шаг винта
Винт дифференциальный	Отсутствует	$S_p = S_{v1} - S_{v2}$
Винт обычный	Клин	$S_p = S_v \operatorname{tg} \delta$
Винт дифференциальный	То же	$S_p = (S_{v1} - S_{v2}) \operatorname{tg} \delta$
Эксцентрики	Отсутствует	$S_p = r + e - \sqrt{r^2 + 2re \cos \beta + e^2}$, где e — эксцентриситет; β — угол поворота эксцентрика; r — радиус эксцентрика

ханизма крепления), а из условий получения требуемых перемещений в процессе регулирования размеров рабочей части инструмента. Рифления, используемые для регулирования размеров ножей в корпусе инструмента, стандартизованы, имеют угол профиля 90° и шаги 0,75; 1,0 и 1,5 мм.

Регулировочные винты имеют различные размеры в зависимости от конкретной конструкции инструмента. Шаг резьбы регулировочного болта или гайки выбирается в зависимости от точности регулирования, и наиболее распространенным является 0,7; 1,0; 1,25 и 1,5 мм. Для микрометрической регулировки расточных резцов применяют резьбу с шагом 0,5 мм. При тяжелых нагрузках, а также когда наружный диаметр резьбы является посадочным, иногда применяют трапецидальную резьбу с шагом 2—4 мм.

При использовании дифференциального винта резьбы должны быть изготовлены с повышенной точностью.

Расчеты, используемые при проектировании механизма регулирования размеров, зависят от варианта исполнения этого механизма. В табл. 2.13 представлены расчетные формулы для наиболее часто встречающихся вариантов.

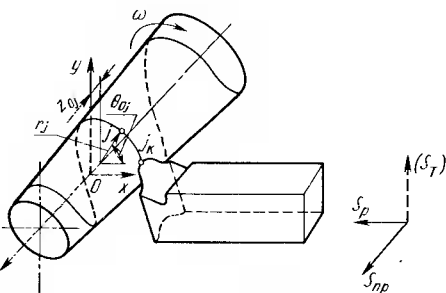
2.4.2.8. Профилирование РИ (блок 10)

Профилирование РИ осуществляется в блоке 10 СПРИ (см. рис. 1.1, с. 9). Необходимость решения задач профилирования, их сложность и общность зависят от вида инструмента и кинематики формообразования (см. выше разд. 2.2 и табл. 2.1). Для решения этих задач могут использоваться различные методы и разнообразный математический аппарат (см. табл. 2.2). Ниже приведены достаточно универсальные алгоритмы профилирования РИ для типичных случаев, когда производящая РИ является линией (фасонные резцы всех видов), поверхностью тела вращения (дисковые, чашечные, пальцевые круги, фрезы), винтовой поверхностью (червячные фрезы).

Профилирование фасонных резцов. Расчет профиля различных видов, типов и конструкций фасонных резцов может производиться по одному общему алгоритму, имеющему достаточно простой вид. Как указывалось выше, общность алгоритма расчета профиля определяется прежде всего кинематической схемой формообразования (см. табл. 2.2). Производящей линией у всех фасонных резцов является режущая кромка. По числу формообразующих движений достаточно общим случаем является обработка конической винтовой поверхности, при котором имеются движения вращения ω детали и движения подачи: $S_{пр}$ — продольной; S_p — радиальной (рис. 2.33). Для большей общности добавим еще движение тангенциальной подачи $S_{т-}$. Данной кинематической схемой охватываются, как частные случаи, следующие виды резцов: а) радиальные (рис. 2.34, рис. 2.35) и тангенциальные (рис. 2.36) для обработки поверхностей вращения; б) строгальные и долбежные

Рис. 2.33. Обобщенная кинематическая схема формообразования поверхности фасонным резцом

фасонные; в) резьбовые и для обработки червяков с различным профилем; г) затыловочные для дисковых фрез (см. рис. 2.30); д) затыловочные для червячных фрез любого профиля (рис. 2.37); е) для конических резб и червяков с любым профилем.



Алгоритм может быть также использован для резцов, различающихся по следующим признакам: а) по геометрическим параметрам — с углом $\lambda = 0$ или $\lambda \neq 0$ (см. рис. 2.36), с углом наклона $\sigma = 0$ или $\sigma \neq 0$ (см. рис. 2.37); б) по установке базовой точки 1 резца — на высоте линии центров, т. е. при $e = 0$, или выше линии центров, при $e \neq 0$ (см. рис. 2.34, 2.35, 2.30); в) по установке на станке — с разворотом на угол ϑ в горизонтальной плоскости xz (рис. 2.38), с разворотом на угол μ в вертикальной плоскости yz (рис. 2.39), без разворота при $\vartheta = \mu = 0$ (см. рис. 2.34, рис. 2.35).

Дисковый резец может иметь обычную кольцевую заднюю поверхность или винтовую с углом σ ее подъема на наружном цилиндре радиуса R_1 . Алгоритм учитывает и разное возможное конструктивное оформление резца — стержневого (см. рис. 2.33, рис. 2.37), призматического (см. рис. 2.35, рис. 2.36, рис. 2.38) или дискового (см. рис. 2.34).

Отметим основные особенности решаемой задачи профилирования в соответствии с принятой классификацией (см. табл. 2.2).

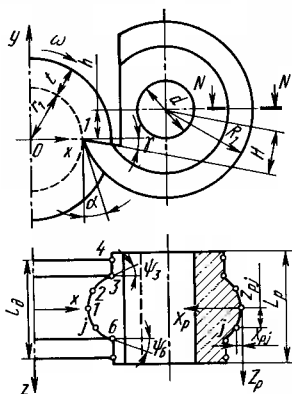


Рис. 2.34. Радиальный дисковый фасонный резец

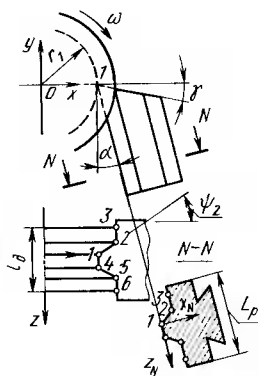


Рис. 2.35. Радиальный призматический фасонный резец

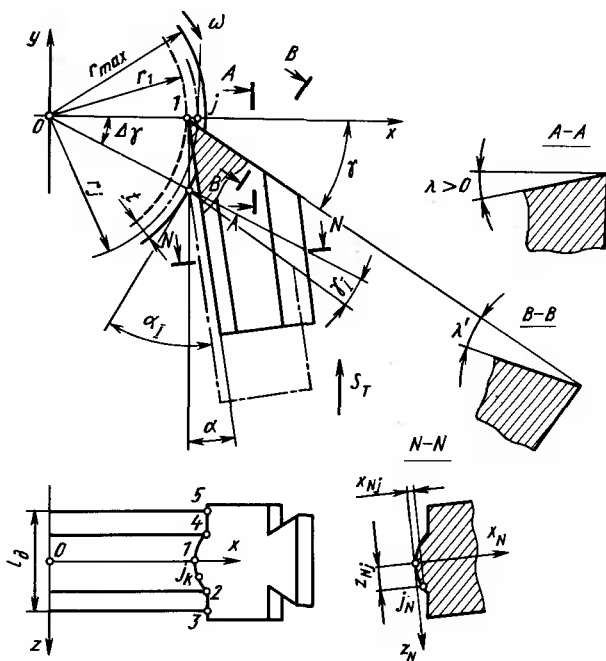


Рис. 2.36. Тангенциальный фасонный резец

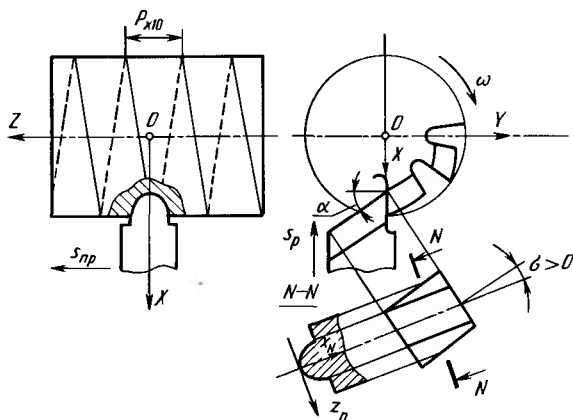


Рис. 2.37. Затыловочный резец

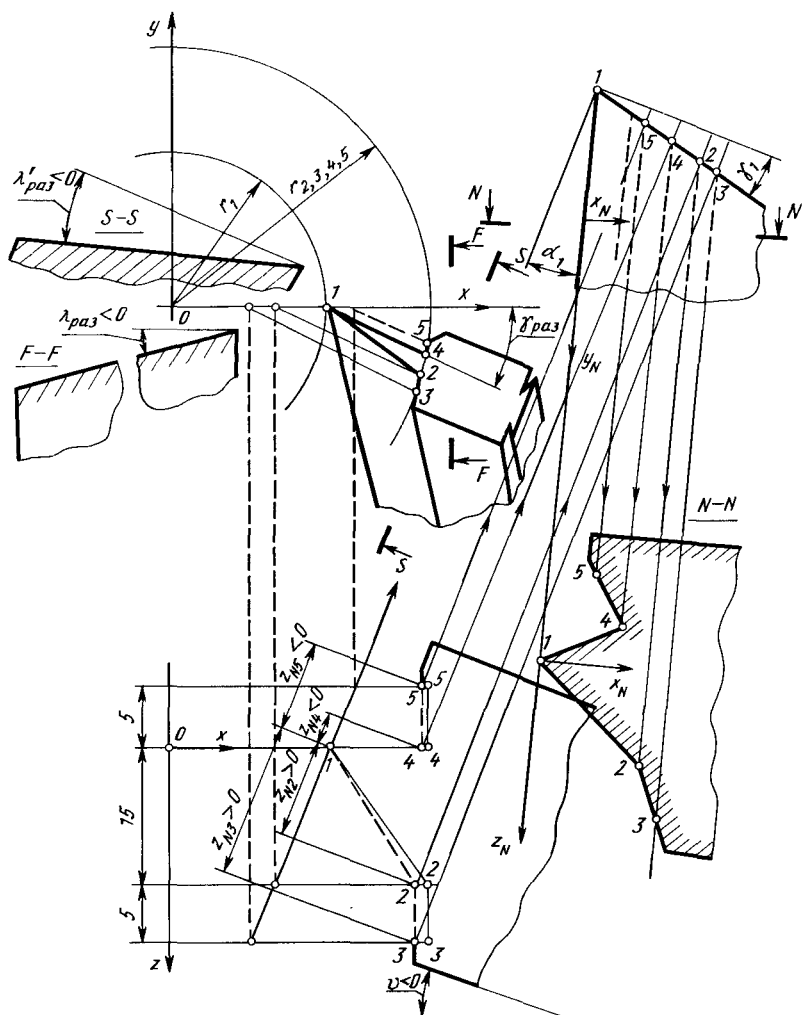


Рис. 2.38. Фасонный резец, развернутый на угол θ

При определении профиля резца решается прямая задача из условия отсутствия среза с точечным способом задания профиля и методом аналитической геометрии. Алгоритм предназначен для автоматизированного проектирования. Различные частные случаи, как более простые, получены из общего алгоритма и могут быть использованы для немашинного проектирования.

Заданный профиль детали в самом общем случае — пространственная кривая, каждая точка j которой в неподвижной системе x_0, y_0, z_0 имеет цилиндрические координаты r_j, θ_{0j}, z_{0j} в начальный

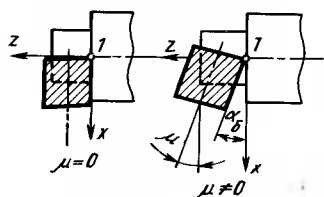


Рис. 2.39. Разворот реза на угол μ

момент (см. рис. 2.33 и рис. 2.40). Система координат xuz выбрана таким образом, что плоскость xu проходит через базовую точку 1 кромки реза, образующую соответственно точку 1 на профиле детали. Обычно за точку 1

принимается та из узловых точек 1, 2, 3, ..., j , которой соответствует наименьший радиус r профиля (см. рис. 2.34 — рис. 2.36, рис. 2.40).

Установка реза определяется так, чтобы его базовая точка 1 кромки имела координаты $x = z = 0$, $y = e$, где e либо равно нулю (при обычной установке), либо рассчитывается (см. рис. 2.34, рис. 2.35, рис. 2.38, рис. 2.40 и рис. 2.30). При обработке поверхностей вращения и винтовых всеми видами резцов точка 1 кромки удалена от оси z на расстояние r_1 в начальный момент движения формообразования.

Положение передней плоскости A_f реза определено тем, что она проходит через точку 1 кромки и наклонена под углом $\gamma_{\text{раз}}$ к оси Ox и под углом $\lambda_{\text{раз}}$ к оси Oz (см. рис. 2.40). Ось дисковых резцов устанавливается выше плоскости xz на величину h (см. рис. 2.34):

$$h = R_1 \sin(\alpha_1 + \xi) + e, \quad (2.54)$$

где α_1 — задний угол в торцевой плоскости реза в точке 1; $\xi = \arcsin(e/r_1)$. При $e = 0$ $\alpha_1 = \alpha$, $\gamma_1 = \gamma$.

Если резец имел до разворота на угол μ или θ углы наклона передней грани γ и λ (см. рис. 2.34, рис. 2.35), то после разворота

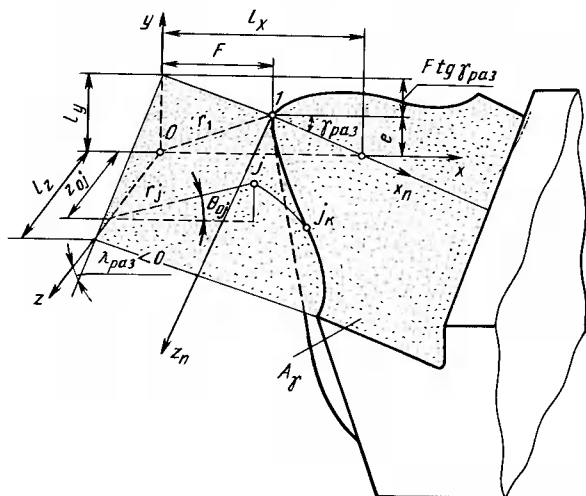


Рис. 2.40. Схема расчета профиля кромки

(см. рис. 2.38 — рис. 2.40) углы наклона $\gamma_{\text{раз}}$ и $\lambda_{\text{раз}}$ передней поверхности примут следующие значения (см. рис. 2.40):

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \gamma_{\text{раз}} &= u \cos \vartheta - \operatorname{tg} \xi \sin \vartheta; \\ \operatorname{tg} \lambda_{\text{раз}} &= u \sin \vartheta + \operatorname{tg} \xi \cos \vartheta,\end{aligned}\quad (2.55)$$

где $u = \operatorname{tg} \gamma \cos \lambda / \cos \xi$, $\xi = \lambda - \mu$.

Уравнение плоскости A_γ передней поверхности резца в системе xyz :

$$(x/l_x) + (y/l_y) + (z/l_z) - 1 = 0.$$

Учитывая, что $l_x = l_y \operatorname{ctg} \gamma_{\text{раз}}$, $l_y = e + F \operatorname{tg} \gamma_{\text{раз}}$, $l_z = -l_y \operatorname{ctg} \lambda_{\text{раз}}$, имеем:

$$Ax + By + Cz - D = 0, \quad (2.56)$$

где $A = \operatorname{tg} \gamma_{\text{раз}}$, $B = 1,0$, $C = \operatorname{tg} \lambda_{\text{раз}}$, $D = e + AF$, $F = \sqrt{r_1^2 - e^2}$.

Уравнения траектории $j - j_k$ (линии, описываемой точкой j) профиля детали относительно неподвижного резца (т. е. если все движения формообразования сообщить детали):

$$\begin{aligned}x_j &= r_j \cos(\theta_{0j} - \varphi_j) + a\varphi_j; \\ y_j &= r_j \sin(\theta_{0j} - \varphi_j) - q; \\ z_j &= z_{0j} - p\varphi_j.\end{aligned}\quad (2.57)$$

Здесь φ_j — угол поворота детали вокруг ее оси в движении ω (см. рис. 2.33); a, p — скорости движений соответственно S_p и $S_{\text{пр}}$, измеряемые в мм за время поворота детали на один радиан; q — перемещение точки j в движении $S_{\text{т}}$, принимаемое независимым от φ , так как для тангенциальных резцов можно считать, что скорость вращения ω бесконечно велика по отношению к скорости тангенциальной подачи $S_{\text{т}}$ (см. рис. 2.36) (для радиальных и прочих резцов, кроме тангенциальных, $q = 0$).

Любая точка j_k профиля кромки резца может быть найдена как точка пересечения траектории $j - j_k$ с плоскостью A_γ передней грани резца.

Решая совместно (2.56) и (2.57), найдем координаты точки j_k кромки из уравнения:

$$\begin{aligned}A[r_j \cos(\theta_{0j} - \varphi_j) + a\varphi_j] + r_j \sin(\theta_{0j} - \varphi_j) - q - \\ - C(z_{0j} - p\varphi_j) - D = 0.\end{aligned}\quad (2.58)$$

Если $q = 0$ (для всех видов резцов, кроме тангенциальных), то из (2.58) находят φ_j , а после подстановки его в (2.57) определяются координаты $x_j y_j z_j$ точки j_k профиля кромки.

Если $q \neq 0$ (для тангенциальных резцов при обработке поверхностей вращения), то $a = 0$, $p = 0$, $\varphi_j = 0$, и в этом случае

$$q = Ar_j - Cz_{0j} - D, \quad (2.59)$$

после чего из (2.57) определяются $x_j y_j z_j$ — координаты точки j_n кромки.

Профиль резца по передней поверхности, определяемый иногда для контроля шаблоном или на проекционных приборах (микро-скопе, проекторе), находится как координаты $x_n z_n$ для ряда точек j_n кромки (см. рис. 2.40):

$$\begin{aligned} x_{nj} &= (x_j - F) \cos(\operatorname{arctg} A) - (y_j - e) \sin(\operatorname{arctg} A); \\ z_{nj} &= (x_j - F) \sin(\operatorname{arctg} A) \sin \lambda' + (y_j - e) \cos(\operatorname{arctg} A) \sin \lambda' + \\ &\quad + z_j \cos \lambda', \end{aligned} \quad (2.60)$$

где $\lambda' = \operatorname{arctg} [C \cos(\operatorname{arctg} A)]$.

В большинстве случаев профиль резца на рабочем чертеже задается в сечении NN' , нормальном к его задней поверхности (см. рис. 2.34 — рис. 2.38).

Для дискового резца координаты профиля в сечении NN' обозначим как $X_{pj} Z_{pj}$:

$$X_{pj} = R_1 - R_j; \quad Z_{pj} = Z_j + (R_1 \operatorname{tg} \sigma) \theta_j, \quad (2.61)$$

где $R_j = \sqrt{X_j^2 + Y_j^2}$, $\operatorname{tg} \theta_j = Y_j / X_j$.

Для призматических и стержневых резцов координаты $x_{Nj} z_{Nj}$ точек профиля в сечении NN' :

$$x_{Nj} = -X_j \cos \alpha - Y_j \sin \alpha; \quad (2.62)$$

$$z_{Nj} = Z_j \cos \sigma + (Y_j \cos \alpha - X_j \sin \alpha) \sin \sigma.$$

В (2.62) и (2.63) X_j, Y_j, Z_j — координаты точки j_n в промежуточной переходной системе:

$$X_j = (F - x_j) \cos \vartheta + z_j \sin \vartheta + G, \quad (2.63)$$

$$Y_j = (F - x_j) \sin \vartheta \sin \mu - (y_j - e) \cos \mu - z_j \sin \mu \cos \vartheta + h - e;$$

$$Z_j = z_j \cos \vartheta \cos \mu - (F - x_j) \sin \vartheta \cos \mu - (y_j - e) \sin \mu;$$

$$G = \sqrt{R_1^2 - (h - e)^2}.$$

Исходные данные, необходимые для расчета профиля резца любого вида, охватываемого алгоритмом, приведены ниже.

Скорость радиального движения формообразования	a
Скорость осевого движения формообразования	p
Перемещение в движении тангенциальной подачи	q
Радиус дискового резца в базовой точке I	R_1
Задний угол резца	α
Угол наклона передней плоскости относительно оси x	γ
Угол наклона передней плоскости относительно оси z	λ
Угол наклона задней поверхности резцов	σ
Расстояние от оси дискового резца до плоскости xz	h
Расстояние базовой точки I резца до плоскости xz	e
Угол разворота резца в плоскости xz	ϑ
Угол разворота резца в плоскости xy	μ

Количество рассчитываемых точек профиля	κ
Принимается $t_{14} = 0$ или $t_{14} \neq 0$ (метка)	t_{14}
Радиус детали в точке 1 профиля	r_1
Радиус детали в точке 2 профиля	r_2
Радиус детали в точке 3 профиля	r_3
Радиус детали в точке j профиля	r_j
Координата z точки 1 детали	z_{01}
Координата z точки 2 детали	z_{02}
Координата z точки 3 детали	z_{03}
Координата z точки j детали	z_{0j}
Угол θ_{0j} точки 1 профиля детали	θ_{01}
Угол θ_{0j} точки 2 профиля детали	θ_{02}
Угол θ_{0j} точки 3 профиля детали	θ_{03}
Угол θ_{0j} точки j профиля детали	θ_{0j}

При обработке обычных поверхностей вращения $a = p = 0$. Значение q : либо $q = 0$, либо в исходных данных $q \neq 0$ (ставится любое, кроме 0); $q \neq 0$ только для тангенциальных резцов. Величина $e = 0$ при обычно принятой на практике установке резца, но для улучшения геометрических параметров возможно $e \neq 0$, тогда ее значение рассчитывается и вносится в исходные данные (расчет e — см. ниже, п. 3.3). Для тангенциальных призматических резцов, т. е. при $q \neq 0$, $h = e = R_1 = 0$.

Метка « t_{14} » вводится в исходные данные; при $t_{14} \neq 0$ производится дополнительно расчет профиля по передней поверхности резца (на рис. 2.41 вместо t_{14} показано t). Величина κ равна количеству узловых точек профиля детали (резца).

Радиус R_1 резца для стержневых и призматических резцов всех типов следует принять $R_1 = 0$.

Для резбовых резцов $a = q = 0$; $p = P_x/2\pi$, где P_x — осевой шаг резьбы.

Для резцов, затылюющих дисковые фрезы (см. рис. 2.30):

$$a = \frac{kz}{2\pi} \cos \mu_a, \quad p = \frac{kz}{2\pi} \sin \mu_a, \quad q = 0, \quad (2.64)$$

где k — величина затылования; z — число зубьев фрезы; μ_a — угол косо́го затылования.

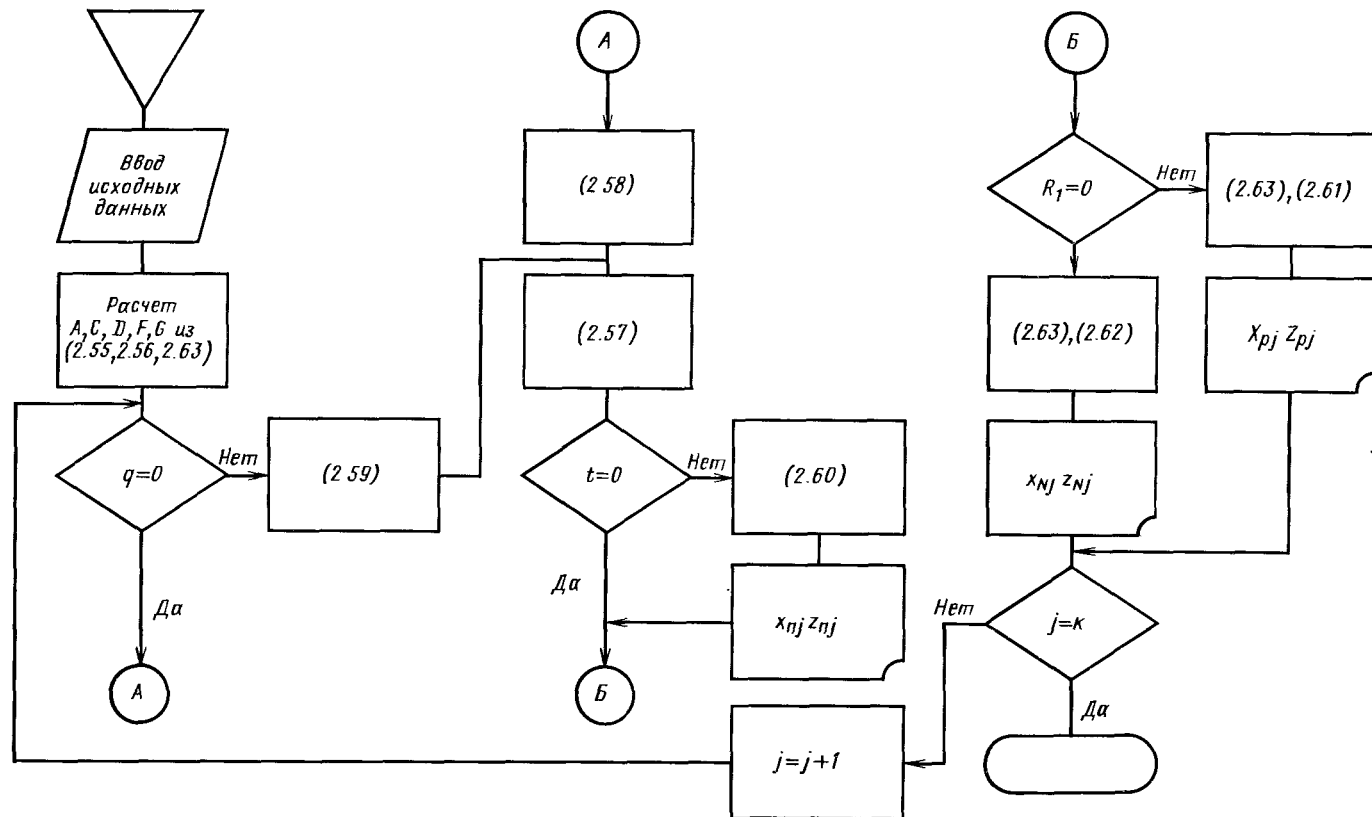
Для резцов, затылюющих червячные фрезы (см. рис. 2.37):

$$a = \frac{P_{z0} + P_{x10}}{P_{z0}} \frac{kz \cos \mu_a}{2\pi}, \quad p = \frac{P_{x10}}{2\pi} \pm a \operatorname{tg} \mu_a, \quad (2.65)$$

где P_{z0} — шаг винтовой канавки фрезы; P_{x10} — осевой шаг витка фрезы.

В (2.65) следует учитывать знаки: $P_{z0} \geq 0$ для левой канавки; $P_{z0} < 0$ — для правой; $P_{x10} \geq 0$ — для правозаходной фрезы, $P_{x10} < 0$ — для левозаходной; знак «+» берется при развороте затыловочного суппорта против часовой стрелки, знак «—» — при развороте по часовой стрелке.

Структурная схема расчета профиля резцов дана на рис. 2.41. Примеры расчетов на ЭВМ приведены в прил. 8.



• Рис. 2.41. Структурная схема расчета профиля фасонных резцов

Изложенный выше алгоритм носит достаточно общий характер. Практически общность алгоритма, разрабатываемого для применения на конкретном предприятии, должна ограничиваться теми видами и номенклатурой фасонных резцов, которые применяются и проектируются на данном предприятии. Для отдельных видов резцов из общего алгоритма получают более простые, частные. Приведем некоторые из них для типичных случаев.

Для дискового радиального резца с обычной установкой $e = 0$ и геометрическими параметрами $\sigma = \mu = \vartheta = \lambda = 0$ (см. рис. 2.34):

$$\begin{aligned} S &= r_1 \sin \gamma_1; \\ \varepsilon_1 &= \alpha_1 + \gamma_1; \quad \alpha_1 = \alpha; \quad \gamma_1 = \gamma; \\ F &= r_1 \cos \gamma_1; \quad G = R_1 \cos \varepsilon_1; \quad H = R_1 \sin \varepsilon_1; \\ C_l &= \sqrt{r_l^2 - S^2} - F; \\ R_j &= \sqrt{H^2 + (G - C_j)^2}; \\ X_{pj} &= R_1 - R_j; \quad Z_{pj} = z_{0j}. \end{aligned} \quad (2.66)$$

Для призматического радиального резца $e = 0$, $\sigma = \mu = \vartheta = \lambda = 0$ (см. рис. 2.35) C_j рассчитывается из (2.66),

$$x_{Nj} = C_j \cos \varepsilon_1; \quad z_{Nj} = z_{0j}. \quad (2.67)$$

Для дискового радиального резца с углом $\lambda \neq 0$ при $e = 0$, $\sigma = \mu = \vartheta = 0$:

$$\begin{aligned} H &= R_1 \sin (\alpha_1 + \gamma_1); \quad h = R_1 \sin \alpha_1; \\ \operatorname{tg} \xi &= \frac{r_2 - r_1}{z_{01}}; \quad N = R_1 \cos \alpha_1; \\ b_j &= z_{0j} \operatorname{tg} \xi; \quad E_j = r_1 + b_j; \\ H_j &= H - b_j \sin \gamma_1; \quad S_j = E_j \sin \gamma_1; \\ F_j &= E_j \cos \gamma_1; \quad M_j = \sqrt{(N - b_j)^2 + h^2}; \\ G_l &= \sqrt{M_l^2 - H_l^2}; \quad C_j = \sqrt{r_l^2 - S_l^2} - F_j; \\ R_l^2 &= \sqrt{H_l^2 + (G_l - C_l)^2}; \quad X_{pj} = R_1 - R_j; \\ Z_{pj} &= z_{0j}. \end{aligned} \quad (2.68)$$

Для призматического радиального резца с углом $\lambda \neq 0$, при $e = 0$, $\sigma = \mu = \vartheta = 0$, ξ , E_j , S_j , F_j , C_j рассчитываются из (2.68):

$$\begin{aligned} x_{Nj} &= b_j \cos \alpha_1 + C_j \cos (\alpha_1 + \gamma_1); \\ z_{Nj} &= z_{0j}. \end{aligned} \quad (2.69)$$

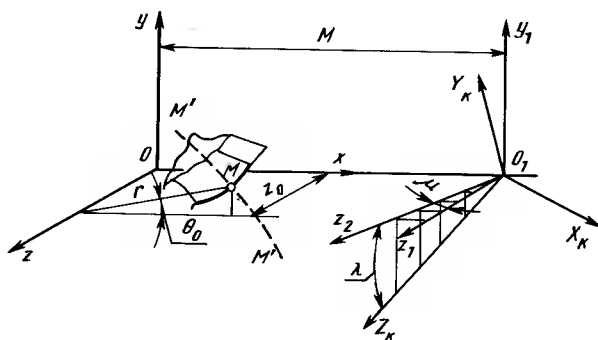


Рис. 2.42. Системы координат при расчете профиля

Для тангенциального призматического резца с углом $\lambda \neq 0$ при $\theta = \mu = \sigma = 0$ (см. рис. 2.36):

$$t_j = r_j - r_1;$$

$$x_{Nj} = t_j \cos \alpha + (z_{0j} \operatorname{tg} \lambda - t_j \operatorname{tg} \psi) \sin \alpha; \quad (2.70)$$

$$z_{Nj} = z_{0j}.$$

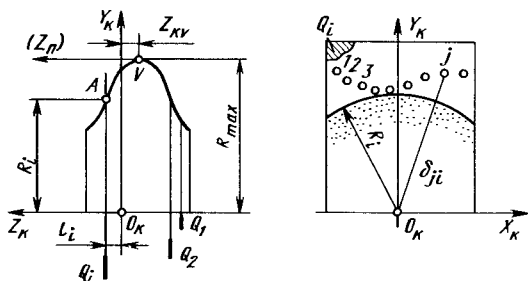
Расчет профиля инструментов в форме тела вращения. Для обработки различных фасонных или сложных поверхностей широко используются инструменты с производящей поверхностью в форме тела вращения. Сюда входят различные дисковые и пальцевые фрезы для обработки фасонных канавок, винтовых поверхностей (канавок спиральных сверл, резьб, червяков), дисковые чашечные и пальцевые шлифовальные круги (см. п. 2.2).

Приведем алгоритм для расчета профиля производящей поверхности вращения для достаточно общего случая (см. табл. 2.2) для обработки конической винтовой поверхности, т. е. при трех движениях формообразования: вращательном ω детали, поступательном продольном $S_{пр}$ и поступательном радиальном S_p (рис. 2.42 и 2.33).

В соответствии с принятой классификацией (см. табл. 2.2) данная задача является прямой задачей профилирования, и ее решение находим из условия отсутствия среза с точечным заданием профиля методами аналитической геометрии.

Профиль детали (в данном случае конической винтовой поверхности) в общем виде задается рядом точек, лежащих на пространственной кривой. Координаты любой точки M профиля детали в неподвижной системе $x y z$: $(r \theta_0 z_0)$. Точка M в движении формообразования ($\omega + S_{пр} + S_p$) относительно инструмента описет траекторию $M'M'$. В каждой секущей плоскости Q_i , перпендикулярной к оси Z_k инструмента (рис. 2.42, рис. 2.43), радиус R_i точки профиля круга по условию (2.9) отсутствия среза находится как наименьшее расстояние до оси Z_k точек пересечения l ,

Рис. 2.43. Схема расчета профиля



2, 3, ..., j профиля детали с данной плоскостью Q_i . Положение каждой из плоскостей $Q_1, Q_2, \dots, Q_i$ определяется координатой $Z_K = l_i$. Находя в каждой отдельной плоскости Q_i радиус R_i , тем самым определяем профиль производящей поверхности инструмента.

Ось Z_K инструмента, например шлифовального круга, может быть развернута в двух плоскостях. Если в начальный момент, до разворота, ось Z_K совпадала с осью z_1 , параллельной оси z и отстоящей от нее на расстоянии M , то после поворота вокруг вертикальной оси на угол μ она займет положение z_2 . Если дополнительно развернуть ось z_2 на угол λ вокруг перпендикуляра к z_2 , лежащего в плоскости xz , то ось z_2 займет положение Z_K (см. рис. 2.42). Возьмем общий случай, когда ось инструмента развернута в двух плоскостях на углы μ и λ . Это, в частности, имеет место при затыловании червячных модульных фрез чашечным кругом. После разворота неподвижная система координат, жестко связанная с инструментом, совпадает с системой $X_K Y_K Z_K$.

Траектория $M'M'$ любой точки $M(r\theta_0)$ кромки относительно неподвижной системы $X_K Y_K Z_K$ в движении $(\omega + S_{\text{пр}} + S_p)$ формообразования имеет вид:

$$\begin{aligned} X_K &= q \cos \mu + (z_0 + p\varphi) \sin \mu; \\ Y_K &= r \sin (\theta_0 - \varphi) \cos \lambda + \\ &+ (z_0 + p\varphi) \cos \mu \sin \lambda - q \sin \mu \sin \lambda; \\ Z_K &= (z_0 + p\varphi) \cos \mu \cos \lambda - \\ &- r \sin (\theta_0 - \varphi) \sin \lambda - q \sin \mu \cos \lambda, \end{aligned} \quad (2.71)$$

где $q = r \cos (\theta_0 - \varphi) + a\varphi - M$; p и a — скорости движений соответственно $S_{\text{пр}}$ и S_p , измеренные в миллиметрах, за время поворота детали на 1 радиан.

Задаваясь для каждой плоскости Q_i расстоянием l_i , имеем равенство:

$$Z_K = l_i, \quad (2.72)$$

где Z_K — из (2.71).

Из (2.72) находится значение угла φ_{ji} , соответствующее j -й точке пересечения траектории $M'M'$ с плоскостью Q_i .

Расстояние от оси Z_n инструмента до j -й точки пересечения с плоскостью Q_i :

$$\delta_{ji} = \sqrt{X_n^2 + Y_n^2}, \quad (2.73)$$

где X_n , Y_n берут из (2.71) при подстановке в них значения φ_{ji} из (2.72).

Задаваясь при данном i рядом точек j и определяя из (2.73) δ_{ji} , получаем ряд значений δ_{ji} : δ_{1i} , δ_{2i} , δ_{3i} , ..., δ_{ji} . Минимальное из них является искомым радиусом R_i (см. рис. 2.43):

$$R_i = \delta_{ji \min}. \quad (2.74)$$

Приведенный алгоритм целесообразно использовать в тех случаях, когда необходимо избежать среза каких-либо участков профиля детали и нет уверенности в том, что среза не будет, например, для профилирования дисковых фрез при обработке винтовых канавок сложного профиля; при расчете кругов, шлифующих червяки, если угол λ разворота круга значительно отличается от угла подъема витков червяка (при этом возрастает опасность среза); при обработке дисковым инструментом конических винтовых поверхностей со значительным углом конуса и т. д.

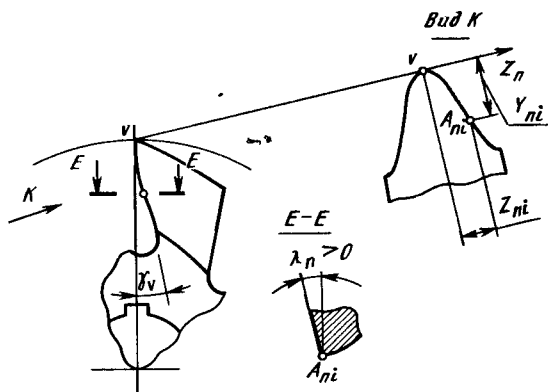
Отметим, что приведенные выше основные уравнения (2.71)—(2.74) не изменяются для различных профилей детали, но могут быть упрощены для многих частных случаев. При обработке винтовых цилиндрических поверхностей $a = 0$. Если ось инструмента разворачивается только в одной плоскости, то либо $\mu = 0$, либо $\lambda = 0$. При затыловании дисковым кругом червячных фрез $\mu = 0$, a и p рассчитываются из (2.64); при использовании пальцевого круга $\mu = 90^\circ$, $\lambda = 0$. Если профиль детали задан в форме участков из прямых и окружностей в плоскости xu или xz (см. рис. 2.42), то уравнение (2.72) упрощается и решается как квадратное.

В прил. 9 приведены профили шлифовальных кругов, рассчитанные по описанному алгоритму, для затылования червячных фрез, нарезающих колеса передач Новикова.

Выше для инструментов в форме тела вращения рассмотрено решение первого, наиболее сложного для этого вида инструментов этапа профилирования — определение профиля производящей поверхности. Для фрез, имеющих передний угол $\gamma \neq 0$, необходимо также рассчитывать и профиль по передней поверхности, т. е. осуществлять решение второго этапа. Координаты $Y_{ni}Z_{ni}$ любой точки A_{ni} кромки удобно определять в системе Y_nZ_n с началом в точке u , расположенной на наибольшем радиусе (рис. 2.44). Если после расчета профиля производящей поверхности точка u имеет координаты $Y_{nv} = R_{\max}$; Z_{nv} , а любая точка A_i имеет координаты $Y_{ni} = R_i$; $Z_{ni} = l_i$ (см. рис. 2.43), то координаты $Y_{ni}Z_{ni}$ соответствующей точки A_{ni} на передней грани фрезы находят так:

$$\begin{aligned} b &= R_{\max} \sin \varphi_0; \quad P_n = R_{\max} \operatorname{ctg} \varphi, \\ Z_{ni} &= l_i - Z_{nv}; \quad \delta_i = Z_{ni}/P_n. \end{aligned}$$

Рис. 2.44. Профиль фрезы по передней поверхности



если канавки плоские, то $\delta_i = 0$;

$$\begin{aligned}\sin \gamma_i &= (b + Z_{ni} \operatorname{tg} \lambda_n \cos \gamma_v) / R_i; \\ \psi_i &= \gamma_i - \gamma_v + \delta_i; \quad Z_{ni} = Z_{ni} / (\cos \tau \cos \lambda_n); \\ Y_{ni} &= R_{\max} \cos \gamma_v - R_i \cos \gamma_i,\end{aligned}\quad (2.75)$$

где τ — угол подъема винтовой передней поверхности на наружном диаметре, если фреза имеет винтовые канавки; для плоских канавок $\tau = 0$; λ_n — угол наклона к оси фрезы канавок, если они выполняются плоскими; для винтовых следует принять $\lambda_n = 0$.

Формула расчета Z_{ni} для винтовых канавок приближенная, с весьма малыми погрешностями при τ до 7° . Более точная формула:

$$Z_{ni} = (Z_{ni} / \cos u_i) \cos \tau, \text{ где } u_i = \arctg (R_i \sin \psi_i / Z_{ni}).$$

При винтовой передней поверхности фрезы координаты $Y_{ni} Z_{ni}$ определяют точки профиля, который является проекцией кромки на плоскость, идущую под углом τ к оси фрезы и проходящую через вершинную точку v кромки фрезы.

Частный алгоритм и примеры расчетов для распространенного случая — определения профиля дисковых фрез с полукруглым выпуклым или вогнутым профилем — приведены в прил. 10.

Для инструментов в форме тела вращения на практике часто приходится решать обратную задачу профилирования. Например, шлифование резьб, червяков, винтов, фрезерование различных винтовых канавок инструментов производится кругами и фрезами, в большинстве случаев с прямолинейным профилем. Теоретически точный профиль инструментов обычно должен быть криволинейен, даже для обработки линейчатых винтовых поверхностей (конвольютных, архимедовых или эвольвентных). Для определения пригодности использования инструмента с прямым профилем или возникающих при этом погрешностей необходимо решение обратной задачи. Из условия отсутствия среза (см. табл. 2.2) она решается следующим образом. Если известен профиль производящей

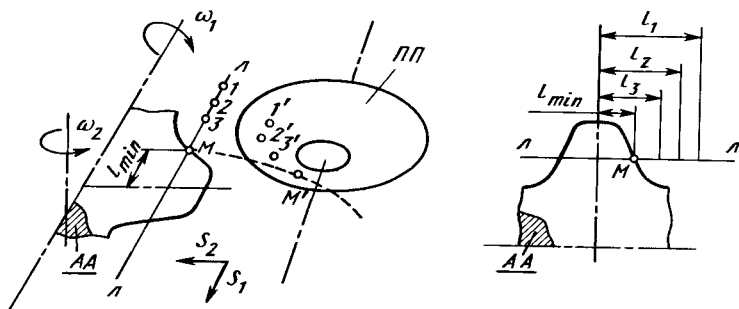


Рис. 2.45. Схема решения обратной задачи профилирования из условия отсутствия среза

поверхности (ПП) инструмента и движения формообразования, например, $\omega_1, \omega_2, \dots, S_1, S_2, \dots$, то точка M профиля на любой линии ll в заданном сечении AA находится как такая точка пересечения линии ll с поверхностью ПП в движении формообразования ($\omega_1 + \omega_2 + \dots + S_1 + \dots$), которой соответствует наименьшее расстояние l от выбранной базовой линии (рис. 2.45). В процессе движения ($\omega_1 + \omega_2 + \dots + S_1 + \dots$) линии ll каждая ее точка описывает траекторию, например, M' для точки M . В разные моменты движения линия ll пересекает поверхность ПП в точках $1', 2', 3', \dots, M' \dots$; при этом на ней отсекаются отрезки $l_1, l_2, l_3, \dots$. Минимальный из этих отрезков l_{min} дает искомую точку M на профиле. Поскольку точке M соответствует наименьшее l , то, очевидно, срезания искомого профиля левее точки M не произойдет, и именно точка M является искомой точкой профиля, образуемой инструментом на линии ll . Линия ll может быть взята касательной к профилю в точке M . Базовая линия проводится на произвольном расстоянии от предполагаемой точки M , перпендикулярно ll . Сечение AA может быть любым — плоским или в виде поверхности; в частности, это может быть торцовое, осевое или другое сечение детали. Преимущество такого метода заключается главным образом в том, что алгоритм практически мало зависит от количества формообразующих движений и при любом их количестве и сочетании дает решение с любой необходимой точностью. Имеющийся опыт решения задач таким методом, в частности при пяти формообразующих движениях, показал, однако, что основным недостаток этого метода в данном случае состоит в том, что требуется многократное нахождение точки пересечения прямой (линии ll) с поверхностью вращения ПП. Поскольку точка пересечения находится с помощью уравнений более высоких, чем вторая, степеней, то машинное время расчетов увеличивается. Применение же различных возможных приемов для замены уравнений

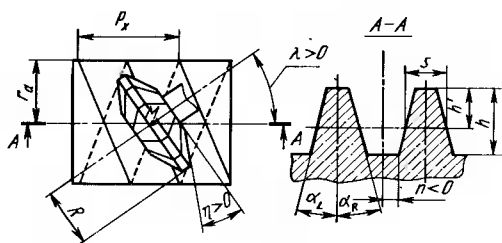


Рис. 2.47. Основные размеры червяка и фрезы

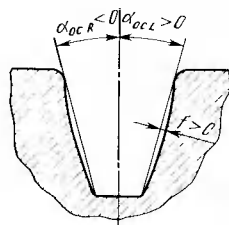


Рис. 2.48. Получающийся профиль червяка в его осевом сечении

+ S) на два вращательных ω_1, ω_2 так, что в проекции $\omega_1 + \omega_2 = \omega$, а ось вращения ω_1 совпадает с осью $O_{\Pi}O_{\Pi}$ поверхности $\Pi\Pi$. Расстояние между вектором ω_2 и осью $O_{\Pi}O_{\Pi}$: $q = p \operatorname{ctg} \lambda$, где $p = = P_x/2\pi$, P_x — шаг винтовой поверхности.

Так как вращение ω_1 вокруг оси $O_{\Pi}O_{\Pi}$ можно не учитывать — как вращение поверхности вокруг собственной оси, — характеристику bb можно найти во вращательном движении ω_2 . Во вращательном движении любой поверхности каждая ее точка имеет вектор скорости, перпендикулярный радиусу, проведенному от оси в эту точку. Следовательно, характеристику bb в движении ω_2 или в винтовом движении $(\omega + S)$ находят, если из каждой точки вектора ω_2 проводят перпендикуляр к $\Pi\Pi$. Каждое пересечение такого перпендикуляра с $\Pi\Pi$ даст точку линии bb . Если $\Pi\Pi$ — конус с углом β между его образующей и основанием, а расстояние между осями $\Pi\Pi$ и детали — M , то уравнение линии bb , полученное описанным выше способом, имеет такой вид:

$$A \sin \theta + C \cos \theta + B = 0, \quad (2.76)$$

где $A = M \operatorname{ctg} \lambda + p$; $B = (M - p \operatorname{ctg} \lambda) \operatorname{ctg} \beta$; $C = p \operatorname{ctg} \beta + l$; θ — угол, определяющий положение точки (например, точки M' , см. рис. 2.46) на линии bb при заданном радиусе p поверхности конуса; l — расстояние от точки пересечения общего перпендикуляра между осями $O_{\Pi}O_{\Pi}$ и $O_{\Pi}O_{\Pi}$ до плоскости, перпендикулярной к оси $O_{\Pi}O_{\Pi}$, в которой ищется точка M' на радиусе окружности конуса.

В более сложном движении, чем винтовое с постоянным шагом, можно в каждый момент времени находить ось мгновенного винтового движения (которая будет менять свое положение) и относительно этой оси находить различную в разные моменты характеристику bb , используя (2.76).

С использованием (2.76) приведем алгоритм решения двух распространенных задач (обратной и прямой): 1) при известном профиле дискового инструмента (фрезы, круга) определить профиль в осевом сечении AA червяка, обрабатываемого данным инструментом (рис. 2.47, рис. 2.48); 2) при заданном профиле в осе-

вом сечении AA червяка определить угол профиля η дискового инструмента, имеющего коническую производящую поверхность.

Последняя задача (прямая) решается с помощью первой (обратной) задачи: задается профиль инструмента, находится профиль, который получается на детали, и по разнице между полученным и заданным профилями корректируется угол η инструмента. Для данного распространенного случая — обработки архимедова червяка — этот способ достаточно приемлем, так как получаемые уравнения весьма просты и удобны для оптимизации параметров инструмента.

Исходные данные:

r_a — наружный радиус червяка, мм (см. рис. 2.47); P_x — осевой шаг витка червяка, мм; h — высота профиля червяка в сечении AA , мм; n — половина ширины дна впадины червяка, мм; $\alpha_{L(R)}$ — угол профиля червяка в сечении AA для левой (правой) стороны; R — наружный радиус дисковой фрезы (круга); λ — угол скрещивания осей червяка и фрезы.

Если задается толщина S профиля на высоте h' (см. рис. 2.47), то $n = 0,5 (P_x - S) - (h - h') \operatorname{tg} |\alpha|$.

$P_x > 0$ для правого, $P_x < 0$ для левого червяка; $\alpha_L > 0$, $\alpha_R < 0$; для правой стороны профиля $n > 0$, для левой — $n < 0$.

η — угол профиля фрезы (круга); для стороны, обрабатывающей левую сторону профиля червяка, $\eta > 0$; для обрабатывающей правую сторону $\eta < 0$.

При решении прямой задачи угол η находится, а не задается. При решении обратной задачи определяются α_{ocL} и α_{ocR} (см. рис. 2.48), которые получаются в результате обработки; они сравниваются с заданными значениями. При идеальном решении должно быть: $\alpha_{ocL} = \alpha_L$; $\alpha_{ocR} = \alpha_R$.

Алгоритм решения прямой задачи:

$$p = P_x/2\pi; M = r_a + R - h; \operatorname{tg} \omega = p/(r_a - 0,5h); \quad (2.77)$$

$$k = \cos \omega / \cos (\lambda - \omega); A = M \operatorname{ctg} \lambda + p.$$

$$i = 1; \rho_1 = R - h; i = 2; \rho_2 = R - 0,5h; \quad (2.78)$$

$$i = 3; \rho_3 = R.$$

$$\operatorname{tg} \beta = k \operatorname{tg} \alpha_{L(R)}; B = (M - p \operatorname{ctg} \lambda) \operatorname{ctg} \beta. \quad (2.79)$$

$$l_i = nk - (R - \rho_i) \operatorname{tg} \beta; \quad (2.80)$$

$$C_i = \rho_i \operatorname{ctg} \beta + l_i; F_i = A^2 + C_i^2.$$

$$\sin \theta_i = (-AB \pm C_i \sqrt{F_i - B^2})/F_i. \quad (2.81)$$

θ_i должно удовлетворять одновременно двум условиям: уравнению (2.76) и $\frac{\pi}{2} \leq \theta_i \leq \frac{3}{4} \pi$;

$$\begin{aligned}x_{0i} &= \rho_i \cos \theta_i + M; \\y_{0i} &= \rho_i \sin \theta_i \cos \lambda - l_i \sin \lambda; \\z_{0i} &= l_i \cos \lambda + \rho_i \sin \theta_i \sin \lambda.\end{aligned}\quad (2.82)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{0i} = y_{0i}/x_{0i}; \quad (2.83)$$

$$x_{oc_i} = x_{0i}/\cos \varphi_{0i}; \quad z_{oc_i} = z_{0i} - \rho \varphi_{0i}.$$

Расчеты (2.80)—(2.83) выполняются для $i = 1, 2$ и 3:

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \alpha_{ocL(R)} &= (z_{oc_1} - z_{oc_2})/(x_{oc_1} - x_{oc_2}); \\ \operatorname{tg} \alpha'_{ocL(R)} &= (z_{oc_1} - z_{oc_2})/(x_{oc_1} - x_{oc_2}).\end{aligned}\quad (2.84)$$

$$f = [(z_{oc_1} - z_{oc_2}) - (x_{oc_1} - x_{oc_2}) \operatorname{tg} \alpha_{ocL(R)}] \cos \alpha_{ocL(R)}.$$

Если $|\alpha_{ocL(R)}| - |\alpha_{L(R)}| < \Delta\alpha$, где $\Delta\alpha$ — допустимая погрешность расчета по углу профиля (или ее часть), то $\eta = \beta$, и расчет окончен;

иначе — переходить к (2.86):

$$\alpha'_L(R) = 2\alpha_L(R) - \alpha_{ocL(R)}. \quad (2.86)$$

В исходных данных принять $\alpha_L(R) = \alpha'_L(R)$ и повторить расчет (2.79)—(2.86); при этом в (2.86) значение $\alpha_L(R)$ остается неизменным.

Рассчитываемая в приведенном алгоритме величина f является стрелой вогнутости (или выпуклости) профиля, получающегося после обработки. Для левой стороны при $f > 0$ имеет место вогнутость (см. рис. 2.48), при $f < 0$ — выпуклость; для правой стороны знаки меняются на обратные.

Если решается только обратная задача, то в (2.79) принимается $\beta = \eta$, где η должен быть задан; расчет (2.85)—(2.86) при этом не производится.

Примеры решения прямой и обратной задач по приведенному алгоритму даны в прил. 11. Отметим, что часто, особенно при шлифовании червяков коническим дисковым кругом, желательно подобрать такое значение угла λ , при котором бы была наименьшая криволинейность получающегося профиля. На основании большого (несколько сотен вариантов) числа расчетов можно указать, что в большинстве случаев при изменении λ в допустимых пределах можно добиться нулевого значения f в средней по высоте червяка точке профиля при $\lambda = \lambda_{\text{опт}}$. Типичная зависимость f от λ дана в прил. 11.

Профилирование червячных фрез. Производящей поверхностью червячных фрез, предназначенных для обработки зубчатых изделий различного профиля, является базовый (основной) червяк. Его профиль находится обычно из условия касания (см. п. 2.2.2 и табл. 2.2) с заданной поверхностью колеса. В достаточно общем виде эта прямая задача профилирования освещена в работах [11,

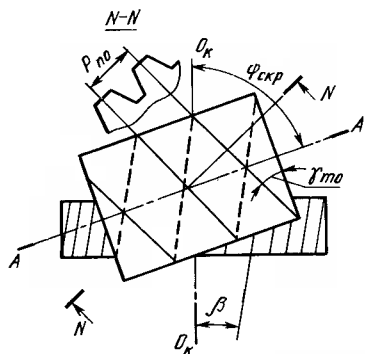


Рис. 2.49. Установка червячной фрезы

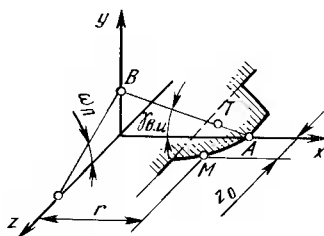


Рис. 2.50. Профиль червяка

23 и др. 1. Приближенно, с небольшими погрешностями, которыми во многих случаях можно пренебречь, профиль базового червяка в нормальном к его виткам сечении NN определяется как профиль рейки, зацепляющейся с данным колесом. Такой подход допустим в тех случаях, когда угол $\varphi_{скр}$ скрещивания осей фрезы и колеса устанавливается по общепринятой формуле (рис. 2.49):

$$\varphi_{скр} = \beta \pm (90^\circ - \gamma_{m0}), \quad (2.87)$$

где β — угол наклона зубьев колеса; γ_{m0} — угол подъема витков фрезы (червяка) на ее среднем (расчетном) диаметре d_{m0} . В частности, для прямозубых колес $\beta = 0$ и $\varphi_{скр} = 90^\circ - \gamma_{m0}$. Профиль рейки, зацепляющейся с колесом, может быть определен из условия касания [23] или условия отсутствия среза по вышеприведенной формуле (2.17).

Рассмотрим в общем виде решение второго этапа прямой задачи профилирования червячных фрез — определение профиля режущей кромки.

Считаем, что профиль основного червяка задан в его осевом сечении, в плоскости xz . Координата любой точки M осевого профиля червяка: $M(r; z_0)$.

Определим проекцию режущей кромки на плоскость, составляющую с осью x угол $\gamma_{в.п}$ и с осью фрезы z угол ω_{Π} (рис. 2.50). Угол $\gamma_{в.п}$ — передний угол фрезы на ее наружном диаметре; угол ω_{Π} можно принять равным углу λ_{m0} наклона винтовой передней поверхности фрезы. Более строго угол ω_{Π} должен определяться в зависимости от метода контроля профиля кромки — шаблоном по зубу или впадине, на микроскопе или на проекторе. Величина ω_{Π} может отличаться от угла λ_{m0} и определяться, например, из условия наибольшей резкости изображения кромки при ее проектировании на плоскость.

Точка M профиля червяка описывает на поверхности этого червяка винтовую линию с осевым шагом P_{x10} , лежащую на цилиндре радиусом r . На этом же цилиндре точка T , принадлежащая

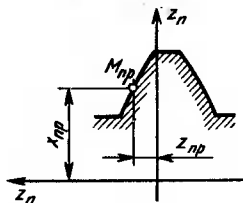


Рис. 2.51. Проекция кромки на плоскость

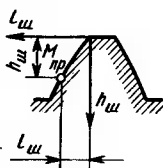


Рис. 2.52. Координаты точек профиля для шаблона

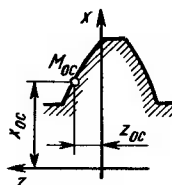


Рис. 2.53. Координаты точек осевого профиля

прямой AB (образующей переднюю винтовую поверхность фрезы), опишет винтовую линию с шагом P_{z0} , равным шагу винтовой передней поверхности фрезы. Точка пересечения этих двух винтовых линий даст точку $M_{кр}$ режущей кромки фрезы с координатами $M_{кр} (\theta_{кр} z_{кр} r_{кр})$:

$$\begin{aligned} \theta_{кр} &= (p_{кр} \theta_0 - z_0) / (p + p_{кр}); \\ z_{кр} &= z_0 + p \theta_{кр}; \quad r_{кр} = r; \end{aligned} \quad (2.88)$$

$$\begin{aligned} p_{кр} &= P_{z0}/2\pi \text{ (для левой канавки } P_{z0} > 0, \text{ для правой } P_{z0} < 0); \\ p &= P_{x10}/2\pi \text{ (для правого червяка } P_{x10} > 0, \text{ для левого } P_{x10} < 0). \end{aligned} \quad (2.89)$$

$$\theta_0 = \gamma_r - \gamma_{в.н}; \quad \gamma_r = \arcsin(b/r); \quad b = 0,5 d_{a0} \sin \gamma_{в.н}, \quad (2.90)$$

где d_{a0} — наружный диаметр фрезы; $(r; z_0)$ — координаты точки M профиля червяка.

Координаты $(x_{\Pi} z_{\Pi})$ любой точки $M_{пр}$ проекции кромки на данную плоскость (рис. 2.51):

$$\begin{aligned} x_{\Pi} &= x_{кр} \cos \gamma_{в.н} - y_{кр} \sin \gamma_{в.н} + c; \\ z_{\Pi} &= z_{кр} \cos \omega_{\Pi} - (x_{кр} \sin \gamma_{в.н} + y_{кр} \cos \gamma_{в.н}) \sin \omega_{\Pi} + G, \end{aligned} \quad (2.91)$$

где

$$\begin{aligned} x_{кр} &= r \cos \theta_{кр}; \quad y_{кр} = r \sin \theta_{кр}; \quad z_{кр} \text{ — из (2.88);} \\ c &= b \tan \gamma_{в.н}; \quad G = b \sin \omega_{\Pi}. \end{aligned} \quad (2.92)$$

Для контроля шаблоном удобнее определять координаты $(h_{ш} l_{ш})$ точки $M_{пр}$ проекции кромки (рис. 2.52):

$$h_{ш} = x_{\Pi A} - x_{\Pi}; \quad l_{ш} = \pm z_{\Pi}, \quad (2.93)$$

где $x_{\Pi A}$ — координата x_{Π} для высшей точки A кромки, соответствующей $r = r_{a0}$; x_{Π} — координата x данной точки M .

Верхний знак для $l_{ш}$ берется для левой стороны профиля (зуба), нижний — для правой.

Координаты ($x_{oc}z_{oc}$) точки M_{oc} профиля в осевом сечении фрезы находят так (рис. 2.53):

$$x_{oc} = r + a\theta_{кр}; \quad z_{oc} = z_0, \quad (2.94)$$

где $\theta_{кр}$ — из (2.88); a — из (2.65); (r, z_0) — координаты точки M профиля червяка.

Червячные фрезы отличаются большим разнообразием конструкций, геометрических параметров и методов контроля профиля. Поэтому для различных фрез могут быть использованы и различные частные алгоритмы для расчета их профиля (см. разд. 3).

2.4.2.9. Определение параметров схемы срезания припуска и геометрических параметров в процессе резания (блоки 11 и 12)

Данные расчеты в СПРИ являются в основном контрольными, т. е. они используются для оценки схемы срезания припуска (принятого типа РИ; см. п. 2.3) и для окончательной оценки геометрических параметров РИ. Если эти параметры не удовлетворяют каким-либо условиям, необходимо вновь обращаться к вышестоящим блокам расчетной части, изменяя другие элементы РИ (см., например, выбор геометрических параметров фасонных резцов и червячных фрез в разд. 3).

2.4.2.10. Определение размеров крепежно-присоединительной части (блок 13)

Все множество крепежно-присоединительных частей разбивается на две группы в соответствии с двумя основными группами инструмента: для насадного и хвостового инструментов (рис. 2.54). К последней группе отнесен также и призматический инструмент (всевозможные резцы). Соответственно для первой группы характерно использование в качестве элементов крепежно-присоединительных частей отверстий (цилиндрических или конических), а для второй — хвостовиков (цилиндрических, конических и призматических).

Для передачи крутящего момента используются шпонки (продольные и торцовые), лыски, поводки и т. п., а при наличии осевых сил — упорные винты, гайки, поперечные rifления. В этом случае, когда крутящий момент передается за счет сил трения, возникающих между поверхностью хвостовика и оправкой (или кулачками патрона), рассчитывают допустимый крутящий момент.

В условиях статической нагрузки крутящий момент ($N \cdot mm$), передаваемый конусом, определяется по формуле:

$$M_{кр} = 0,5N (d + D) \mu (1 - 0,04\Delta\alpha)$$

Крепежно-присоединительная часть инструмента

Насадного

Цилиндрическое отверстие

гладкое

с продольным шпоночным пазом

с поперечным шпоночным пазом

с поперечным шпоночным пазом и отверстием под винт

Коническое отверстие

гладкое

с поперечным шпоночным пазом

Хвостового

Цилиндр

гладкий

с продольной лыской

с квадратом

с квадратом и кольцевой канавкой

с поперечной лыской

Конус

с лапкой

без лапки

без лапки с внутренней резьбой

квадратного сечения

K-го профиля

Призматическое тело

прямоугольного сечения

квадратного сечения

типа «ласточкин хвост»

с поперечным косым пазом и внутренней резьбой

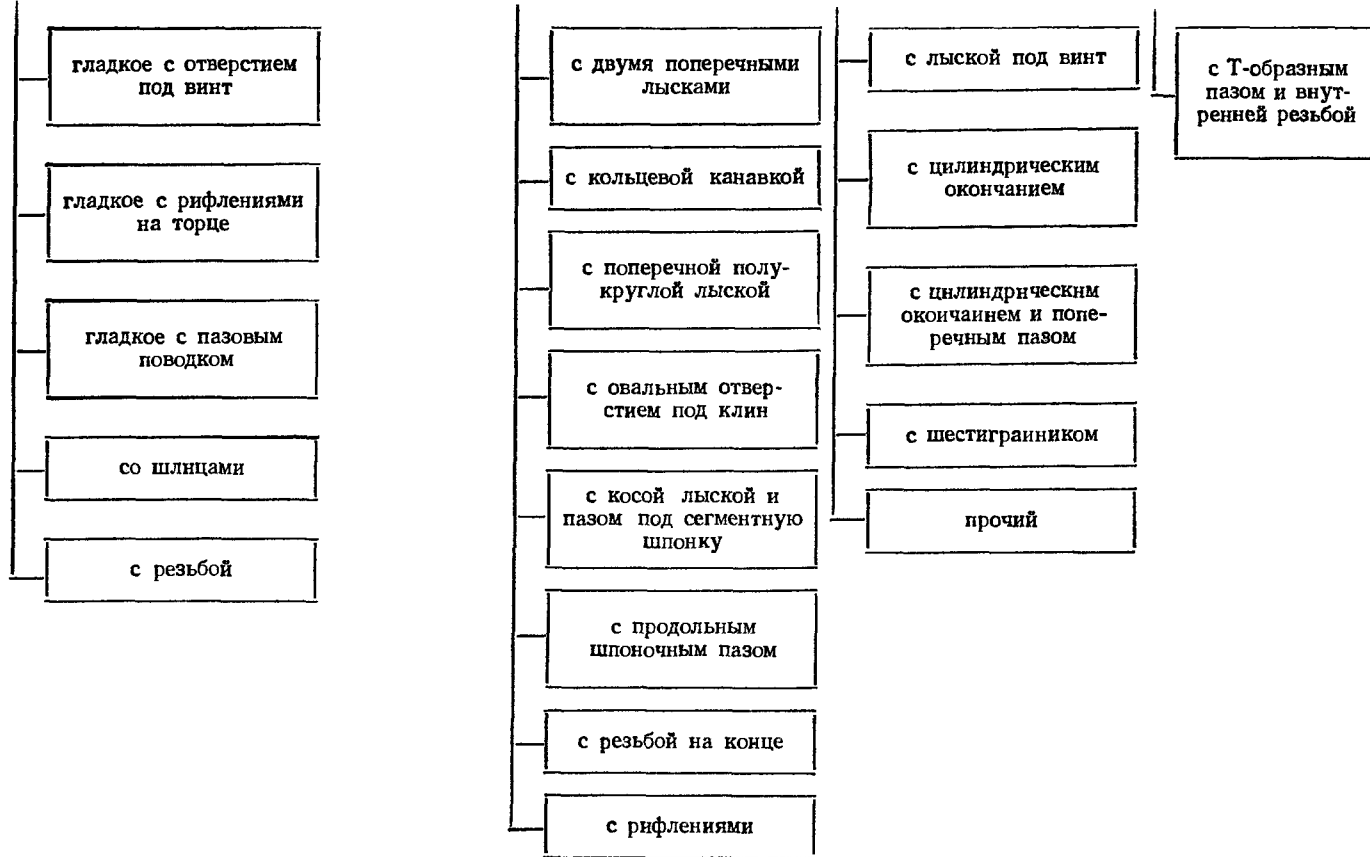


Рис. 2.54. Поэлементная классификация крепежно-присоединительной части инструмента

или

$$M_{кр} = 0,5Q\mu \operatorname{cosec} \alpha (d + D) (1 - 0,04\Delta\alpha),$$

где N — нормальная составляющая силы к конической поверхности, Н; Q — осевая сила, Н; d — меньший диаметр конуса, мм; D — большой диаметр конуса, мм; α — угол уклона конуса, градусы; μ — коэффициент трения; $\Delta\alpha$ — ошибка общего угла конуса, мин.

Практически, однако, номер конического хвостовика устанавливается по действующим стандартам и нормальям, где эти номера соответствуют данным, приведенным ниже.

Диаметр РИ, мм . . .	6—15	16—29	24—32	33—49	50—65
Номер конуса Морзе . . .	1	2	3	4	5

Цилиндрические хвостовики у стандартного хвостового инструмента обычно имеют диаметр, равный диаметру рабочей части. Нормальный ряд диаметров стандартизован.

Форма хвостовика назначается в зависимости от посадочного места оборудования или вспомогательного инструмента и диаметра инструмента: для диаметров 0,25—20 мм используют обычно цилиндрические хвостовики, для диаметров 6—80 мм — конические.

В связи с дальнейшим развитием автоматизированного производства возникла необходимость и в автоматизированной смене режущего инструмента, что привело к совершенствованию конструкции крепежно-присоединительной части.

2.4.2.11. Определение размеров центрирующе-направляющей части инструмента (блок 14)

Центрирующе-направляющие части имеются у инструментов, предназначенных для обработки отверстий: сверл, зенкеров, разверток, расточного инструмента, метчиков и протяжек. С их помощью увеличивается жесткость инструмента в процессе его работы, что способствует повышению точности обработки.

В качестве центрирующего элемента у сверл используется «перемычка», а направляющими элементами являются ленточки, как у зенкеров и разверток. В некоторых случаях концевой инструмент, предназначенный для обработки отверстий, имеет специальные цилиндрические направляющие, контактирующие с кондукторными втулками или цилиндрическими поверхностями предварительно обработанных отверстий детали (например, как у протяжек; см. рис. 3.10).

Размеры направляющей части устанавливают в зависимости от конкретной конструкции инструмента, поэтому эти расчеты должны входить в специальные модули. Однако некоторые общие зависимости могут быть здесь отмечены.

Сверла спиральные, зенкеры и развертки в качестве направляющих элементов имеют ленточки, представляющие часть наруж-

ной цилиндрической поверхности с диаметром, равным диаметру рабочей части. Единственным параметром, который требуется назначить в этом случае, является ширина ленточки $f_{\text{л}}$. Для спиральных сверл при $D \geq 1 \text{ мм}$ $f_{\text{л}} \simeq (0,1 \div 0,06) D$, где D — диаметр инструмента.

Сверла глубокого сверления, для которых в связи с возможностью «увода» особенно важное значение имеет их правильное направление в процессе работы, также снабжаются направляющими. Диаметральные размеры последних соответствуют диаметру рабочей части сверла. В качестве направляющих используются: а) для сверл ружейных диаметром до 12 мм включительно — наружная цилиндрическая поверхность рабочей части; б) для сверл диаметром свыше 12 до 60 мм включительно — врезанные в корпус пластинки; в) для сверл диаметром свыше 65 мм — три направляющие пластинки, одна из которых подпружинена. Ширина пластинок $f = (0,2 \div 0,25) D$.

Метчики имеют калибрующий участок резьбы, предназначенный не только для калибрования нарезаемой резьбы, но и для обеспечения правильного направления перемещения инструмента в процессе его работы. Калибрующая часть выполняет эту функцию одним — двумя первыми зубьями, а остальная часть метчика является не калибрующей, а копирной, «ведущей» частью, которая задает метчику винтовое движение. На основании этого была предложена д-ром техн. наук В. В. Матвеевым конструкция метчика с бочкообразными зубьями.

Помимо указанных направляющих частей, которые совмещены с калибрующей частью инструмента, зенкеры, развертки, расточные резцовые блоки и протяжки (реже — метчики) имеют специальные направляющие части (одну или две), чаще всего в виде цилиндрических поверхностей.

Для инструментов, у которых направление определяет поверхность отверстия обрабатываемой детали, форма и размеры направляющей части должны соответствовать этому отверстию.

Протяжки круглые имеют переднюю направляющую, форма и размеры которой соответствуют предварительному отверстию детали, а именно: $l_{\text{п.н}} = (0,75 \div 1) l_0$, но не менее 40 мм; $d_{\text{п.н}} = d_0$, где d_0 — диаметр предварительного отверстия детали; l_0 — длина протягиваемого отверстия; $d_{\text{п.н}}$, $l_{\text{п.н}}$ — соответственно диаметр и длина передней направляющей. Для глубоких отверстий $l_{\text{п.н}} = 1,5d_0$.

Для деталей с прямоугольной формой предварительного отверстия передняя направляющая выполняется аналогичной формы со срезанными или закругленными углами и размерами: $B_{\text{п.н}} = B$; $H_{\text{п.н}} = H$, где B , H — соответственно ширина и высота прямоугольного отверстия; $B_{\text{п.н}}$, $H_{\text{п.н}}$ — соответственно ширина и высота прямоугольного сечения передней направляющей протяжки.

Задняя направляющая часть круглых, шлицевых, квадратных и шестигранных протяжек выполняется цилиндрической формы с размерами $d_{з.н} = d_{\min}$, где $d_{\min}$ — наименьший диаметр протянутого отверстия.

У протяжек с прямоугольным поперечным сечением (плоские, пазовые) задняя направляющая часть должна иметь аналогичную форму и размеры: $B_{з.н} = B_{\min}$; $H_{з.н} = H_{\min}$, где $B_{з.н}$, $H_{з.н}$ — соответственно размеры задней направляющей; $B_{\min}$, $H_{\min}$ — соответственно размеры протянутого отверстия.

Размеры длин задних направляющих: а) для цилиндрических и шлицевых протяжек $l_{з.н} = 20 \div 70$ мм в зависимости от длины протягиваемого отверстия; б) для шпоночных и плоских протяжек $l_{з.н} = (1,5 \div 2) t_p$, где t_p — шаг режущих (рабочих) зубьев.

При протягивании двух соосных отверстий или отверстия с выточкой длина задней направляющей $l_{з.н} = m + c + 20$ мм, где m — ширина выточки; c — большая ширина (глубина) отверстия.

Для инструмента, который имеет специальные цилиндрические направляющие, работающие по кондукторным втулкам, диаметр передней направляющей назначается конструктивно с учетом того, что он не должен превышать определенной величины, ограниченной работой последующей режущей части инструмента. Диаметр задней направляющей $d_{з.н} = D + (1 \div 2)$, где D — диаметр рабочей части инструмента, мм (в случае комбинированного инструмента — диаметр предшествующей ступени инструмента).

Длина направляющей части принимается в зависимости от расположения обрабатываемых поверхностей детали относительно кондукторных втулок, длины и хода инструмента. Однако необходимо соблюдать условие — в начале резания направляющие инструмента должны войти в кондукторные втулки на величину $(1 \div 1,5) d_{п.н} (з.н)$, где $d_{п.н} (з.н)$ — диаметр направляющей части (передней или задней).

Для обеспечения требуемой точности обработки диаметры цилиндрических направляющих инструмента выполняются по посадкам $q6$.

2.4.2.12. Определение недостающих размеров (блок 15), назначенные допуски и технические условия (блок 16)

Размерные параметры определяются в каждом конкретном случае проектирования по своим зависимостям и включают в себя назначение различных выточек, фасок, переходных и технологически необходимых поверхностей.

При реализации блока 16 используют как отдельные расчеты по определению допусков (на развертки, метчики, плашки, фасонные резцы, зуборезный инструмент), так и практические рекомендации.

2.4.2.13. Отработка конструкции РИ на технологичность

Согласно ГОСТ 14.20183 ЕСТПП «Общие правила обеспечения технологичности конструкций изделий», технологичность определяется конструктором-разработчиком и технологом совместно.

Существует два метода оценки технологичности: качественный (технологично или нетехнологично) и количественный. Качественную оценку рассматривают предварительно перед количественной. Количественная оценка технологичности определяется несколькими показателями, регламентируемыми ГОСТом. К ним относятся трудоемкость изделия, технологическая себестоимость, коэффициенты точности обработки, шероховатости поверхностей, унификации, стандартизации, использования материала и др. Используемые формулы просты и легко поддаются автоматизации. Затруднения главным образом связаны с получением исходной информации и необходимостью быстрого получения результатов расчета. Последнее затруднительно, так как в процессе проектирования изделия отсутствует технологический процесс его изготовления. В этих условиях, например при подсчете себестоимости изготовления, используют специальные методики, основанные на данных, известных на исследуемом этапе проектирования и использование которых обеспечивает приемлемую точность расчетов (ошибка не более 10—15 %).

3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РИ

С созданием систем автоматизированного проектирования (САПР) изменяется технология самого процесса проектирования и соответственно функции и роль конструктора. Усиливаются элементы творчества конструктора. Он должен уметь управлять всем процессом проектирования и принимать решения в сложных ситуациях, вводя их непосредственно в ЭВМ (без участия программистов).

В перспективе, в связи с реализацией гибких производственных систем (ГПС), стоит задача объединения системы технической подготовки производства (всех процессов конструкторской и технологической подготовки) и процесса производства в единую автоматизированную комплексную систему, управляемую с помощью ЭВМ. Здесь оптимизация принимаемых решений будет осуществляться более совершенно, что и обеспечит повышение эффективности использования автоматизированного проектирования и АСУ. При этом будет использоваться комплексная инструментальная система, в которую войдут: 1) система автоматизированного проектирования РИ (САПРИ); 2) система автоматизированного проектирования технологии изготовления РИ (САПР ТИ); 3) система автоматизированного обеспечения станков РИ, включая транспорт, материалы, складирование и др. В данном разделе рассматриваются лишь вопросы САПРИ.

3.1. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА РИ

Автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП) и система автоматизированного проектирования (САПР). Развитие современного машиностроения немыслимо без использования электронно-вычислительной техники. Наиболее общей автоматизированной системой в машиностроении является АСУ соответствующего министерства, включающая АСУ предприятий (АСУП). В состав АСУП входит большая группа функциональных подсистем управления по производственному признаку [3]. Сюда входят задачи управления процессом формирования производственной структуры (отдел организации произ-

3.1. Ориентировочная трудоемкость решения технологических задач при неавтоматизированном проектировании

Технологическая задача	Время, ч *	
	минимальное	максимальное
Разработка маршрутной технологии	1	22
Разработка операционной технологии	3	70
Нормирование маршрутных карт	0,5	10
Разработка и вычерчивание полного комплекта операционных эскизов к технологическому процессу	1	33
Конструирование приспособлений	3	140
Конструирование специального инструмента	1	40
Итого:	9,5	315

* Конкретные значения норматива зависят от группы сложности изделия.

водства), производством основной продукции (планово-экономический и производственно-диспетчерский отдел), вспомогательно-обслуживающим производством (инструментальное производство, отделы главного механика и энергетика), материально-техническим снабжением, сбытом продукции и т. д. Одной из важнейших подсистем является управление научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами (задачи отделов главного конструктора и главного технолога).

Помимо различных подсистем АСУП, на предприятиях внедряют систему технической подготовки производства (ТПП), включающей в себя АСТПП — автоматизированную систему технологической подготовки производства. Частью АСТПП является САПР ТП (технологического проектирования) и САПРИ (рис. 3.1).

Система автоматизированного проектирования (САПР) и ее роль в народном хозяйстве. Известно, что между автоматизацией в сфере проектирования и в сфере производства сложилась диспропорция. Как свидетельствует статистика, за последние 100 лет производительность труда в мировой промышленности выросла в 15 раз, а инженерно-управленческой деятельности — в 2 раза.

В связи с этим цель автоматизации проектирования — повышение качества, снижение материальных затрат, сокращение сроков проектирования и стабилизация количества ИТР, занятых проектированием. Ориентировочная трудоемкость решения технологических задач при неавтоматизированном проектировании приведена в табл. 3.1 (по данным ВПТИтяжмаша).

Под автоматизацией проектирования понимают систематическое применение ЭВМ в процессе проектирования при научно обоснованном распределении функций между проектировщиком и ЭВМ и научно обоснованном выборе методов решения задач.

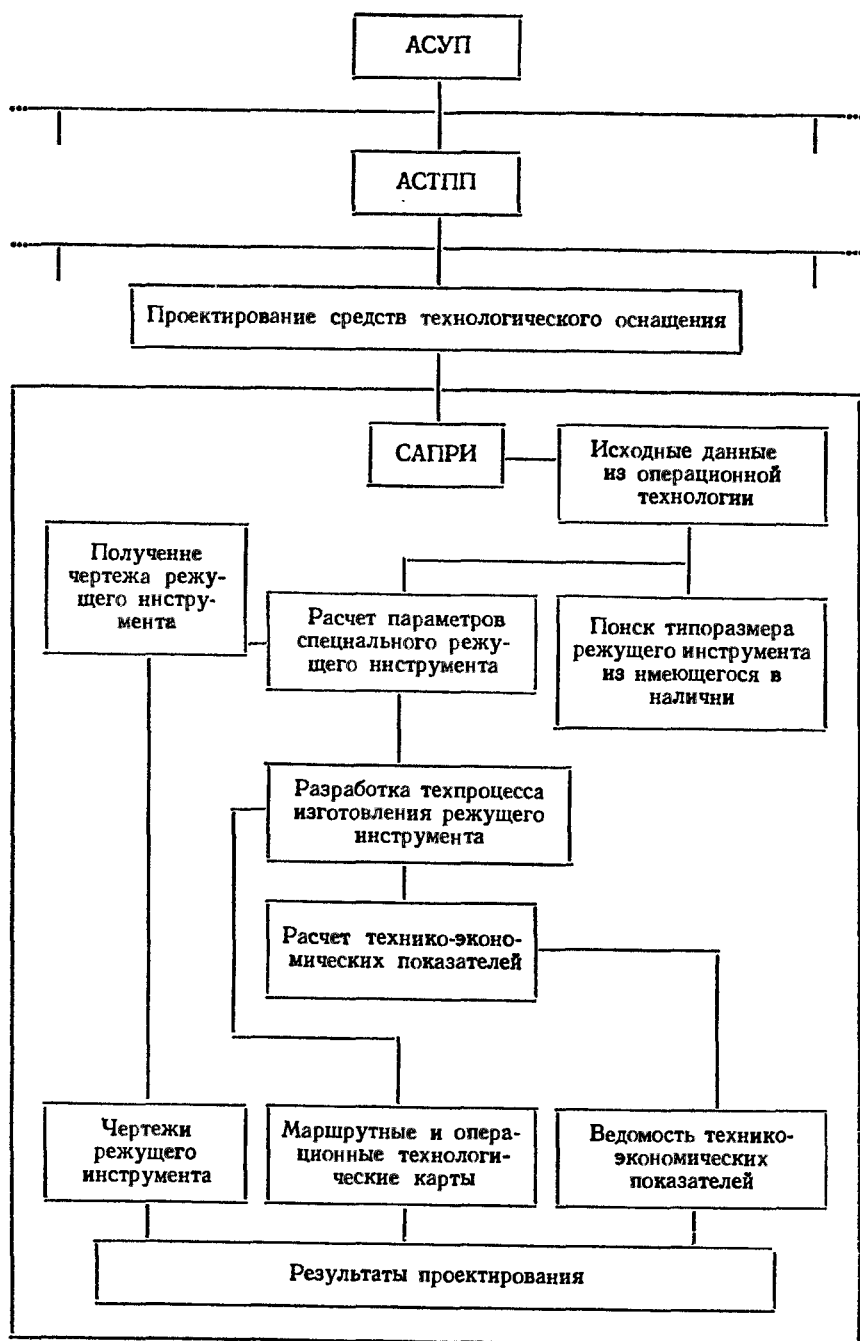


Рис. 3.1. Место САПРИ в АСУП

Человек должен решать творческие задачи, а ЭВМ — задачи, хорошо поддающиеся формализации и решение которых с использованием ЭВМ обеспечивает соответствующую эффективность по сравнению с неавтоматизированным их решением.

Обоснованный выбор методов автоматизированного решения задач проектирования подразумевает правильный учет возможностей вычислительной техники и вычислительной математики для обеспечения приемлемого компромисса между требованиями высокой точности, степени универсальности, малых затрат машинного времени, памяти и труда инженера-проектировщика для сбора исходной информации.

В настоящее время наилучшая форма организации процесса проектирования достигается при применении САПР — организационно-технической системы, состоящей из комплекса средств автоматизации проектирования, взаимосвязанной с подразделениями проектной организации и выполняющей автоматизированное проектирование.

Автоматизации поддаются следующие виды работ [1]: а) поиск необходимой информации о материалах, оборудовании, оснастке, инструментах, режимах резания и др. (15—20 % времени технолога); б) выполнение стандартных расчетов: припусков, размерных цепей, профиля кулачков для станков-автоматов, режимов резания и норм времени, расхода материала, геометрических параметров режущего инструмента, элементов приспособлений и т. д.

Плохо поддаются формализации творческие этапы работы, к которым относятся выбор маршрута, структуры операции, конструкции технологического оснащения и др.

Средствами обеспечения САПР является методическое, программное, техническое, информационное и организационное обеспечение.

Эффективность автоматизированного проектирования возрастает с увеличением доли использования ЭВМ в общем цикле проектирования. Это требует повышения научного уровня технических дисциплин, используемых при проектировании, т. е. большей их математизации. С другой стороны, автоматизированное проектирование обеспечивает решение сложных многовариантных задач, а следовательно, реализацию системного подхода в процессе проектирования. Последнее обеспечивает более качественные решения.

Понятие «система» включает в себя в качестве составляющих такие понятия, как структура, функция, состояние, элемент, отношение, управление и др. Это создает преимущества системного подхода перед традиционными методами исследования. В связи с этим системный подход служит методом комплексного изучения сложных объектов и процессов. Однако полная реализация САПР связана не только с организационными трудностями и большими материальными затратами. Главные трудности заключаются в недостаточной разработанности как общей теории проектирования

технических устройств и систем, так и специальных разделов по проектированию их конкретных видов. В связи с этим возникают задачи разработки как общих закономерностей автоматизированного проектирования [30], так и разработки САПР применительно к конкретным объектам машиностроения (в том числе и к проектированию режущего инструмента [1, 3, 33]).

Комплекс стандартов ЕСТПП по средствам механизации и автоматизации инженерно-технических работ. Основные положения о назначении, структуре и порядке создания САПР изложены в общеотраслевых руководящих материалах по САПР. При создании и развитии САПР рекомендуется применять следующие общесистемные понятия:

принцип включения, предусматривающий определение требований создания, функционирования и развития более сложной (включающей данную) САПР;

принцип системного единства, предусматривающий на всех стадиях создания, функционирования и развития САПР целостность системы, обеспечиваемую соответствующими связями между подсистемами, а также функционированием подсистемы управления;

принцип развития, предусматривающий САПР в качестве развивающейся системы, обеспечивающей наращивание и совершенствование компонентов САПР и связей между ними;

принцип комплексности, предусматривающий связность проектирования отдельных элементов и всего объекта в целом на всех стадиях проектирования;

принцип информационного единства, предусматривающий в подсистемах, средствах обеспечения и компонентах САПР единство терминов, символов, условных обозначений, проблемно-ориентированных языков, программирования и способов представления информации;

принцип совместимости, предусматривающий согласованность языков, символов, кодов, информационных и технических характеристик структурных связей между подсистемами, средствами обеспечения и компонентами САПР, обеспечивающий совместное функционирование всех подсистем при сохранении открытой структуры системы в целом;

принцип инвариантности, предусматривающий определенную универсальность (типизацию) подсистем и компонентов САПР по отношению к проектируемым объектам.

Четвертая группа стандартов ЕСТПП регламентирует правила применения технических средств механизации и автоматизации инженерно-технических работ (ГОСТ 14.401—73—ГОСТ 14.416—83).

Любой работе по автоматизации предшествует ряд подготовительных мероприятий: выбор объекта и обоснование необходимости автоматизации; установление оптимальной очередности решения задач; определение целесообразного уровня автоматизации; ра-

ционализация потоков информации; анализ и совершенствование методов решения задач.

Перечисленные мероприятия конкретизируются соответствующими стандартами. Правила проведения работ по выбору объекта, подлежащего автоматизации, учитывают следующее: снижение трудоемкости работ по проектированию; сокращение сроков и стоимости ТПП; повышение уровня организации и улучшение качества ТПП; создание предпосылок рациональной организации основного производства; снижение или полную ликвидацию непроизводительных расходов.

Практика автоматизированного проектирования показала, что при определенных условиях производства в качестве объекта автоматизации выгодно выбирать режущий инструмент. Это объясняется следующими причинами: а) большим типажом режущего инструмента, используемого при оснащении технологического процесса изготовления деталей машиностроения; б) часто повторяющимися задачами в виде подбора требуемого типоразмера инструмента и проектирования специального инструмента; в) наличием многовариантных задач, оптимизация решений которых практически неосуществима без использования ЭВМ; г) наличием определенного, минимально необходимого теоретического материала, поддающегося математической формализации.

В результате при правильном выборе объекта автоматизации достигается снижение трудоемкости проектирования режущего инструмента и улучшается качество его конструкции.

В настоящее время мы располагаем разнообразной вычислительной техникой, которая используется на различных уровнях автоматизации решения задач ТПП. Порядок работ по выбору уровня автоматизации регламентируется ГОСТ 14.404—73, а методы расчета показателей приводятся в методике «Состав и порядок расчета показателей, определяющих уровень автоматизации».

При автоматизированном проектировании используются различные технические средства: ЭВМ разных типов, средства сбора, подготовки, передачи и представления информации. Все это вместе образует комплекс технических средств. Правила выбора технических средств регламентируются ГОСТ 14.410—74.

Помимо указанных ГОСТов, регламентирующих работы в области механизации и автоматизации инженерно-технических работ, действуют ГОСТ 23501.0—79 — 23501.15—81, которые упорядочивают проведение работ по созданию САПР. В них оговорены основные положения: цель создания САПР, его функции, состав, принципы создания, стадии создания, порядок организации работ на различных стадиях (технического предложения, эскизного, технического и рабочего проектов и др.).

Основные этапы при решении любой задачи с использованием ЭВМ: 1) постановка задачи; 2) разработка стратегий; 3) разработка методики решения задачи; 4) разработка информационного обес-

печения; 5) выбор технических средств и конфигурации вычислительной системы. Отсюда вытекает, что состав САПР представляет совокупность методического, лингвистического, математического, информационного, программного, технического и организационного обеспечения.

Ниже кратко остановимся на указанных составляющих САПР применительно к проектированию РИ (за исключением вопросов лингвистического обеспечения).

Методическое и математическое обеспечение САПРИ. Основными этапами методического обеспечения являются: 1) постановка общей задачи проектирования; 2) разбиение общей задачи на части; 3) разработка стратегии проектирования и выбор методов решения.

Основные этапы математического обеспечения: 1) моделирование объекта проектирования; 2) основы построения математической модели; 3) блочно-иерархическое проектирование и математическая модель; 4) методы вычислений; 5) разработка алгоритма.

Таким образом, при разработке методического и математического обеспечения разрабатываются соответствующая терминология, теория и методы, способы, модели и алгоритмы. Используются нормативы, справочники и стандарты. При автоматизированном проектировании РИ кроме общих теоретических положений также используют методическое и математическое обеспечение, характерное для инструмента (частично изложенное выше; см. разд. 2).

Математическая модель — это совокупность математических объектов (чисел, переменных, векторов, множества и т. п.) и отношений между ними, которая адекватно отображает некоторые свойства проектируемого технического объекта. Требования к математическим моделям: точность, экономичность, степень универсальности. Классификация математических моделей: функциональные (чаще всего в виде систем уравнений); структурные (в форме матриц, графов, списков векторов); теоретические и формальные (при рассмотрении объекта в виде «черного ящика»).

В процессе решения задачи с использованием ЭВМ можно выделить несколько основных этапов, осуществляемых в следующей последовательности: а) содержательная постановка задачи; б) математическая постановка; в) поиск оптимального решения; г) разработка алгоритма решения; д) программирование; е) отладка программы на ЭВМ; ж) решение задачи.

Следует учесть, что в процессе решения возникает необходимость в осуществлении итеративных процессов, т. е. необходимость в возвратах на предшествующие этапы и повторное их выполнение.

Ниже кратко рассмотрены перечисленные этапы, начиная с содержательной задачи (в общем виде это связано с рассмотрением СПРИ). Этапы д—ж здесь не рассматриваются.

3.2. ПОСТРОЕНИЕ АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА РИ

3.2.1. Алгоритмы и их свойства

Алгоритм — это точное предписание, определяющее вычислительный процесс, ведущий от варьируемых начальных данных к искомому результату.

Свойства алгоритма: а) определенность, т. е. порядок решения задачи не зависит от конкретного лица и представляет собой детерминированный процесс, который может быть повторен в любое время другим лицом; б) результативность, т. е. способность приводить к получению искомого результата после конечного числа достаточно простых шагов; в) массовость, т. е. пригодность для решения любой задачи из некоторого класса задач.

3.2.2. Способы изложения алгоритмов

Алгоритм может иметь три формы изложения: словесную, операторную и в виде принципиальной схемы.

Словесное изложение — это общее описание процедур на естественном языке. Степень детализации вычислительного процесса низкая, формализация процесса практически отсутствует. Положительным моментом является компактное представление о ходе решения задачи в целом. Это описание используется на начальной стадии разработки алгоритма, в технической документации, статьях и т. д.

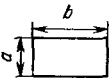
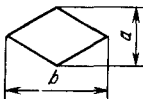
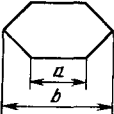
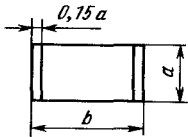
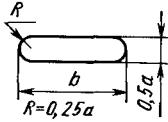
Операторное изложение — это описание процесса решения задачи, расчлененного на отдельные операции со словесным или символическим указанием последовательности действий. Такое представление алгоритма сопровождается почти полной формализацией, что упрощает программирование. Эта форма приемлема для относительно простых задач, иначе алгоритм будет очень объемным.

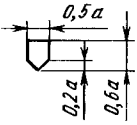
Принципиальная схема отражает этапность алгоритмического процесса в виде блоков (совокупность процедур решения задач) с указанием их взаимной связи. Внутри каждого блока кратко описывается содержание соответствующего этапа алгоритма с использованием принятых в данной задаче условных обозначений.

Условные графические обозначения — символы в схемах алгоритмов и программ, отображающие основные операции процесса обработки данных и программирования, — регламентируются ГОСТ 19.003—80. Наиболее часто употребляемые символы при составлении принципиальных схем алгоритма представлены в табл. 3.2.

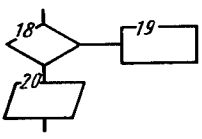
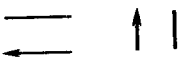
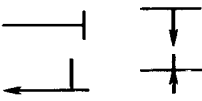
В принципиальной схеме указываются порядок и последовательность ввода входной информации, порядок выполнения расчетов и правила выбора для этих расчетов необходимой информации, порядок и последовательность вывода выходной информации.

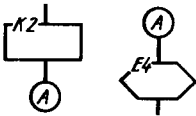
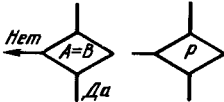
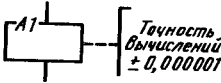
3.2. Основные символы, используемые при составлении схем

Наименование	Обозначение	Функция
1. Процесс	 из ряда 10; 15; 20 мм $b = 1,5 a$ или $b = 2 a$	Выполнение операции или группы операций, в результате которых изменяются значение, форма представления или расположение данных
2. Решение		Выбор направления выполнения алгоритма или программы в зависимости от некоторых переменных условий
3. Модификация		Выполнение операций, меняющих команды или группы команд, изменяющих программу
4. Предопределенный процесс		Использование ранее созданных и отдельно описанных алгоритмов и программ
5. Пуск — останов		Начало, конец, прерывание процесса обработки данных или выполнения программы

Наименование	Обозначение	Функция
6. Линии потока		Указание последовательности связей между символами
7. Межстраничный соединитель		Указание связи между раздельными частями схем, алгоритмов и программ, расположенных на разных листах

3.3. Основные правила выполнения

Фрагмент схемы	Содержание обозначения	Правила применения символа, обозначения
	18, 19, 20 — порядковые номера символов на схеме	Координата символа представляется в разрыве его контура
	Линии потока	Без стрелки, если линия направлена слева направо или сверху вниз
	Пересечение линий потока	Применяется при пересечении несвязанных линий потока
	Слияние линий потока	Каждый из потоков направлен к одному и тому же символу

Фрагмент схемы	Содержание обозначения	Правила применения символа, обозначения
	Соединитель в виде буквы (А), может в виде цифры	Здесь К2, Е4 — координаты зон листа, в которых размещены символы
	Возможные варианты отображения решений; А, В, Р — параметры	При числе исходов не более трех признак условия (ДА, НЕТ, =, <, >) решение проставляется над каждой выходящей линией или справа
	Комментарий к символу	Для пояснения характера параметров, особенностей процесса и др.

В принципиальной схеме не приводятся допустимый объем информации при вводе, размещение информации в памяти ЭВМ, элементарные циклы, т. е. расчеты на уровне команд и подготовка позиций для их выполнения (переадресование, восстановление и т. п.). Правила выполнения схем алгоритма регламентируются ГОСТ 19.002—80. Основные правила представлены в табл. 3.3.

К принципиальной схеме дается описание с пояснениями отдельных, наиболее сложных блоков и определяется требуемая точность вычислений выходных данных. Для облегчения разработки и чтения сложных алгоритмов и программ целесообразно выделять в них отдельные части (блоки) и составлять укрупненную схему. Для проверки правильности алгоритмов и отладки программ приводится контрольный пример.

Контрольный пример содержит: набор входных данных; контрольные значения накопленной и хранимой для других задач информации; выходные данные, рассчитанные в полном соответствии с алгоритмом. В контрольном примере желательно учесть максимально возможное количество вариантов вычислительного процесса.

В качестве примера (рис. 3.2) представлена схема алгоритма нахождения угла по значению его инволюты. Алгоритм и соответ-

Рис. 3.2. Алгоритм нахождения угла по значению его инволюты

ствующая подпрограмма необходима для расчета ряда зуборезных инструментов, например, долбяков.

3.2.3. Два метода определения параметров и характеристик конструкций РИ

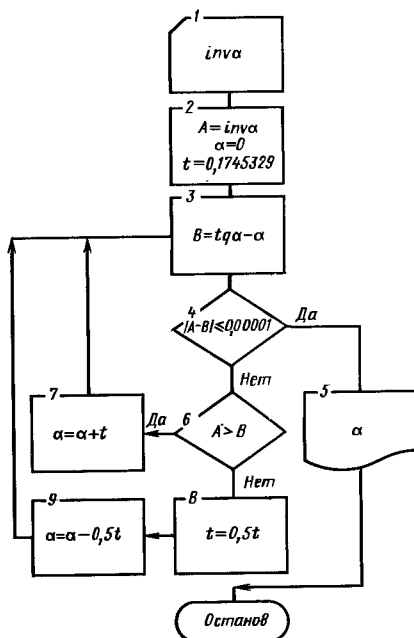
Расчетный метод. Задачу, формализованные математически, решаются фактически во всех блоках расчетной части 3-го этапа СПРИ (см. рис. 1.1). Многие из них являются специальными, т. е. редко используемыми. При относительно большой повторяемости расчетов они оформляются в виде модулей и входят в состав информационного фонда.

Документация на модуль состоит из следующих разделов: название модуля; назначение модуля и область применения; описание задачи; метод решения алгоритма решения; паспорт модуля; текст программы; сведения о программе; контрольный (тестовый) пример; литература.

Стандартизация правил оформления модулей обеспечивает единообразие оформления, информационную и программную совместимость и возможность обмена модулями между разработчиками.

Многие зависимости, используемые в настоящее время при проектировании РИ, требуют анализа и переработки в условиях автоматизированного проектирования — как с точки зрения общего системного подхода, так и с точки зрения точности отдельных уравнений. Например, расчет ширины S_{a0} вершины зуба долбяка по известной зависимости дает погрешность расчета около 0,1 мм для средних модулей. Сама по себе такая погрешность допустима для S_{a0} , но ширина B долбяка часто ограничивается величиной S_{a0} . Указанная же погрешность S_{a0} приводит к ошибке в расчете допустимой ширины B порядка 1—2 мм, что соответствует нескольким переточкам долбяка. Следовательно, способ расчета S_{a0} и B должен быть более точным.

Вообще, учитывая большие возможности ЭВМ, следует более строго определять возможную область использования приближенных зависимостей. Типичным примером могут служить известные уравнения для расчета угла α_{x0} профиля червячных



фрез и угла φ наклона зубьев (см. п. 3.3.5.4). В большинстве случаев они обеспечивают достаточную точность расчета, но для некоторых фрез непригодны и должны быть заменены более точными (см. прил. 13).

Поиск решений на основе таблиц соответствий. При реализации САПРИ задачи типа «поиск» используются не только при определении требуемого типоразмера РИ из имеющегося типажа, но и при определении вида (1-й этап проектирования), типа (2-й этап) и схемы конструкции (3-й этап; см. рис. 1.1). При выполнении расчетной части 3-го этапа проектирования решается задача типа «поиск» при выборе марки инструментального материала (блок 3), формы заточки и геометрических параметров режущей части (блок 4) и т. д.

При поиске возникает необходимость в разработке специальных карт применимости — таблиц соответствий. В общем случае задача типа «поиск» формулируется следующим образом: задано множество элементов с характеристиками. Требуется из этого множества отобрать такие элементы, которые удовлетворяют заданным требованиям (т. е. конкретным характеристикам). При этом возможны три случая: решения нет, решение однозначно, решение многозначно. В последнем случае возникает задача поиска *оптимального* решения.

При небольшом количестве рассматриваемых элементов и их характеристик задача поиска может быть сведена к последовательному перебору и оценке всех элементов множества. При большом множестве элементов и их характеристик решить задачу поиска затруднительно (или теоретически невозможно) даже с помощью ЭВМ. В связи с этим возникает необходимость введения таких методов (типа эвристического программирования), которые могли бы по каким-то признакам (гипотезам) из исходного множества элементов отбрасывать большую их часть и не рассматривать как не имеющих элементов, которые могут быть использованы в качестве решений.

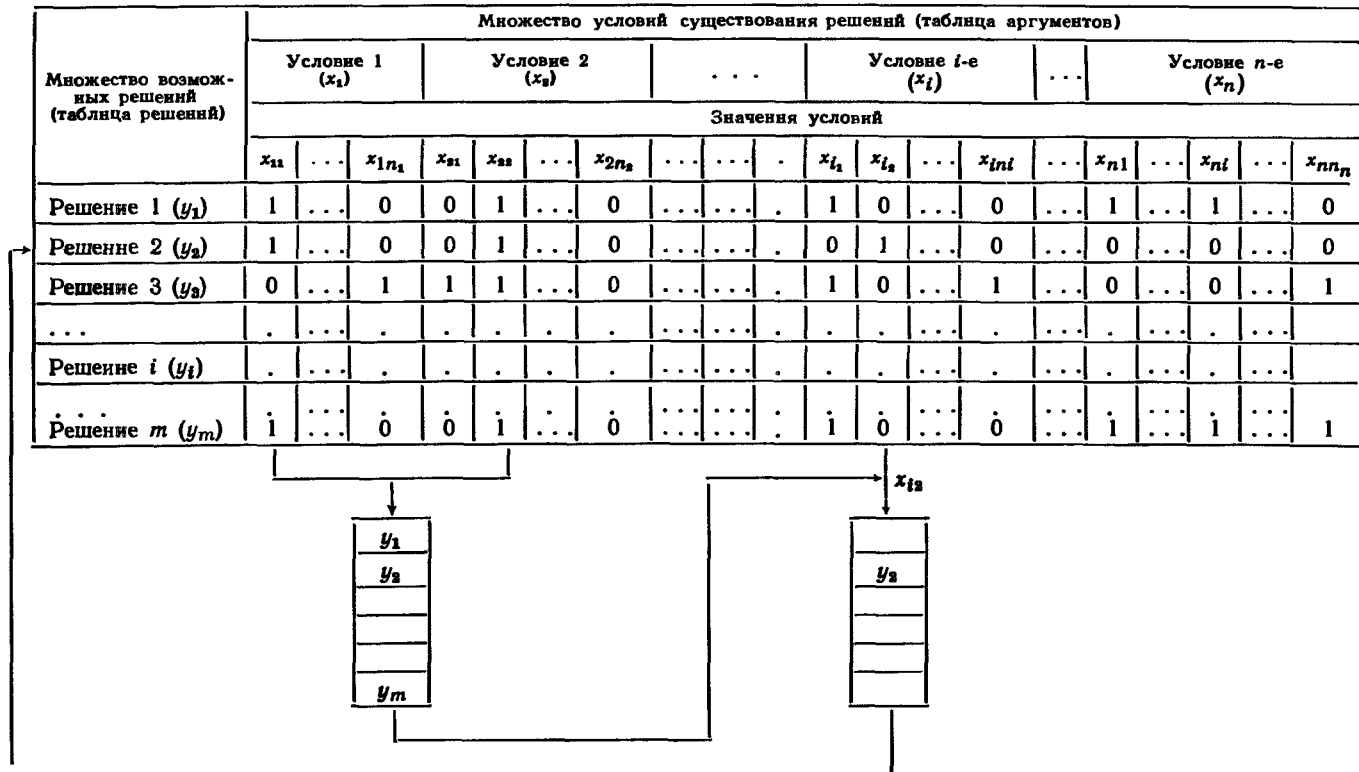
Одним из таких методов является метод, учитывающий жесткость условий, которые используются при решении. Если решение однозначно и есть требование, которое определяет эту однозначность, то можно все остальные требования не рассматривать (если они совместны).

В работе [3] задачи поиска сводятся к следующему: 1) имеется множество элементов $y \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, из которого необходимо выбрать конкретный элемент y_i ; 2) каждый из элементов множеств y определяется набором аргументов (характеристик) x , образующих, в свою очередь, множество $x \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$; 3) для конкретного набора характеристик требуется подобрать из множества y соответствующие элементы y_i , удовлетворяющие этим аргументам (характеристикам).

Поиск решения осуществляется по схеме, представленной в табл. 3.4.

3.4. Схема нахождения решений с использованием таблиц соответствий

Дано: $x = (x_{11}, x_{21}, x_{12})$



В приведенной таблице нулем отмечено отсутствие связей между данной характеристикой x_i и данным элементом y_i , единицей — наличие связи. Решением будет такая совокупность значений y_i , каждому из которых при всех заданных x соответствуют лишь единицы. В качестве примера здесь показано нахождение решения для случая, когда $x = (x_{11}, x_{21}, x_{12})$.

3.2.4. Информационное обеспечение САПРИ

Информация, участвующая в решении задач, подразделяется на входную (оперативную) информацию, нормативно-справочную и выходную.

Входная (оперативная) информация разбивается на первичную, зафиксированную в документах или полученную по каналам связи от регистрирующих устройств, и на производную информацию, полученную путем предварительной обработки первичной информации (блок 2 расчетной части САПРИ).

Источниками информации об исходных данных для проектирования РИ являются техническое задание на проектирование, технологическая карта механической обработки детали на проектируемую операцию, операционный чертеж детали, конструкторский чертеж.

На основании указанных источников формируются исходные данные, которые разбиваются на четыре группы:

а) деталь: материал (марка, твердость, вязкость, наличие абразивных свойств и др.), форма и размеры обрабатываемых поверхностей и др.;

б) операция: наименование операции (характер операции — черновая, чистовая и др.); припуск на обработку, технические требования, в том числе точность обработки и шероховатость; стойкость инструмента и режимы обработки; применение СОЖ; параметры установки инструмента; массовость производства деталей (партия деталей) и другие данные;

в) станок и оснастка: модель станка; ограничения на габаритные размеры инструмента; ряд чисел оборотов шпинделя и подач; мощность главного привода; данные о наличии оправок, кулачков, сменных колес и другие данные;

г) инструмент: вид и тип инструмента, схема конструкции и другие данные.

Помимо перечисленных исходных технических данных, в задании на проектирование инструмента могут быть оговорены определенные технико-экономические требования, связанные как с эксплуатацией, так и с изготовлением инструмента. При машинном проектировании вся исходная информация соответствующим образом классифицируется и кодируется.

Различают количественную и качественную информацию. К количественной информации относят различные численные характеристики объекта. При проектировании режущего инструмента

к ним относятся параметры обрабатываемых деталей, операции используемого станка, оснастки и инструмента.

К качественной информации относят характеристики состояний описываемых объектов. Обычно при ручном проектировании эту информацию описывают словами. Например, марка материала, модель станка, вид обработки, вид (тип) резца, направление винтовой канавки (правое или левое) и т. д. При автоматизированном проектировании качественная информация кодируется с помощью специальных кодов, т. е. осуществляется ее перевод в количественную информацию.

Выходная информация. В процессе разработки программы проектирования РИ необходимо знать перечень информации, которая должна быть выведена на печать. В процессе разработки алгоритма и формирования выходной информации количество входных данных может корректироваться.

С увеличением универсальности алгоритма можно решать более широкие задачи и получать больше выходной информации. Однако одновременно усложняется сбор исходной информации, удлиняется время подготовки, увеличивается вероятность появления ошибок, процесс расчета становится дороже. Поэтому в каждом конкретном случае разработчик алгоритма должен решать вопрос об оптимальном объеме входной и выходной информации.

Информационный фонд и его состав. Одной из важнейших задач при разработке САПР является создание информационного обеспечения процесса проектирования, т. е. создание информационного фонда. Известно, что в настоящее время инженер—проектировщик затрачивает в среднем одну треть рабочего времени на библиотеку, кабинет типовых проектов, технический архив, группу информации или другие аналогичные подразделения.

В общем случае информационный фонд включает следующие данные: описание деталей; функции и технические характеристики оборудования, приспособлений, инструментов; обозначение марок, профиля, размеров и свойств материалов; различные справочно-нормативные данные; описания технологических процессов; информацию, содержащуюся в технической документации различного рода, и т. д.

Кроме информации, требующейся в ходе проектирования, в фонд входят программы расчета параметров и характеристик проектируемого объекта, описания модулей и т. д. Информация может храниться как в кодированном виде, допускающем ее непосредственную машинную обработку, так и в некодированном естественном виде на различных носителях (обычно в виде микрокопий). Фонд создается постепенно в ходе реализации решений различных задач. Информация при этом принципиально новая или является результатом модернизации известных решений.

Источниками для неавтоматизированного или автоматизированного проектирования являются одни и те же научно-технические

материалы. Однако в последнем случае требования к этим материалам более четкие и жесткие. Главное требование — поступающая информация должна быть минимально необходимой и достаточной для решения поставленных задач. Для неавтоматизированного проектирования часто пользуются неполной информацией, которую в процессе проектирования дополняет сам человек.

Пополнение информационного банка является главной задачей разработчиков и эксплуатационников САПР. Чем полнее и качественнее его содержание, тем меньше затраты и тем больше остается средств и времени для творческой работы в области проектирования. Состав информационного банка определяется задачами проектирования. Однако при всем многообразии задач и технических средств при автоматизации проектирования именно массивы данных объединяют в информационном плане все звенья системы и все решаемые задачи.

Для решения творческих (изобретательских) задач на различных уровнях САПР с использованием поэтапного принципа проектирования необходимо в информационном фонде иметь библиотеку этих элементов, в том числе *конструктивных* элементов. В настоящее время имеются информационные материалы в виде ГОСТов и ОСТов на следующие конструктивные элементы: а) на режущую часть: формы заточки режущей части; режущие пластины (быстрорежущие и твердосплавные), формы и размеры; стружколомы; ножи клиновые гладкие и с рифлениями; профили стружечных канавок; б) на крепежно-присоединительную часть: шпонки, шлицевые и клиновые соединения, конусы инструментов, хвостовики инструментов (диаметры, квадраты, лыски и отверстия под квадраты), хвостовики цилиндрические; в) на механизм крепления режущей части: клинья для инструментов со вставными ножами, опорные пластины (формы и размеры), рифления и углы наклона ножей и пазов инструмента; крепление инструментов в оправках (типы и размеры).

Полного обобщенного материала по элементам, используемым в процессе проектирования новых видов, типов и схем конструкций, нет. Это задача исследователей и конструкторов на ближайшее время.

Для решения задач проектирования на основе практических данных используются соответствующие справочно-информационные материалы в виде таблиц соответствий; их называют также таблицами принятия решений (ТПР).

Для расчетных задач используют соответствующие табличные данные исходных параметров.

3.2.5. Программное и техническое обеспечение САПР

Программное обеспечение САПР включает языки программирования, общесистемное и прикладное обеспечение. Языки программирования используют программисты и изредка инженеры — пользователи САПР. Языки в данной книге не рассматриваются.

Инженеру — пользователю ЭВМ необходимо знать входные языки. Основные требования, которым должны удовлетворять входные языки САПР: возможность описания любых объектов проектирования; максимальное удобство алфавита и синтаксиса языка для восприятия человеком; максимальная лаконичность записи; однозначность интерпретации; возможность развития и расширения языка с развитием САПР; отсутствие посредника между пользователем и ЭВМ.

Общесистемное программное обеспечение предназначено для планирования и организации процесса обработки, ввода—вывода, управления данными, распределения ресурсов, подготовки и отладки программ и других вспомогательных операций обслуживания.

Ограничения, накладываемые общесистемным программным обеспечением, пользователи ЭВМ должны знать и учитывать.

Прикладное программное обеспечение оформляется в виде пакета прикладных программ (ППП). Они разбиваются на проблемно- и процедурно-ориентированные ППП.

Проблемно-ориентированные ППП обеспечивают использование внешних устройств (подготовка графических документов, перфолент для станков с ЧПУ и т. д.); хранение, поиск и доступ к большим объемам информации и т. д. Процедурно-ориентированные ППП строятся с использованием проблемно-ориентированных ППП и содержат программно-реализованные процедуры проектирования.

Что касается технического обеспечения САПР, то его структура зависит от конкретных условий реализации системы. Для обеспечения пакетного решения работы ЭВМ обычно достаточно иметь следующий набор устройств: подготовки данных, ввода—вывода с перфокарт и перфолент, АЦПУ для выхода результатов. Диалоговый режим реализуется с использованием специальных устройств, в том числе дисплеев.

Периферийные устройства, обеспечивающие пакетный и диалоговый режимы работы САПР, объединяют в комплекс оборудования, называемый автоматизированным рабочим местом конструктора (АРМК).

Основные требования к техническим средствам: обеспечение решения задач всех этапов проектирования; обеспечение эффективного взаимодействия проектировщиков с ЭВМ; наличие режима работы ЭВМ с разделением времени для одновременного обслуживания всего коллектива проектировщиков; возможность увеличения количества технических средств с целью расширения и модернизации системы.

3.2.6. Ввод в действие САПР

Разработка САПР представляет собой крупную научно-техническую проблему, решение которой требует значительного времени и крупных капиталовложений. Для реализации САПР не-

обходимо разработать единые математические модели, методы и алгоритмы, учитывающие возможности ЭВМ. Надо составлять программы не только для решения уравнений, получаемых вручную, но и для вывода этих уравнений ЭВМ. Соблюдение подобных универсальных программ существенно изменяет схему использования ЭВМ. Кроме этого, необходимо провести работы по алгоритмизации задач, которые не имеют расчетных характеристик, в том числе задач поиска и структурных задач. Необходимо обеспечить удобства использования программ путем применения средств оперативной связи инженера с ЭВМ, специальных проблемно-ориентированных языков и наличия библиотек со специфическими параметрами математических моделей.

Все указанное необходимо объединить в единую проектирующую систему (САПР), включающую технические средства, программное и математическое обеспечение, с учетом особенностей задач инструментального проектирования.

Весь этот сложный комплекс работ САПР инструмента пока не реализован. Практически отлажены лишь отдельные элементы этой системы. Решение отдельных задач осуществляется по следующей схеме: 1) математическая формулировка задачи; 2) выбор методов решения; 3) разработка алгоритма; 4) запись программы на алгоритмическом языке; 5) кодирование исходных данных; 6) занесение программы и исходных данных на промежуточный носитель (перфорация); 7) отладка программы, обнаружение ошибок и внесение исправлений; 8) решение задачи; 9) обработка результатов — построение графиков, таблиц, чертежей и других документов.

Этапы 1—5 и 9 обычно выполняются инженером, этап 6 — оператором вычислительного центра, а этапы 7 и 8 связаны с использованием ЭВМ.

3.3. РАСЧЕТ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ РИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Автоматизированное проектирование РИ может осуществляться на различных уровнях — от поиска требуемого типа-размера инструмента до осуществления новых конструктивных решений с использованием ЭВМ в режиме диалога. Это вызвано рядом причин: разной трудоемкостью расчетов различных видов РИ, в том числе стандартного или специального; различным типом производства и параметрами используемых ЭВМ; изменяющимися и быстро растущими возможностями мини- и макро-ЭВМ. В этих условиях системный подход к проектированию РИ, с использованием модулей решения типовых задач, становится необходимым.

Ниже изложен материал, иллюстрирующий на конкретных примерах различные уровни реализации САПРИ (см. п. 2 и рис. 1.1) с использованием ЭВМ.

Принята следующая условная градация рассматриваемых задач (модулей) по мере их усложнения:

1-й уровень — поиск типоразмера РИ при оснащении технологического процесса обработки заготовки из имеющихся стандартных и специальных конструкций;

2-й уровень — реализация отдельных блоков расчетной части 3-го этапа САПРИ, математически формализованных;

3-й уровень — оптимизация выбора конструктивных параметров инструмента;

4-й уровень — реализация всех блоков расчетной части 3-го этапа САПРИ;

5-й уровень — поиск новых решений на основе поэлементного принципа проектирования (пример структурного синтеза), здесь не рассматривается;

6-й уровень — решение задач проектирования РИ на базе АРМКИ с реализацией САПРИ — практически полностью еще не осуществлен, а поэтому здесь не рассматривается.

3.3.1. Поиск типоразмера РИ

Поиск конструкции РИ может осуществляться по тем параметрам, которые заданы в ГОСТах, ОСТах или чертежах предприятия. Соответственно число параметров — входных данных — может колебаться от трех до нескольких десятков, что зависит также от вида РИ. Следует отличать задачу поиска РИ по известным параметрам от поиска (выбора) РИ по заданным условиям обработки (станок, заготовка и др.). Последняя задача — более общая и сложная.

Поиск РИ может осуществляться различными службами предприятия. Типичные случаи: поиск РИ технологом при разработке техпроцесса и поиск РИ конструктором при разработке специального РИ (поиск аналога). В первом случае задача автоматизированного поиска осуществляется в рамках информационно-поисковой системы технологического назначения (ИПС ТН), являющейся подсистемой АС ТПП. Требования к ИПС, их классификация и правила разработки регламентированы ГОСТ 14.409—75, ГОСТ 14.411—77, ГОСТ 14.415—81 и др. Во втором случае задача поиска РИ является первым этапом системы САПРИ.

Рассмотрим автоматизированный поиск РИ на примере оснащения технологического процесса фрезами. Для этого должны быть проведены предварительные работы по упорядочению исходной справочно-нормативной информации.

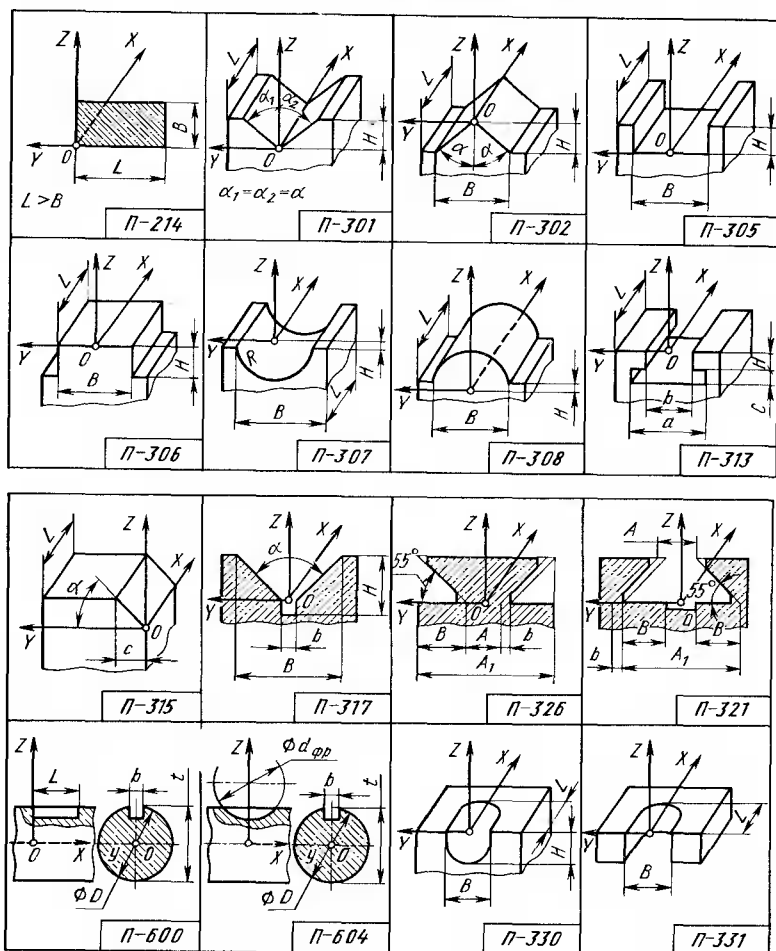
Автоматизация выбора режущего инструмента (по методике ИТК АН БССР) включает следующие этапы.

1. Разработка видов и разновидностей поверхностей деталей, обрабатываемых фрезами (табл. 3.5).

2. Разработка классификации фрез, предназначенной для данной задачи.

3. Определение предельных размеров обрабатываемых поверхностей для соответствующего типа фрез.

3.5. Кодировочная таблица видов и разновидностей поверхностей обрабатываемых деталей



3.6. Таблица обозначений размерных параметров обрабатываемых поверхностей

П	ARG ₁	ARG ₂	ARG ₃	П	ARG ₁	ARG ₂	ARG ₃
214	B, мм	—	—	317	α, °	H, мм	b, мм
301	α, °	H, мм	—	326	α, °	H, мм	—
302	α, °	H, мм	—	327	α, °	H, мм	b, мм
305	B, мм	H, мм	—	330	B, мм	H, мм	—
306	B, мм	H, мм	—	331	B, мм	H, мм	—
307	B, мм	H, мм	—	332	B, мм	H, мм	—
308	B, мм	H, мм	—	600	b, мм	D, мм	—
313	a, мм	—	—	604	D, мм	b, мм	—
315	α, °	c, мм	—	...	...	...	...

3.7. Определение кода F_1

Π	ARG_1	F_1	Π	ARG_1	F_1	Π	ARG_1	F_1
333	—	1	306	<65,1	28	326	<55	0
214	<385,1	2	306	<80,1	29	326	<85,1	56
214	<400,1	3	306	>80	100	326	>85	100
214	>400	100	307	<3	0	327	<55	0
301	<15,1	0	307	<8,1	33	327	<85,1	58
301	<50,1	4	307	<32,1	34	327	>85	100
301	>50	100	307	<50,1	35	600	<2	0
302	<5	0	307	>50	100	600	<40,1	61
302	<15,1	6	308	<3	0	600	>40	100
302	<30,1	7	308	<32,1	39	604	<4	0
302	<50,1	9	308	>32	100	604	<80,1	63
302	<60,1	10	313	<10	0	604	>80	100
302	>60	100	313	<54,1	41	330	<8	0
305	<0,2	0	313	>54	100	330	<25,1	65
305	<1,6	16	315	<30	0	330	>25	100
305	<3,1	17	315	<60,1	42	331	<1,5	0
305	<5,1	18	315	<85,1	43	331	<12,1	67
305	<6,1	19	315	>85	100	331	<80,1	68
305	<28,1	20	317	<10	0	331	>80	100
305	<50,1	21	317	<60,1	47	332	<1,5	0
305	<80,1	22	317	<70,1	48	332	<80,1	70
305	>80	100	317	<120,1	49	332	>80	100
306	<30	27	317	>120	100	—	—	—

3.8. Определение кода F_2

Π	ARG_2	F_2	Π	ARG_2	F_2	Π	ARG_2	F_2
301	<10	0	306	>224	100	326	<6	0
301	<26,1	5	307	<1,5	0	326	<10,1	57
301	>26	100	307	<4,1	36	326	>10	100
302	<4	0	307	<16,1	37	327	<6	0
302	<5,1	11	307	<25,1	38	327	<10,1	59
302	<6,1	12	307	>25	100	327	>10	100
302	<10,1	13	308	<1,6	0	600	<63,1	62
302	<22,1	14	308	<16,1	40	600	>63	100
302	<48,1	15	308	>16	100	604	<1	0
302	>48	100	315	<8	44	604	<12,1	64
305	<24	23	315	<13,1	45	604	>12	100
305	<110,1	24	315	<24,1	46	330	<125,1	66
305	<150,1	25	315	>24	100	330	>125	100
305	<224,1	26	317	<5	0	331	<224,1	69
305	>224	100	317	<6,1	50	331	>224	100
306	<50	30	317	<10,1	51	332	<224,1	71
306	<110,1	31	317	<22,1	52	332	>224	100
306	<224,1	32	317	>22	100	—	—	—

3.9. Определение кода F_3

Π	ARG_3	F_3
317	$<1,6$	0
317	$<2,51$	53
317	$<3,51$	54
317	$<22,1$	55
317	>22	100
327	<10	0
327	$<25,1$	60
327	>25	100

4. Кодированные таблицы: типов фрез и типов фрезерных станков.

5. Разработка вспомогательных таблиц (табл. 3.6—3.9), по которым, зная обрабатываемые поверхности Π_i и их размеры (обозначенные как ARG_i), определяют соответствующий код (номер столбцов F_i таблицы применения).

6. Разработка таблиц применения, на основании которых непосредственно определяют (по коду поверхностей и их размерам) возможности использования соответствующего типа фрез (табл. 3.10).

Кодировочная таблица типов фрез приведена ниже.

Фреза	Код Ф
Прорезная (шлицевая) и отрезная	01
Дисковая трехсторонняя	02
Дисковая двусторонняя	03
Дисковая пазовая	04
Угловая односторонняя	05
Двуугольная симметричная	06
Полукруглая выпуклая	07
Полукруглая вогнутая	08
Цилиндрическая	09
Торцовая	10
Концевая с торцовыми зубьями	11
Концевая без торцовых зубьев	12
Шпоночная	13
Концевая угловая	14
Концевая радиусная	15
Пазовая для шпонок сегментных	16
Пазовая для Т-образных пазов	17
Концевая угловая для пазов типа «ласточкин хвост»	18

Кодировочная таблица типов фрезерных станков приведена ниже.

Тип станка	Код С
Горизонтально-фрезерный	72
Вертикально-фрезерный	73
Продольно-фрезерный	74
Копировально-фрезерный	75
Барabanно-фрезерный	76
Карусельно-фрезерный	77

На рис. 3.3 представлена схема алгоритма выбора типа фрезы с использованием данных табл. 3.10. В таблице каждая строка соответствует определенному типу фрезы, а столбец — определенным условиям применения фрезы. Ноль означает невозможность применения, а единица — возможность применения типа фрезы при заданных условиях.

3.10. Таблица соответствий (применяемости) стандартных фрез

Ф	F _i Условия применяемости																																	
	1	2	3	4	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74		
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
9	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
14	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Последовательность решения задачи поиска следующая: а) по заданным виду обрабатываемых поверхностей Π_i и размерам ARG_i определяют соответствующие номера столбцов F_i таблицы соответствия (применяемости), используя при этом данные табл. 3.6—3.9; б) производят логическое умножение полученных значений в выделенных столбцах; в) определяют номера строк результирующего столбца, в котором стоят единицы.

Пример выбора фрезы. Исходные данные: ПЗ17. По табл. 3.6 определяем $ARG_1 = 60$; $ARG_2 = 8$; $ARG_3 = 3$. Станок — вертикально-фрезерный. Код станка приведен на с. 154 — С73. Решение: согласно алгоритму (см. рис. 3.3) определяют номера столбцов соответствия (табл. 3.7—3.9): $F_1 = 47$; $F_2 = 51$; $F_3 = 54$. С73 совпадает с $F_4 = 73$. По табл. 3.10 находим как результат логического умножения 14-ю строку, что и определяет Ф (решение показано квадратиками с жирной обводкой). На с. 154 по коду Ф определяем: фреза концевая угловая.

В различных АСТПП задача поиска инструмента, в том числе необходимого, осуществляется различно. Это различие начинается с оформления входной информации об обрабатываемой детали. В частности, для последующей разработки технологического процесса обработки детали первичную информацию вводят в виде общих сведений о поверхностях детали, в том числе код вида поверхности. В связи с этим используются соответствующие классификации поверхностей. Известны различные классификации, однако общим является способ автоматизированного поиска соответствующего технологического перехода (цикла). После выявления типовых поверхностей (или их сочетаний, называемых типовыми элементами деталей) к ним подбирают типовые технологические переходы (циклы). Например, при автоматизации технологической подготовки обработки корпусных деталей на

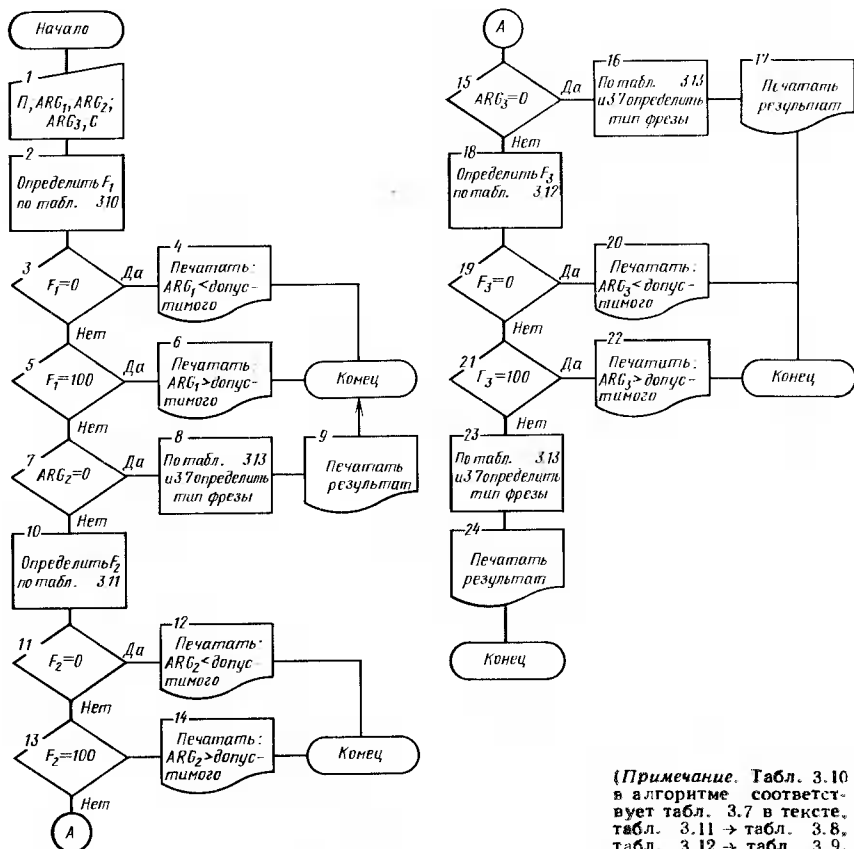


Рис. 3.3. Схема алгоритма выбора типа фрезы

автоматизированных участках станков с ЧПУ в ЭНИМСе разработана система подготовки управляющих программ (СПУП АСК). Здесь процесс обработки детали рассматривается как сочетание технологических циклов простых (ПТЦ), групповых (ГТЦ), комбинированных (КТЦ) и сложных (СТЦ). С целью упрощения алгоритмизации и программирования каждый ПТЦ структурно разбит на четыре типовых подцикла: подцикл *J* определяет логику выбора инструмента; в подцикле *G* реализуется выбор вида траектории перемещения инструмента и рассчитываются координаты опорных точек; в подцикле *R* определяются режимы резания; в подцикле *T* назначаются команды для системы ЧПУ.

Такое построение позволяет при малом числе унифицированных типовых подциклов реализовать большое разнообразие технологических циклов.

3.3.2. Выбор и оптимизация геометрических параметров зенкера

Данный расчет (модуль) приведен в качестве примера оптимизационной задачи при реализации блока 4 системы СПРИ (см. рис. 1.1).

Зенкер (см. рис. 2.26) выполняется с режущей частью из быстрорежущей стали; имеет правое вращение на станке и винтовые стружечные канавки.

В общем случае рациональные геометрические параметры зенкера легче обеспечить при правых канавках. Левые канавки необходимы в тех случаях, когда обязательным условием работы зенкера является направление выхода стружки вперед при сквозном отверстии. Такое направление выхода стружки является обязательным условием работоспособности некоторых комбинированных инструментов (зенкер-развертка, зенкер-метчик, зенкер-зенкер), а также используется при высоких требованиях к шероховатости поверхности отверстия или при обработке высокотвердых материалов [23]. Примем следующие границы масовости алгоритма: обрабатываемый материал — металл любой марки (см. прил. 1); диаметр зенкера $d = 10 \div 100$ мм; канавки левые; отношение длины отверстия к диаметру $l/d = 0,5 \div 3$. Требования к точности и шероховатости обработанного отверстия — обычные для зенкерования (~ 11 -й квалитет; $R_z \approx 20$ мкм); режимы резания — нормативные.

Особенности геометрических параметров зенкера с левыми канавками следующие. Выход стружки вперед зависит от значений ω , λ_1 и φ_c ; следовательно, значение этих параметров должно выбираться из условия обеспечения направления выхода стружки: значения (абсолютные) λ и ω должны быть достаточно большими; при $\lambda < 0$ и $\omega < 0$. Влияние φ_c на выход стружки сложнее: чисто геометрически чем меньше φ_c , тем в большей степени направление движения стружки приближается к оптимальному — вперед зенкера, параллельно его оси. Однако с уменьшением φ_c и при малых подачах стружка становится тоньше, может ломаться, превращаться для ряда материалов из сливной в элементную, что затруднит ее выход.

При больших отрицательных значениях ω трудно обеспечить наличие положительного переднего угла γ_c .

Из данных, приведенных в прил. 7, видно, что при $\omega < 0$, $\lambda < 0$, γ_c почти во всем диапазоне возможных сочетаний φ_c (φ_1), λ_c (λ_1) и ω (для зенкера $\omega = \gamma_{\text{поп}}$) имеет место $\gamma_c < 0$, даже при достаточно больших положительных значениях $\gamma_{\text{прод}}$. Например, при $\varphi_1 = 60^\circ$ ($\varphi_c = 56,3^\circ$), $\lambda_1 = -30^\circ$, $\omega = -25^\circ$ передний угол γ_c имеет значение $\gamma_c = -13,5^\circ$, в то время как $\gamma_{\text{прод}} = 14,9^\circ$. Поэтому одной из основных задач выбора и оптимизации геометрических параметров зенкера с левыми канавками является обеспечение максимально возможного значения угла γ_c при нали-

ции достаточно больших отрицательных значений ω и λ_1 . В соответствии с общей методикой выбора геометрических параметров (см. рис. 2.27) можно использовать следующий алгоритм для автоматизированного проектирования.

На основе таблиц соответствий в зависимости от ОМ (см. прил. 1) выбирается диапазон допустимых значений углов φ_c , ω , λ_1 , $\gamma_{\text{прод}}$. При разработке таблиц нужно учитывать следующее.

Значение φ_c для зенкера обычно принимается 45° или 60° . Учитывая сложную зависимость (2.34) γ_c от φ_c , при которой угол γ_c может принимать в соответствии с уравнением (2.44) экстремальные значения, различные при разных ω и λ_1 , диапазон возможных значений φ_c желательно расширить (35 — 65°). При этом обеспечиваются, в общем случае, большие возможности для приближения γ_c к оптимальному. При малом диапазоне возможных значений φ_c может оказаться, как это видно из прил. 7, что соответствующий диапазон возможных значений γ_c включает лишь отрицательные значения. Это нежелательно, особенно при обработке вязких материалов и с небольшой твердостью.

Максимальное (алгебраическое) значение ω должно быть принято около -12° — -16° ; большие из них (-12°) — для коротких отверстий при значении l/d до 2. При больших значениях ω не обеспечивается выход стружки вперед [23]. Минимальное значение ω не должно быть слишком большим по абсолютной величине, иначе чтобы обеспечить угол $\gamma_c \geq 0$, придется принимать слишком большие по абсолютному значению углы λ_1 и $\gamma_{\text{прод}}$. Например, чтобы получить $\gamma_c \simeq 0$ при $\omega = -30^\circ$, λ_1 и $\gamma_{\text{прод}}$ должны иметь значения соответственно -50° и 20 — 45° (при разных φ_c). При $\omega = -20^\circ$, чтобы получить $\gamma_c = 0$ необходимо, как это видно из прил. 7, чтобы $|\lambda_1| > (36^\circ \div 40^\circ)$, $\gamma_{\text{прод}} > (12^\circ \div 32^\circ)$, $|\lambda_0| > (20^\circ \div 35^\circ)$. Поэтому примем $\omega_{\text{min}} \simeq (-20^\circ \div -24^\circ)$; меньшее значение (-24°) — для более вязких материалов и при больших l/d .

Возможные значения λ_1 для зенкеров с левыми канавками в ряде работ [23] рекомендуются от -7° — -14° до -22° — -25° . Учитывая, что увеличение абсолютного значения $|\lambda_1|$ способствует выходу стружки вперед, а также что с увеличением $|\lambda_1|$ до 40° сила резания меняется незначительно, примем большие отрицательные значения угла λ_1 до -30° — -36° . При малых $|\lambda_1|$, как видно из прил. 7, получить угол $\gamma_c > 0$ затруднительно. Увеличение отрицательных значений λ_1 может привести к слишком большим положительным значениям $\gamma_{\text{прод}}$. Поэтому в алгоритме предусмотрены условия, при которых $\gamma_{\text{прод}} \leq \gamma_{\text{прод max}}$; значение угла $\gamma_{\text{прод}}$ на зенкере совпадает одновременно со значением продольного переднего угла в точке А кромки АВ и значением переднего угла в торцовом сечении ТТ на калибрующей части. Максимальное значение $\gamma_{\text{прод max}}$ ограничивается прочностью кромки в точке А. Ориентировочные значения $\gamma_{\text{прод max}}$ можно установить 10 — 35° в зависимости от твердости (прочности)

материала детали, выбирая большие значения $\gamma_{\text{прод max}}$ для более мягких материалов.

Таким образом, принимаем

$$\begin{aligned}\omega_{\text{max}} &= -12 \div -16^\circ; & \omega_{\text{min}} &= -20 \div -24^\circ; \\ \lambda_{1 \text{ max}} &= -12 \div -15^\circ; & \lambda_{1 \text{ min}} &= -30 \div -36^\circ; \\ \varphi_{\text{с max}} &= 65^\circ; & \varphi_{\text{с min}} &= 35^\circ; & \gamma_{\text{прод max}} &= 10 \div 35^\circ.\end{aligned}\quad (3.1)$$

При наличии новых опытных данных, прежде всего с точки зрения обеспечения выхода стружки, указанные предельные значения должны корректироваться.

Величина $\gamma_{\text{с}}$ выбирается по таблицам в зависимости от обрабатываемого материала ОМ (см. прил. 1):

$$\gamma_{\text{с}} = f(\text{ОМ}). \quad (3.2)$$

Задний угол принимается $\alpha_{\text{с}} = 6 \div 8^\circ$.

Значение $\gamma_{\text{с}}$, найденное из (3.2), может корректироваться с учетом состояния поверхности (например, окалина), жесткости технологической системы и надежности.

Принимаются значения ω ($\omega = \gamma_{\text{поп}}$) и λ_1 , при которых $\gamma_{\text{с}}$ имеет максимально возможное значение:

$$\omega = \omega_{\text{max}}; \quad \lambda_1 = \lambda_{1 \text{ min}}. \quad (3.3)$$

С использованием уравнения (2.39) и учитывая, что для зенкера $\omega = \gamma_{\text{поп}}$ (см. рис. 2.26), находят максимально допустимое значение $\varphi_{\text{с}} = \varphi_{\text{с max 1}}$, при котором $\gamma_{\text{прод}} \leq \gamma_{\text{прод max}}$:

$$\text{ctg } \varphi_{\text{с max 1}} = (\text{tg } \lambda_1 + \text{tg } \gamma_{\text{прод max}}) \text{ctg } \omega. \quad (3.4)$$

Если $\varphi_{\text{с max 1}} \leq \varphi_{\text{с max}}$, то идти к (3.6), иначе — к (3.7); $\varphi_{\text{с max}} = \varphi_{\text{с max 1}}$, далее — к (3.10).

$$\varphi_{\text{с max}} = \varphi_{\text{с max 1}}, \text{ далее — к (3.10)}. \quad (3.6)$$

Если $\varphi_{\text{с max 1}} < \varphi_{\text{с min}}$, то идти к (3.8), иначе — к (3.9).

Выполнение условия (3.7) означает, что из-за ограничения максимальной величины $\gamma_{\text{прод max}}$ нет возможности выбора угла $\varphi_{\text{с}}$, и допускается лишь одно его значение, определяемое из (3.8):

$$\varphi_{\text{с}} = \varphi_{\text{с min}}, \quad (3.8)$$

далее идти к (3.19);

$$\varphi_{\text{с max}} \text{ — из (3.1)}; \quad (3.9)$$

далее — к (3.10).

С использованием (2.44) определяется значение $\varphi_{\text{с}} = \varphi_{\text{р}}$, при котором $\gamma_{\text{с}}$ имеет максимальное значение:

$$\left. \begin{aligned} g &= \frac{\text{tg}^2 \omega}{3 \text{tg}^2 \lambda_1}; & e &= \sqrt{2,25 + g}; \\ \sin^3 \varphi_{\text{р}} &= \sqrt[3]{g} (\sqrt[3]{1,5 + e} + \sqrt[3]{1,5 - e}). \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

Если $\varphi_p > \varphi_{0 \max}$, где $\varphi_{0 \max}$ определяется из (3.6) }
или из (3.9), то $\varphi_0 = \varphi_{0 \max}$ и далее переходить к (3.14); } (3.11)
иначе к (3.12).

Если $\varphi_p < \varphi_{0 \min}$, принять $\varphi_0 = \varphi_{0 \min}$ и далее переходить к (3.14); иначе к (3.13): (3.12)

$$\varphi_0 = \varphi_p; \quad (3.13)$$

С учетом (2.34) и (2.28) определяется максимальное значение γ_0 , которое можно получить при заданных условиях:

$$\operatorname{tg} \gamma_{0 \max} = \operatorname{tg} \omega \operatorname{cosec} \varphi_0 - \operatorname{tg} \lambda_1 \cos \varphi_0. \quad (3.14)$$

Если $\gamma_{0 \max} > \gamma_0$, где γ_0 — из (3.2), идти к (3.16); иначе к (3.17). (3.15)

λ_1 , при котором γ_0 принимает заданное из (3.2) значение:

$$\operatorname{tg} \lambda_1 = (\operatorname{tg} \omega \operatorname{cosec} \varphi_0 - \operatorname{tg} \gamma_0) \sec \varphi_0, \quad (3.16)$$

где γ_0 — из (3.2); далее — к (3.17).

Выполнение неравенства (3.15) означает, что возможно уменьшение ω или увеличение λ_1 по сравнению с принятыми в (3.3); угол γ_0 получится требуемой величины. В данном алгоритме для этого случая предусмотрено увеличение λ_1 , поскольку его минимальное значение принято несколько меньше рекомендуемого. Увеличенное λ_1 рассчитывается из (3.16).

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{прод}} = \operatorname{tg} \omega \operatorname{ctg} \varphi_0 - \operatorname{tg} \lambda_1. \quad (3.17)$$

Выводить на печать:

$$\varphi_0; \gamma_0; \alpha_0; \lambda_1; \gamma_{\text{прод}}; \omega. \quad (3.18)$$

Рассчитать γ_0 из (3.19) и $\gamma_{\text{прод}}$ из (3.17), приняв в обоих случаях $\varphi_0 = \varphi_{0 \min}$:

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \operatorname{tg} \omega \operatorname{cosec} \varphi_0 - \operatorname{tg} \lambda_1 \cos \varphi_0. \quad (3.19)$$

При расчете из (3.19) значение γ_0 получится меньше, чем требуемое, найденное из (3.2); разница в некоторых случаях может быть весьма большой, но при заданных в (3.1) и (3.2) параметрах обеспечивается наименьшая ее величина.

Если γ_0 находится из (3.19), следует печатать: «для увеличения γ_0 необходимо увеличить $\gamma_{\text{прод} \max}$ либо уменьшить $\varphi_{0 \min}$ »; печатать также значения тех же углов, что и в (3.18). (3.20)

Для изготовления, контроля, а также в качестве дополнительных сведений могут быть рассчитаны и другие геометрические параметры зенкера, показанные на рис. 2.26. Например, для контроля и заточки удобнее задаваться не углом φ_0 , а углом φ_1 ,

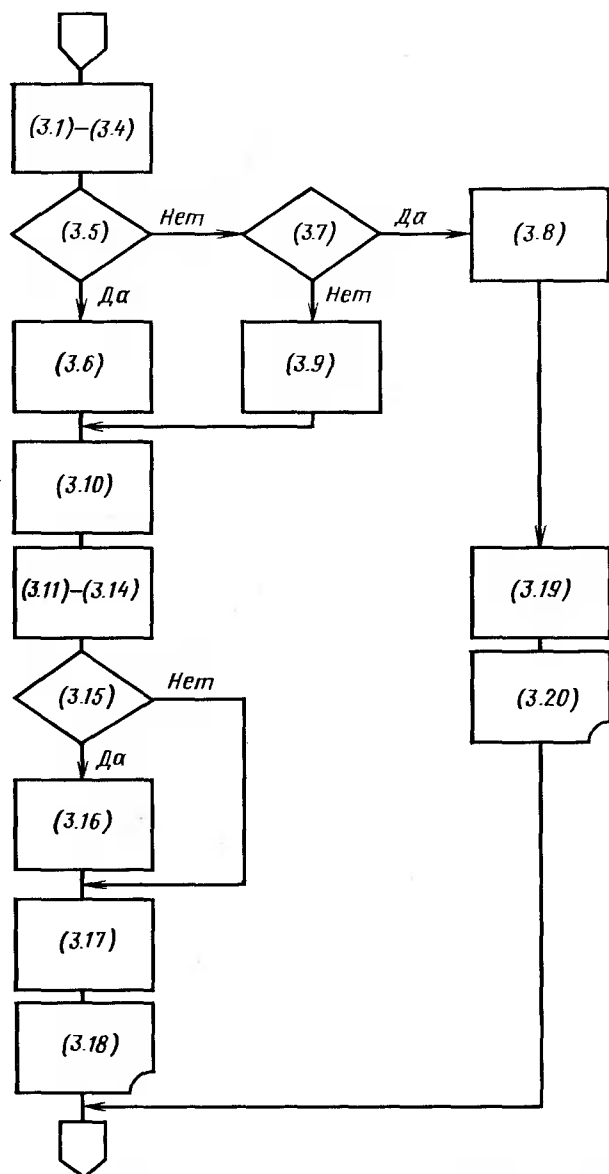


Рис. 3.4. Схема выбора геометрических параметров зенкера

который может значительно отличаться от φ_c . Для заточки и контроля также удобнее задаться на чертеже углом α_{nc} вместо α_c . Значение φ_1 рассчитывается из (2.30); α_{nc} — из (2.23).

Схема выбора геометрических параметров зенкера представлена на рис. 3.4.

Пример расчета

Исходные данные: обрабатываемый материал — латунь средней твердости $HB \leq 140$; диаметр отверстия $d = 25$ мм, длина отверстия $l = 30$ мм; зенкер выполняется из быстрорежущей стали Р6М5 (см. рис. 2.26), с левыми канавками; точность отверстия по качеству 11, шероховатость после зенкерования $Rz = 10$ мкм. Остальные условия — режимы резания, жесткость СПИД и др. — средние, нормативные.

Выбор геометрических параметров производится по алгоритму (3.1)—(3.20) (рис. 3.4). В соответствии с (3.1)—(3.2), учитывая, что материал детали невысокой твердости и отношение l/d невелико:

$$\omega_{\max} = -16^\circ; \quad \omega_{\min} = -24^\circ;$$

$$\lambda_{1\max} = -20^\circ; \quad \lambda_{1\min} = -36^\circ;$$

$$\varphi_{c\max} = 65^\circ; \quad \varphi_{c\min} = 35^\circ;$$

$$\gamma_c = 15^\circ; \quad \alpha_c = 8^\circ; \quad \gamma_{\text{прод}} = 30^\circ.$$

$$\text{Из (3.3): } \omega = -16^\circ; \quad \lambda_1 = -36^\circ.$$

$$\text{Из (3.4): } \operatorname{ctg} \varphi_{c\max 1} = [\operatorname{tg}(-36^\circ) + \operatorname{tg} 30^\circ] \operatorname{ctg}(-16^\circ) = 0,520295; \quad \varphi_{c\max 1} = 62,51^\circ;$$

$$\text{Из (3.5): } \varphi_{c\max 1} = 62,51^\circ < \varphi_{c\max} = 65^\circ;$$

$$\text{Из (3.6): } \varphi_{c\max} = \varphi_{c\max 1} = 62,51^\circ;$$

$$\text{Из (3.10): } g = \frac{\operatorname{tg}^2(-16^\circ)}{3 \operatorname{tg}^2(-36^\circ)} = \frac{0,08222}{1,58359} = 0,05192.$$

$$e = \sqrt{2,30192} = 1,51721;$$

$$\sin^2 \varphi_p = \sqrt[3]{0,05192 \cdot (\sqrt[3]{3,01721} + \sqrt[3]{-0,01721})} = 0,4427546;$$

$$\sin \varphi_p = 0,665398; \quad \varphi_p = 41,7^\circ.$$

$$\text{Из (3.11): } \varphi_p = 41,7^\circ < \varphi_{c\max} = 62,5^\circ;$$

$$\text{Из (3.12): } \varphi_p = 41,7^\circ > \varphi_{c\min} = 35^\circ;$$

$$\text{Из (3.13): } \varphi_c = \varphi_p = 41,7^\circ;$$

$$\text{Из (3.14):}$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{c\max} = \operatorname{tg}(-16^\circ) \operatorname{cosec}(41,7^\circ) - \operatorname{tg}(-36^\circ) \cos 41,7^\circ = 0,1114175;$$

$$\gamma_{c\max} = 6,36^\circ;$$

$$\text{Из (3.15): } \gamma_{c\max} = 6,36^\circ < \gamma_c = 15^\circ;$$

$$\text{Из (3.17): } \operatorname{tg} \gamma_{\text{прод}} = \operatorname{tg}(-16^\circ) \operatorname{ctg} 41,7^\circ - \operatorname{tg}(-36^\circ) = 0,404706; \quad \gamma_{\text{прод}} = 22,03^\circ.$$

$$\text{В соответствии с (3.18) печатается: } \varphi_c = 41,7^\circ; \quad \gamma_c = 6,4^\circ; \quad \alpha_c = 8^\circ; \quad \lambda_1 = -36^\circ; \quad \gamma_{\text{прод}} = 22^\circ; \quad \omega = -16^\circ.$$

Отметим для сравнения, что если принять обычно рекомендуемое для зенкеров значение угла $\varphi_1 = 60^\circ$ ($\varphi_c = 56,3^\circ$), то при $\lambda_1 = -30^\circ$ и $\omega = -25^\circ$ передний угол $\gamma_c = -13,5^\circ$, что значительно ухудшит работу и стойкость зенкера. Даже если принять λ_1 и ω те же, что рассчитаны выше (-36° и -16°), то передний угол имел бы значение $\gamma_c = 1,8^\circ$ при величине $\gamma_{\text{прод}} = 29,3^\circ$.

3.3.3. Расчет радиальных фасонных резцов

Изложенный ниже алгоритм предназначен для проектирования фасонных радиальных резцов для обработки поверхностей тел вращения, включает блоки 3—5 и 10 СПРИ (см. рис. 1.1) и является общим для дисковых и призматических резцов из быстрорежущих сталей. Выбор геометрических параметров (блок 4)

приведен для наиболее распространенных резцов с обычными параметрами и установкой при $\lambda = \sigma = \mu = \vartheta = 0$, $e = 0$ (см. п. 2.4.2.8). Блоки 15 и 16 СПРИ достаточно легко могут быть формализованы, но требуют существенного увеличения исходных данных и здесь не рассматриваются.

Исходные данные (блоки 1 и 2).

Деталь: материал, твердость (прочность) — ОМ (см. прил. 1); профиль детали: $r_1, r_2, r_3, \dots, r_j, \dots, r_k$; $z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0j}, \dots, z_{0k}$ (см. п. 2.4.2.8 и рис. 2.34, рис. 2.35); k — количество узловых точек профиля; t — глубина профиля; l_d — длина детали (ширина профиля).

Операция: режимы резания S, v .

Станок и державка для резца: жесткость технологической системы (в зависимости от длины детали, способа ее крепления, способа крепления резца) — средняя, пониженная или повышенная.

Инструмент: наружный радиус резца R_1 ; для дисковых резцов $R_1 \neq 0$ (величина R_1 определяется ниже), для призматических резцов $R_1 = 0$; g и n — номера узловых точек профиля резца, в которых задаются значения статических задних углов в сечениях, нормальных к проекции кромки на основную плоскость; ψ_g, ψ_n — углы профиля детали (резца) соответственно в точках g и n ; α_{cg} и α_{cn} — значения задних углов резца в точках g и n соответственно. Значения углов α_{cg} и α_{cn} задаются как минимально допустимые. Точки g и n следует выбирать среди тех точек j , где углы α_c имеют наименьшее значение по сравнению с другими точками кромки резца. При симметричном профиле углы α_{cg} и α_{cn} могут быть равны.

t_{14} — метка; при расчете профиля резца в нормальном к его задней поверхности сечении NN принимается $t_{14} = 0$; при расчете по передней поверхности $t_{14} = 1$.

Другие исходные данные, например условия $u_1 \dots u_{13}$ (см. п. 2.4.2.3), для выбора марки инструментального материала задаются в зависимости от формы соответствующих таблиц (см. табл. 2.9).

Угловые размеры задаются в градусах, линейные — в миллиметрах; величины ОМ, $k, g, n, t_{14}, u_1, \dots, u_{13}$ — безразмерные. Режимы резания (S и v), жесткость технологической системы входят в число условий $u_1, \dots, u_{13}$ и задаются либо как средние ($u = 1$), повышенные ($u = 2$) или пониженные ($u = 3$) (см. п. 2.4.2).

Выбор марки инструментального материала (ИМ), в данном случае быстрорежущей стали, осуществляется по таблице соответствий (см. п. 2.4.2.3, табл. 2.10). При обработке обычных конструкционных материалов наиболее часто используются марки Р6М5 (Р6АМ5) и Р6М5К5.

Предварительный (блок 4) и окончательный выбор геометрических параметров резца (блок 12), в данном случае при заранее

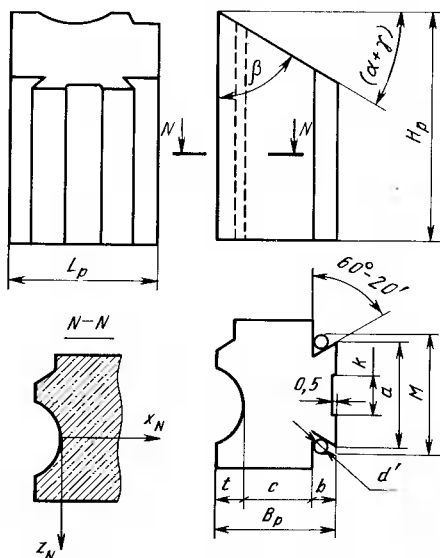


Рис. 3.5. Габаритные размеры призматического резца

заданной форме передней и задней поверхностей и при $\lambda = \sigma = \mu = \vartheta = e = 0$ (см. п. 2.4.2.8), целесообразно осуществлять совместно, после выбора габаритных размеров.

Определение габаритных размеров. Длина L_p резца в общем случае определяется (рис. 2.34, рис. 2.35, рис. 3.5)

$$L_p = l_d + k_1 l_1 + k_2 l_2 + k_3 b, \quad (3.21)$$

где $l_1 = 1 \div 3$ мм — на выходе резца из детали; $l_2 = 2 \div 5$ мм — поясok во избежание заострения кромки; $b = 2 \div 8$ мм — выступ участка кромки под отрезку; величины $k_1 - k_3$ задаются конструктором в зависимости от конфигурации профиля детали и количества k указанных участков: $k_1 = 1$ или 2; $k_2 = 0$; 1 или 2; $k_3 = 0$ или 1.

Для дискового резца (при $R_1 \neq 0$) рассчитывается сила резания P_z :

$$P_z = p_z (l_d + k_3 b) k_{om} k_\phi, \quad (3.22)$$

где k_3 и b определяют из (3.21); p_z — удельная сила резания — из табл. 3.11; k_{om} — коэффициент, зависящий от материала детали; k_ϕ — коэффициент, зависящий от формы профиля детали.

Значения коэффициента k_{om} даны ниже.

ОМ . . . 1	41; 52	53	2; 6; 7; 12; 54; 62	3; 8; 45; 124	13; 47; 125
k_{om} . . . 0,75	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
ОМ . . . 48	46	126	14	9	11
k_{om} . . . 1,25	1,3	1,35	1,6	1,8	2,2

Диаметр оправки дискового резца может быть определен из табл. 3.12 из условия жесткости в зависимости от силы P_z при $(D/L_p) \leq 3$. При $11\,000 \text{ Н} < P_z < 14\,600 \text{ Н}$ можно принять $d = 40$ мм.

Значения коэффициента k_ϕ приведены ниже.

Форма
профиля
детали...

k_ϕ ...



0,85



0,90



1,0



1,05

3.11. Удельная сила резания p_z , Н/мм, при длине $l_d = 1$ мм

Радиальная подача S_p , мм/об	Код обрабатываемого материала ОМ (см. прил. 1)				
	41; 51—54	45—48; 55—63	1—3	6—14	124—126
0,015	70,6	85,3	—	—	45
0,020	84,3	101	—	—	54
0,025	101	123	37	40	65
0,030	115	139	51	45	74
0,040	146	177	58	54	93
0,05	174	211	61	63	112
0,06	196	235	78,5	71	126
0,075	245	294	93	81	157
0,095	294	353	113	95	188
0,12	343	412	135	112	220
0,16	441	530	171	132	282
0,20	—	—	221	170	—

3.12. Диаметры d , мм, оправок дисковых резцов (при двустороннем креплении)

Длина резца L_p , мм	D/L_p	Сила резания P_z , Н, не более									
		1000	1270	1670	2200	2900	3700	4900	6400	8300	11 000
13	≤ 3	10	10	10	10	13	13	13	16	16	16
13	> 3	10	10	13	13	16	16	16	22	22	22
18	≤ 3	10	10	10	13	13	13	16	16	22	22
18	> 3	10	13	13	16	16	16	22	22	27	27
25	≤ 3	10	10	13	13	13	16	16	22	22	22
25	> 3	10	13	16	16	16	22	22	27	27	27
34	≤ 3	13	13	13	16	16	16	22	22	22	22
34	> 3	13	16	16	22	22	22	27	27	27	27
45	≤ 3	13	16	16	16	22	22	22	27	27	32
60	≤ 3	13	16	16	22	22	22	22	27	27	32
80	≤ 3	16	16	16	22	22	27	22	27	32	32

Наружный диаметр дискового резца

$$D = 2R_1 = 2(t + l_c + 0,75d), \quad (3.23)$$

где l_c — размер для выхода стружки (от 3 до 10 мм; большее значение — для больших t и l_d). Значение D округляется до ближайшего большего из стандартного ряда: 32; 40; 50; 63; 70; 80; 90; 100; 112; 120.

Если после расчета D отношение $(D/L_p) > 3$, следует снова повторить выбор d из табл. 3.12 и расчет D по (3.23). На практике размеры d и D должны выбираться с учетом имеющегося набора оправок, допускаемых державкой резца, что может быть учтено путем соответствующих изменений в табл. 3.12 и в стандартном ряду D .

3.13. Основные размеры
призматических резцов, мм

M	a	b	k	d'	H_p
18,58	15	4	7	3	75
24	20	6	10	4	75
34,46	25	6	15	6	75
45,77	30	10	20	10	90
55,77	40	10	25	10	90
83,66	15	15	40	15	100

Для призматических резцов (в исходных данных $R_1 = 0$) размер M (см. рис. 3.5) выбирается при $L_p \geq 18,6$ мм как ближайшее меньшее к L_p из табл. 3.13 при $L_p \leq 18,6$; $M = 18,58$.

Ширина резца

$$B_p = t + c + b, \text{ где } c = (0,25 \div 0,5) L_p, b \text{ (из табл. 3.16).}$$

(3.24)

Данные табл. 3.13 должны быть скорректированы с учетом имеющихся державок для резцов.

Выбор геометрических параметров. Для рассматриваемых резцов выбор параметров сводится к назначению переднего и заднего углов при вершине резца в точке I кромки (γ_1 и α_1 ; см. рис. 2.34 и рис. 2.35). При этом необходимо обеспечить минимально допустимые статические задние углы в точках g и n (см. исходные данные, с. 163), которые зависят от угла α_1 . В свою очередь, α_1 , γ_1 и угол заострения β лезвия связаны известной зависимостью $\alpha_1 + \gamma_1 + \beta = 90^\circ$. Таким образом, углы α_1 , γ_1 , β , $\alpha_{сг}$, $\alpha_{сн}$ должны выбираться с учетом взаимного влияния. В соответствии с общей методикой выбора геометрических параметров (см. п. 2.4.2.4; рис. 2.27) углы α_1 , γ_1 назначаются в следующей последовательности.

Из табл. 3.14 выбираются в зависимости от ОМ (см. исходные данные, с. 163) величины углов (табличные значения)

$$\beta = \beta_T, \quad \gamma_1 = \gamma_{1T}, \quad \alpha_1 = \alpha_{1T}. \quad (3.25)$$

Минимально допустимое значение угла β :

$$\beta_{\min} = \beta_T k_{\text{ИМ}} k_{\text{над}} k_{\text{ж}} k_S; \quad \beta_{\min} \leq 82^\circ, \quad (3.26)$$

где $k_{\text{ИМ}}$ выбирают в зависимости от инструментального материала резца (код ИМ — см. табл. 2.4); значения $k_{\text{ИМ}}$ приведены ниже.

ИМ	16	17	18	19	20	21
$k_{\text{ИМ}}$	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,51
ИМ	22	24	26	27	28	29
$k_{\text{ИМ}}$	1,2	1,2	1,15	1,15	1,2	1,2

$k_{\text{над}} = 1,0$ при отсутствии особых требований к надежности резца или $k_{\text{над}} = 1,2$ при повышенных требованиях; $k_{\text{ж}} = 1,0$ при средней жесткости или $k_{\text{ж}} = 1,1$ при пониженной жесткости (консольное крепление резца и др.); $k_S = 1,0$ при средней (или пониженной) подаче S или $k_S = 1,1$ при повышенной подаче.

$$\alpha_{1 \max} = 90^\circ - \beta_{\min}; \quad \alpha_{1 \max} \leq 25^\circ. \quad (3.27)$$

3.14. Табличные значения β , γ_1 , α_1 , °

ОМ	β_T	γ_{1T}	α_{1T}	ОМ	β_T	γ_{1T}	α_{1T}
1	40	30	20	48	65	5	8
2	45	25	16	52	45	20	15
3	50	20	15	53	50	12	12
6	45	20	20	62	60	8	10
9	60	8	10	93	60	10	12
11	65	5	8	97	65	8	12
12	45	25	20	103	65	5	10
13	50	20	15	108	70	5	10
14	60	12	10	111	75	5	10
19	40	30	20	117	55	15	10
24	40	30	20	118	65	8	10
28	40	30	20	119	70	0	10
41	45	15	15	124	60	10	10
45	55	10	12	126	70	0	8
46	65	5	10	128	60	5	12
47	55	8	10	129	65	5	8

Если $\alpha_{1\max} \leq \alpha_{1T}$, переходят к (3.29); в противном случае — к (3.30). (3.28)

$$\alpha_1 = \alpha_{1\max}; \quad \gamma_1 = 0^\circ; \quad \text{далее — к (3.57);} \quad (3.29)$$

$$\alpha_1 = \alpha_{1T}; \quad \gamma_{1\max} = 90^\circ - \beta_{\min} - \alpha_1. \quad (3.30)$$

Если $\gamma_{1\max} \leq \gamma_{1T}$, переходят к (3.32); иначе — к (3.33). (3.31)

$$\gamma_1 = \gamma_{1\max}, \quad (3.32)$$

$$\gamma_1 = \gamma_{1T}. \quad (3.33)$$

Если $\psi_g \neq 0$ или $\psi_n \neq 0$, переходят к (3.35); иначе — к (3.57). (3.34)

Принять $j = n$. (3.35)

Если $\psi_j \neq 0$, переходят к (3.37); иначе — к (3.43); (3.36)

$$t_j = r_j - r_1; \quad (3.37)$$

$$u_j = t_j \operatorname{tg} \gamma_1; \quad (3.38)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_j = \operatorname{tg} \alpha_{ej} \operatorname{cosec} \psi_j. \quad (3.39)$$

Если $R_1 \neq 0$, идти к (3.41); иначе — к (3.42); (3.40)

$$\sin \alpha'_{ij} = \frac{\alpha_j - u_j [(1/r_j - 0,98/R_1)]}{1 + (t_j/R_1)}; \quad (3.41)$$

$$\alpha'_{ij} = \alpha_j \quad (u_j/r_j). \quad (3.42)$$

В (3.41) и (3.42) α_j определено в радианах.

Принять в (3.35) $j = g$ и повторить расчет (3.36)—(3.42); (3.43)
далее идти к (3.44). Примечание: при невыполнении условия

(3.36) в (3.43) при $j = g$, следует идти к (3.44) (см. схему на рис. 3.6): g обозначено как i).

Если $\varphi_n \neq 0$ и $\varphi_g \neq 0$, перейти к (3.45); иначе — к (3.48). (3.44)

Если $\alpha'_{in} > \alpha'_{ig}$, переходить к (3.46), иначе — к (3.47); (3.45)

$$\alpha'_i = \alpha'_{ig}; \text{ далее к (3.51);} \quad (3.46)$$

$$\alpha'_i = \alpha'_{in}; \text{ далее к (3.51);} \quad (3.47)$$

Если $\varphi_n \neq 0$, идти к (3.49); иначе к (3.50); (3.48)

$$\alpha'_i = \alpha'_{in}; \text{ далее к (3.51);} \quad (3.49)$$

$$\alpha'_i = \alpha'_{ig}. \quad (3.50)$$

Если $\alpha'_i > \alpha_i$, идти к (3.52); иначе к (3.57) (3.51)

$$\gamma'_i = 90^\circ - \beta_{\min} - \alpha'_i; \quad \Delta\gamma = \gamma_i - \gamma'_i. \quad (3.52)$$

Определить $\Delta\gamma_{\max}$ из ряда значений, приведенного ниже.

$\gamma_i, ^\circ$	До 6	До 10	До 15	До 20	До 25	> 25
$\Delta\gamma_{\max}, ^\circ$	5	6	8	10	12	15

Если $\Delta\gamma < \Delta\gamma_{\max}$, перейти к (3.55); иначе — к (3.56); (3.54)

$$\gamma_i = \gamma'_i; \quad \alpha_i = \alpha'_i; \quad \alpha_i \leq 25^\circ; \quad \gamma_i \geq 0^\circ; \quad (3.55)$$

α_1, γ_1 округляются до ближайшего целого;

$$\alpha_1 = \alpha_1 + \Delta\gamma_{\max}; \quad \gamma_1 = \gamma_1 - \Delta\gamma_{\max}; \quad (3.56)$$

углы α, γ , необходимые для расчета профиля резца в данном случае (при $\epsilon = 0, \theta = \sigma = \mu = \lambda = 0$), совпадают соответственно с α_1 и γ_1 .

Принять $j = n$. (3.57)

Если $R_1 \neq 0$, идти к (3.59); иначе — к (3.60); (3.58)

$$\alpha_j = \sin \alpha_1 \left(1 + \frac{t_j}{R_1} \right) + u_j \left(\frac{1}{r_j} - \frac{0,98}{R_1} \right); \quad (3.59)$$

$$\alpha_j = \alpha_1 - (u_j/r_j); \quad (3.60)$$

$$\alpha_{cj} = \arctg(\tg \alpha_j \sin \psi_j). \quad (3.61)$$

Принять $j = g$ и повторить расчет (3.58)—(3.61), определив α_{cg} . (3.62)

Печатать: $\alpha_1, \gamma_1, \alpha_{cg}, \alpha_{cn}$. (3.63)

Как видно из приведенного алгоритма, его основной особенностью является выбор такого заднего угла α_1 , который обеспечил бы заданные задние углы α_{cg} и α_{cn} в двух заранее выбранных точках g и n . Если это не удастся при табличных значениях α_1

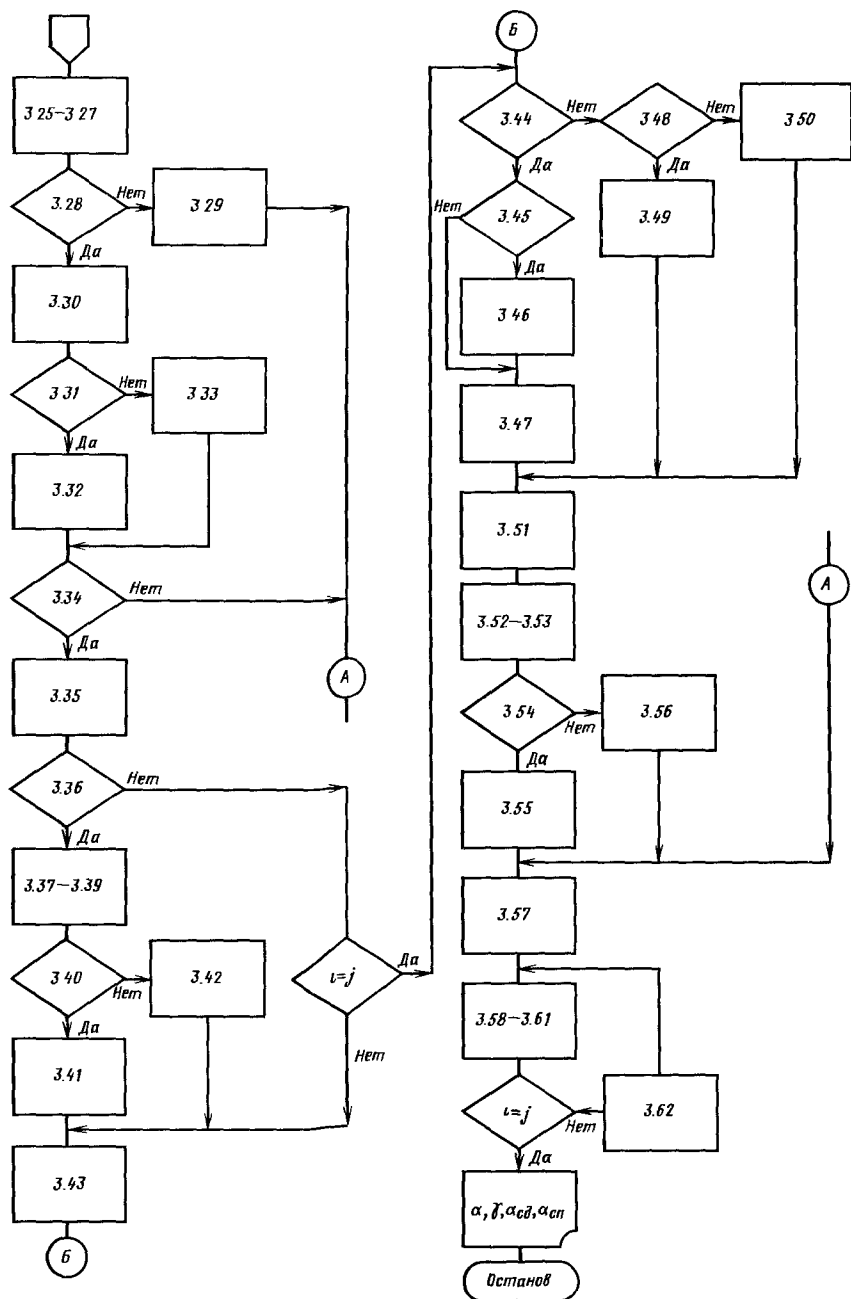


Рис. 3.6. Схема выбора геометрических параметров фасонных резцов

и γ_1 (близких к оптимальным в точке 1 кромки), то проверяется возможность увеличения α_{cg} (α_{cn}) за счет увеличения α_1 и соответствующего уменьшения γ_1 при $\beta \geq \beta_{\min}$. Такая возможность существует, если выдерживается условие (3.28), т. е. максимально допустимое значение α_1 (при $\gamma_1 = 0^\circ$) не менее табличного значения α_{1T} , а также если углы профиля ψ_g или ψ_n отличны от нуля [условие (3.34)].

Расчет профиля осуществляется по общему алгоритму (2.55)—(2.63) (см. п. 2.4.2.8). Все необходимые для этого данные (см. с. 110) известны, кроме размера h (см. рис. 2.34); при $R_1 \neq 0$

$$h = R_1 \sin \alpha_1. \quad (3.64)$$

При $R_1 = 0$ следует принять $h = e$, т. е. в данном случае $h = 0$.

Для любых радиальных резцов при обработке поверхностей вращения следует принять $a = p = q = 0$.

Размер H , необходимый для переточки дискового резца (т. е. при $R_1 \neq 0$; см. рис. 2.34)

$$H = R_1 \sin (\alpha_1 + \gamma_1). \quad (3.65)$$

Назначение других чертежных размеров резцов (фасок, отверстий под штифт и т. д.) и выбор допусков (блоки 15 и 16 СПРИ) приведены в [23].

Пример проектирования радиального дискового резца.

Исходные данные (известные и дополнительно рассчитанные).

Деталь: материал — сталь 40ХН, HB 217, OM 62 (см. прил. 1); профиль детали (аналогичен рис. 2.35): $r_1 = 20$ мм; $r_2 = r_3 = r_5 = r_6 = 28$ мм; $r_4 = 20$ мм; $z_{01} = 0$; $z_{02} = -10$ мм; $z_{03} = -15$ мм; $z_{04} = 6$ мм; $z_{05} = 16$ мм; $z_{06} = 33$ мм; количество точек $k = 6$; $t = 8$ мм; $l_d = 48$ мм.

Операция: режимы средние; $S_p = 0,05$ мм/об; $v = 0,5$ м/с.

Станок и державка: жесткость технологической системы средняя; крепление детали и резца на оправке двустороннее; деталь короткая ($l_d/2r_1 \simeq 1,5$).

Инструмент: $R_1 \neq 0$; в качестве узловых контрольных точек принимаем (см. рис. 2.35) $g = 1$; $n = 4$; углы профиля $\psi_g = \psi_n = 51,34^\circ$; значения задних углов в точках 4 и 1, учитывая симметричный профиль и большое значение ψ , $\alpha_{c1} = \alpha_{c4} = 5^\circ$. Другие условия «и» (см. табл. 2.9): $l_d > 30$ мм; S , v и жесткость СПИД средние; особых требований к надежности нет (средняя); изготовление резца — резанием; возможности обезуглероживания и перегрева при закалке нет; наружный диаметр резца более 60 мм; угол β заострения лезвия — средний (что предусмотрено алгоритмом расчета); профиль — сложный (длина l_d большая).

Выбор марки ИМ осуществляется по табл. 2.9. Для данных условий пригодны марки ИМ 16—20, т. е. (см. табл. 2.4): Р6АМ5, Р12Ф3, Р9К5, Р6АМ5Ф3, Р6М5К5. Принимаем марки с меньшим содержанием вольфрама: Р6АМ5, Р6АМ5Ф3, Р6М5К5. Учитывая

повышенную длину l_d , выбираем марку с наибольшей прочностью: Р6АМ5.

Габаритные размеры

Из (3.21): $L_p = 48 + 4 = 52$ мм.

Из табл. 3.11: $p_z = 235$ Н; $k_{OM} = 1,0$; $k_\phi = 1,05$.

Из (3.22): $P_z = 235 \cdot 48 \cdot 1,0 \cdot 1,05 = 11\,844$ Н.

Из табл. 3.12 $d = 40$ мм, учитывая, что $11\,000 < P_z < 14\,600$ Н.

Из (3.23): $D = 2(8 + 8 + 0,75 \cdot 40) = 92$ мм; принимаем $D = 100$ мм; $R_1 = 50$ мм.

Выбор геометрических параметров. Из (3.25) с учетом данных табл. 3.14: $\beta_T = 60^\circ$; $\gamma_{1T} = 8^\circ$; $\alpha_{1T} = 10^\circ$.

Из (3.26): $\beta_{min} = 60 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 60^\circ$.

Из (3.27): $\alpha_{1max} = 90 - 60 = 30^\circ$; принимаем $\alpha_{1max} = 25^\circ$, $\alpha_{1max} > \alpha_{1T}$; из (3.30): $\alpha_1 = \alpha_{1T} = 10^\circ$; $\gamma_{1max} = 90 - 60 - 10 = 20^\circ$;

Из (3.31) и (3.33): $\gamma_1 = \gamma_{1T} = 8^\circ$.

Из (3.34)—(3.41): при $j = n = 4$, $t_4 = r_4 - r_1 = 0$; $u_j = u_4 = 0$; $\lg \alpha_4 = \lg 5^\circ \operatorname{cosec} 51,34^\circ = 0,11204$; $\alpha_4 = 0,11157$; $\alpha'_{14} = 6,41^\circ$. Из (3.43): $\alpha'_{11} = 6,41^\circ$.

Из (3.44)—(3.47), так как $\alpha'_{1n} = \alpha'_{1g}$, $\alpha'_1 = 6,41^\circ$.

Из (3.51), (3.57)—(3.59), (3.61)—(3.62): $\alpha_1 = 10^\circ$; $\alpha_{c4} = \alpha_{c1} = 5,0^\circ$; $\gamma_1 = 8^\circ$.

Расчет профиля. Из (3.64): $h = 50 \cdot \sin 10^\circ = 8,6824$ мм. Остальные необходимые для расчета профиля данные (см. с. 110) заданы (или рассчитаны) выше. Координаты $X_p Z_p$ точек профиля резца (см. рис. 2.34 и рис. 2.35), рассчитанные с помощью ЭВМ из (2.55)—(2.63): $X_{p1} = 0$; $X_{p2} = 7,5885$ мм; $X_{p3} = 7,5885$ мм; $X_{p4} = 0$; $X_{p5} = X_{p6} = 7,5885$ мм; $Z_{p1} = 0$; $Z_{p2} = -10$ мм; $Z_{p3} = -15$ мм; $Z_{p4} = 6$ мм; $Z_{p5} = 16$ мм; $Z_{p6} = 33$ мм.

Размер H (см. рис. 2.34) из (3.65): $H = 50 \cdot \sin 18^\circ = 15,451$ мм.

Отметим особенности расчета некоторых специальных резцов.

Фасонные резцы с наклонной передней поверхностью ($\lambda \neq 0$). При обработке поверхностей тела вращения угол λ наклона передней плоскости вводится у тангенциальных резцов для плавности работы и уменьшения силы резания (см. рис. 2.36). У радиальных резцов λ применяется для повышения точности обработки конических поверхностей и рассчитывается так:

$$\operatorname{tg} \lambda = [(r_2 - r_1)/z_{02}] \operatorname{tg} \gamma_1, \quad (3.66)$$

где r_1 , r_2 — соответственно меньший и больший радиусы конического участка профиля детали; z_{02} — координата z точки 2 профиля детали.

На чертеже радиальных и тангенциальных резцов следует задавать угол не λ , а λ' (см. рис. 2.36):

$$\operatorname{tg} \lambda' = \operatorname{tg} \lambda \cos \gamma_1. \quad (3.67)$$

У радиальных резцов с $\lambda \neq 0$ обычно принимают: $e = 0$; $\sigma = \mu = \vartheta = 0$ (см. п. 2.4.2.8).

Радиальные резцы с наклонной задней поверхностью ($\sigma \neq 0$) применяются с целью увеличения задних углов резца при обработке деталей с несимметричным профилем. У дисковых резцов при $\sigma \neq 0$ задняя поверхность — винтовая, у призматических — наклонная, аналогичная резцу, показанному на рис. 2.37. Величину угла целесообразно находить из условия, заданного коэффициентом w соотношения задних статических углов резца в двух выбранных точках кромки — g и n : $\alpha_{cg} = w\alpha_{cn}$. Больший угол α_c задается в той точке кромки, где имеется или предполагается больший износ (большее время работы, хуже условия выхода стружки, меньше массивность кромки). При этом величина σ находится из уравнения:

$$\operatorname{tg} [\operatorname{arctg} (\operatorname{tg} \alpha_g \operatorname{tg} \psi_g) + \sigma] \cos \psi_g - w \operatorname{tg} [\operatorname{arctg} (\operatorname{tg} \alpha_n \operatorname{tg} \psi_n) \mp \sigma] = 0, \quad (3.68)$$

где α_g, α_n — задние углы резца в точках g и n в сечениях, нормальных к оси детали (эти углы могут быть рассчитаны предварительно); ψ_g и ψ_n — углы профиля детали в точках g и n [верхний знак в формуле берется в том случае, если касательные к профилю в точках g и n идут в различные стороны от перпендикуляра к оси детали (как, например, ψ_6 и ψ_3 на рис. 2.34); нижний знак — при одном направлении касательных].

Уравнение (3.68) при отсутствии стандартных подпрограмм для решения трансцендентных уравнений на ЭВМ легко переводится в квадратное.

Радиальные резцы, установленные с разворотом на угол μ (или ϑ). Разворот резца в вертикальной плоскости на угол μ производится с той же целью, что и введение угла σ . Угол μ может быть найден из (3.68), если вместо σ подставить μ . Угол ϑ при заданном соотношении α_{og} и α_{cn} находится из следующего уравнения (см. рис. 2.38):

$$\operatorname{tg} \alpha_g \sin (\psi_g + \vartheta) - w \operatorname{tg} \alpha_n \sin (\psi_n \mp \vartheta) = 0, \quad (3.69)$$

где величины $\alpha_g, \alpha_n, \psi_g, \psi_n, w$, а также правило знаков — те же самые, что и в (3.68).

Максимальные значения μ и ϑ ограничены конструкцией резцедержавок. При установке базовой точки I резца выше линии центров, т. е. при $e \neq 0$ (см. рис. 2.40), величина h для дискового резца находится из (2.54).

Расчет профиля радиальных и других резцов (тангенциальных, затыловочных, резьбовых) может осуществляться по единому алгоритму (2.55)—(2.63). Примеры расчетов с использованием ЭВМ даны в прил. 9.

3.3.4. Расчет протяжек

3.3.4.1. Особенности работы и классификация протяжек

Согласно общей классификации видов инструмента (см. п. 2.2 и рис. 2.11), протяжки относятся к некомбинированному классу, к подклассу прерывного или (реже) непрерывного действия, к группе 1, к подгруппе инструментов, работающих по методу копирования. Из восьми движений цикла обработки инструментом «точечного» формообразования при прерывном протягивании остаются лишь два функциональных движения (рис. 3.7, а): а) рабочее движение 2 (главное) вдоль направляющей поверхности детали, с которым совмещены дв. 1 и дв. 3 (что приводит к некоторому удлинению траектории дв. 2); б) вспомогательное движение 7 (при переходе к обработке последующей поверхности детали), или движение 8 (при переходе к обработке следующей детали), или движение 4 (при обработке детали за несколько проходов).

Здесь устранены движение 5 (вдоль образующей поверхности детали) и парное ему вспомогательное движение 6 в результате использования формообразующей режущей кромки.

При протягивании тел вращения плоской протяжкой (рис. 3.7, б) в цикле обработки присутствуют три движения: а) рабочее (оно является и главным) движение 1; б) рабочее движение 2 (круговое движение вдоль направляющей поверхности детали); в) вспомогательное движение 7 или движение 8.

При протягивании тел вращения круглой протяжкой (рис. 3.7, в) из-за замкнутости движения протяжки в цикле обработки присутствуют лишь два движения — 1 и 2.

При непрерывном протягивании (рис. 3.7, г) в цикле обработки остается лишь одно рабочее движение 2, которое совпадает (но имеет обратный знак) с транспортным движением деталей. В этом

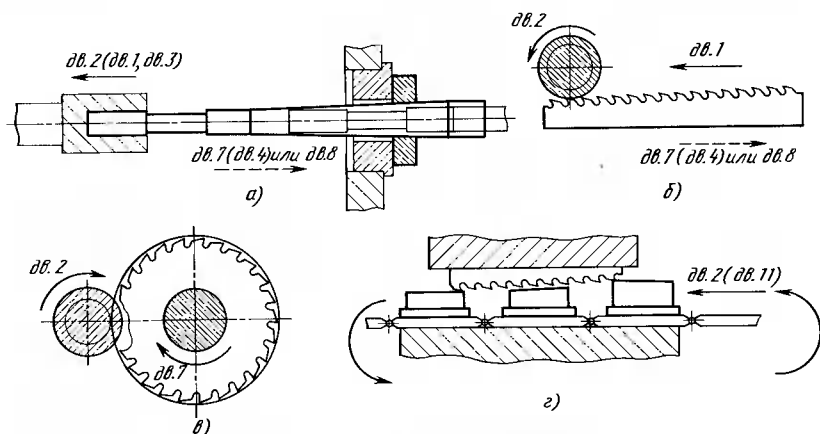


Рис. 3.7. Схемы работы протяжек

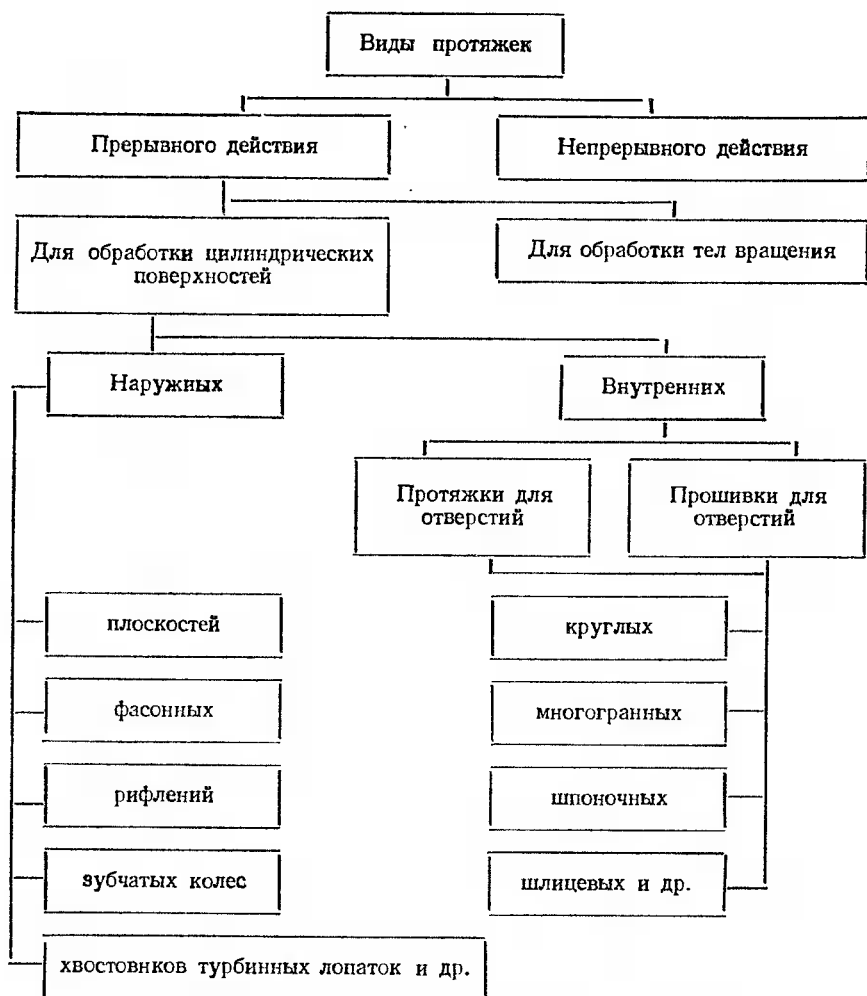


Рис. 3.8. Классификация видов протяжного инструмента

случае достигается максимальная производительность обработки.

Классификация протяжек в зависимости от кинематики формообразования и вида поверхностей детали представлена на рис. 3.8.

Протяжки можно разделить на два типа: с профильной и генераторной схемами срезания припуска (см. п. 2.3, рис. 2.16). Последние имеют много разновидностей: групповая (прогрессивная), шахматная, трапецеидальная, Юнкина, многогранная и др. [23]. При профильной схеме режущая кромка каждого зуба имеет профиль, аналогичный полному профилю детали, и срезает длинный и тонкий слой. В настоящее время применение профильных схем имеет следующие ограничения: для круглых

протяжек диаметр не более 15 мм; для наружных протяжек, в том числе плоских, ширина поверхности не более 12 мм; для чистовых зубьев протяжек с шероховатостью обработанной поверхности $Rz < 20$ мкм. Генераторная схема в остальных случаях обеспечивает меньшую длину протяжки, большую производительность и стойкость. Оптимальная схема срезания припуска и соответствующие конструктивные размеры рабочей части протяжки должны рассчитываться для каждого конкретного случая обработки. При этом может быть много вариантов, рассмотреть которые при неавтоматизированном проектировании не всегда можно из-за большой трудоемкости расчетов. Поэтому использование ЭВМ позволяет не только сократить сроки проектирования, но и оптимизировать конструкцию. В качестве примера ниже приведен алгоритм расчета на ЭВМ режущей части круглой протяжки.

3.3.4.2. Расчет режущей части круглой протяжки с групповой схемой срезания припуска (блоки 5—7 СПРИ, рис. 1.1)

При групповой схеме срезания припуска образующая поверхности детали (окружность) формируется группами зубьев (секциями), имеющими одинаковый диаметр зубьев, входящих в одну секцию. Каждый зуб секции формирует только определенный участок образующей поверхности детали (рис. 3.9). Для этого на зубьях секции удаляют с полного профиля ненужные участки и образуют разделительные участки в виде выкружек. Способ разделения периметра кромок на части и распределение срезаемых слоев между зубьями секции определяют вариант групповой схемы срезания припуска.

Расчет заключается в выборе такого сочетания z_c (числа зубьев в секции), t_p (шага черновых зубьев) и h_p (высоты зуба), которое обеспечивает: 1) использование протяжного станка; 2) хо-

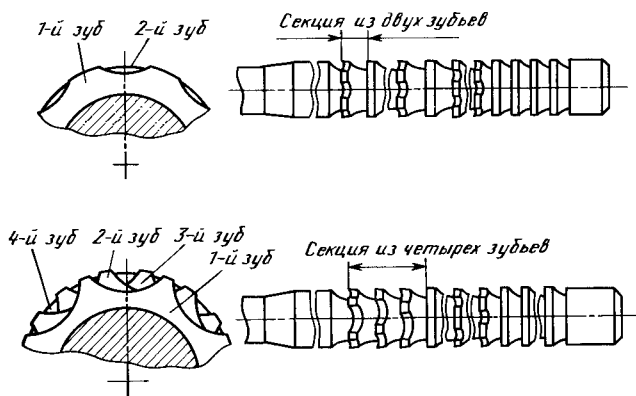


Рис. 3.9. Протяжки с групповой схемой срезания припуска

3.15. Разбивка отверстия p' после протягивания

Диаметр отвер- стия, мм	27	27—33	Св. 33—50	Св. 50—100	Св. 100—170	Св. 170—290	Св. 290—340	340
p' , мкм	2	4	5	10	20	30	40	50

рошее размещение стружки; 3) качество обработанной поверхности; 4) прочность протяжки; 5) минимальную длину протяжки (в данном случае — режущей части). Последнее условие является критерием оптимизации при выборе окончательного варианта режущей части рассчитываемой протяжки.

Ограничивающими факторами являются: прочность протяжки в лимитирующих ее сечениях (по минимальному сечению первой стружечной канавки $P_{\text{доп}}$ и минимальному сечению шейки хвостовика $P_{\text{ш. хв.}}$); максимально допустимое тяговое усилие станка ($P_{\text{ст}}$); допустимые значения толщины срезаемого слоя (подъем зубьев) по лимитирующей силе протягивания (S_p), по условиям размещения стружки (S_c), по условиям разделения стружки по ширине (S_b).

Алгоритм решения задачи

1. Исходные данные.

1.1. Деталь.

1.1.1. Материал детали: код ОМ (см. прил. 1).

1.1.2. Диаметр отверстия до протягивания d_0 .

1.1.3. Верхнее отклонение $d_0 - \Delta'$; нижнее отклонение — Δ'' .

1.1.4. Диаметр отверстия после протягивания d .

1.1.5. Верхнее отклонение $d - \Delta'_1$; нижнее — Δ''_1 .

1.1.6. Длина протягиваемого отверстия l_d .

1.1.7. Шероховатость обработанной поверхности — Rz .

1.2. Операция.

1.2.1. Квалитет точности обработки при протягивании.

1.2.2. Разбивка отверстия после протягивания p' (табл. 3.15).

1.2.3. Удельная сила резания при протягивании p (Н/мм) (табл. 3.16).

1.2.4. Поправочные коэффициенты силы протягивания c_w , учитывающие влияние смазочно-охлаждающих сред, и c_v , учитывающие значение переднего угла (табл. 3.17).

1.2.5. Наибольшая толщина срезаемого слоя, допускаемая размещением стружки в канавке S_c [23].

1.2.6. Подача на зуб, допускаемая условиями разделения стружки по ширине S_b (табл. 3.18).

1.2.7. Скорость резания v .

1.2.8. Партия деталей или тип производства.

1.2.9. Способ подготовки отверстия под протягивание.

1.3. Станок и оснастка.

1.3.1. Модель станка, тяговое усилие $P_{\text{ном}}$, наибольший ход $L_{\text{тах}}$ каретки.

3.16. Удельная сила резания p при протягивании, Н/мм

Подача на зуб S_z , мм	Сталь						Чугун		Ковчуг
	углеродистая			легированная			серый		
	Твердость НВ								
	До 197	197—229	Св. 229	До 197	197—229	Св. 229	До 180	Св. 180	
0,02	95	105	125	126	136	158	81	89	73
0,03	123	136	161	157	169	186	104	116	94
0,04	143	158	187	184	198	218	121	134	109
0,05	163	181	216	207	222	245	140	155	125
0,06	177	195	232	238	255	282	151	166	134
0,07	196	217	258	260	282	312	167	184	155
0,08	213	235	280	280	302	335	180	200	164
0,09	231	255	304	304	328	362	195	216	179
0,10	247	273	325	328	354	390	207	236	192
0,11	266	294	350	351	381	420	226	254	206
0,12	285	315	375	378	407	450	243	268	220
0,13	304	336	398	403	434	480	258	285	234
0,14	324	357	425	423	457	505	273	303	250
0,15	342	379	450	445	480	530	290	321	261
0,16	360	398	472	471	510	560	305	336	276
0,18	395	436	520	525	565	625	334	370	302
0,20	427	473	562	576	620	685	360	402	326
0,22	456	503	600	620	667	738	385	427	349
0,24	480	531	632	662	709	786	410	451	363
0,25	495	545	650	680	730	810	421	465	376
0,26	510	561	666	706	753	834	429	477	390
0,28	540	588	700	740	798	883	455	500	413
0,30	564	615	730	785	845	933	476	522	431

3.17. Значения коэффициентов c_u , c_v

ОМ (см. прил. 1)	c_u для СОЖ				c_v при γ , °			
	сульфо-фрезол	эмульсия	масло	без СОЖ	5	10	15	20
41—91 (сталь)	1,0	1,0	0,9	1,34	1,13	1,0	0,93	0,85
124, 125 (чугун)	—	0,9	—	1,0	1,1	1,0	0,95	—

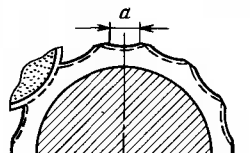
1.3.2. Размеры патрона для крепления протяжки: длина патрона $l_{пат}$, длина опорной поверхности $l_{оп}$ (рис. 3.10, а).

1.4. Инструмент.

1.4.1. Протяжка круглая с групповой схемой срезания припуска (рис. 3.10, б).

1.4.2. Тип хвостовика протяжки.

3.18. Значения подачи на зуб S_b , допускаемые условиями свариваемости стружки



Диаметр протягиваемого отверстия d , мм	Число выкружек	Ширина a выкружки, мм	Подача на зуб S_b , мм	Диаметр протягиваемого отверстия d , мм	Число выкружек	Ширина a выкружки, мм	Подача на зуб S_b , мм
8—8,5	4	3	0,11	44,1—47	10	7,5	0,22
8,6—9		3,3	0,13	47,1—50		8	0,24
9,1—10		3,6	0,15	50,1—53		8,5	0,27
10,1—11		4	0,17				
11,1—12		4,5	0,09				
12,1—13,5	6	3,5	0,11	50,1—53	12	7	0,19
13,6—15		4	0,13	53,1—56		7,5	0,21
15,1—17		4,5	0,15	56,1—60		8	0,23
17,1—19		5	0,17	60,1—64		8,5	0,25
19,1—21		5,5	0,19	64,1—68		9	0,27
21,1—23	8	6	0,21	64,1—68	14	7,5	0,19
				68,1—72		8	0,21
				72,1—76		8,5	0,23
				76,1—81		9	0,25
21,1—23		4	0,10				
23,1—24	8	4,5	0,12	76,1—81	16	8	0,21
24,1—26		5	0,14	81,1—85		8,5	0,23
26,1—28		5,5	0,16	85,1—89		9	0,25
28,1—30,5		6	0,18	89,1—94		9,5	0,27
30,6—33		6,5	0,20	94,1—99		10	0,29
33,1—35,5		7	0,22	99,1—104		10,5	0,32
35,6—38		7,5	0,25	104,1—109		11	0,35
35,6—38	10	6	0,16	104,1—109	18	9,5	0,26
38,1—41		6,5	0,18	109,1—114		10	0,29
41,1—44		7	0,20	114,1—120		10,5	0,32

1.4.3. Марки возможных материалов рабочей части протяжки и их пределы прочности на растяжение $[\sigma_z]$.

1.4.4. Марка материала хвостовика протяжки и $[\sigma_z]_{хв.}$.

1.4.5. Коэффициент k_t , используемый при определении шага режущих зубьев протяжки [23].

1.4.6. Число зубьев в секции; начальное (минимальное) значение $z_0 = 2$.

2. Расчет дополнительных исходных данных.

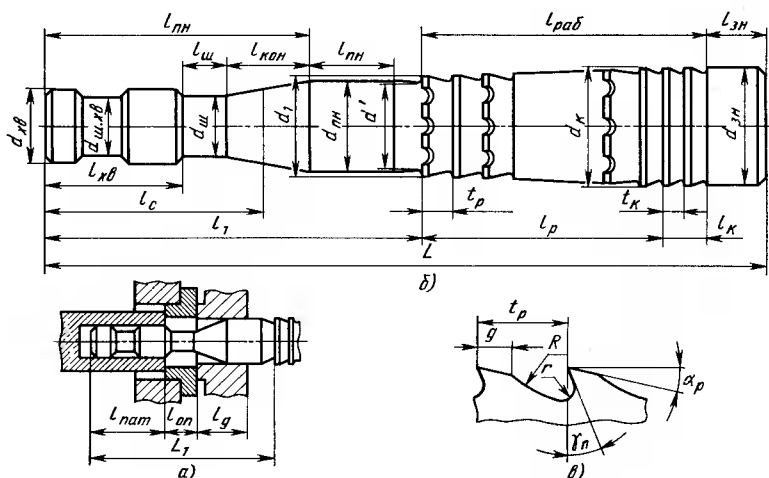


Рис. 3.10. Основные части круглой протяжки с групповой схемой

2.1. Определение расчетного припуска под протягивание с учетом допуска на протягиваемое отверстие и разбивки

$$A = d + \Delta_i - p' - d_0 - \Delta''.$$
(3.70)

3. Выбор инструментального материала для изготовления протяжки по таблице соответствий в зависимости от марки обрабатываемого материала и других условий (см. п. 2.4.2.3).

Для обработки конструкционных сталей, серого чугуна, алюминиевых сплавов, бронзы, латуни используются марки Р6АМ5, Р6АМ5Ф3, Р12, Р12Ф3, Р18. Применение марок с повышенным содержанием вольфрама ограничено. Для труднообрабатываемых сталей и сплавов используются также марки Р6АМ5Ф3, Р12Ф3, Р9М4К8.

4. Выбор формы заточки и геометрических параметров режущей части по таблицам соответствий в зависимости от марки ОМ, его прочности, твердости и типа протяжки, точности обработки (табл. 3.19, 3.20).

5. Определение габаритных размеров протяжки.

Диаметр калибрующих зубьев

$$d_{\text{к}} = d + \Delta_i - p'.$$
(3.71)

Диаметр хвостовика

$$d_{\text{хв}} = d_0 - 0,5.$$
(3.72)

Диаметр шейки хвостовика

$$d_{\text{ш. хв}} = d_{\text{хв}} - (0,3 \div 1,5).$$
(3.73)

3.19. Рекомендуемые значения передних углов зубьев протяжки

Обрабатываемый материал	НВ	σ_B , МПа	γ_n , °
Сталь 10, 15, 20—40	—	До 600	18
Сталь 45—65, 15Х—40Х, 30ХГСА, 12ХНЗА, 18ХНВА, 12Х2Н4А	—	600—1000	15
Сталь 45Х, 50ХН и т. п.	—	Св. 1000	10
Стали инструментальные и быстрорежущие	До 285	—	10
Чугун ковкий	До 150	—	10
Чугун серый	Св. 150	—	5
Медь, алюминиевые и магниевые сплавы	—	—	20—25
Латунь свинцовистая, бронза	—	—	5
Латунь	—	—	2

3.20. Рекомендуемые значения задних углов α° зубьев протяжки

Протяжка		α , °, для зубьев	
Тип	Назначение	режущих	калибрующих
Круглые, шлицевые, квадратные и т. п.	Для отверстий качества 9—10	2—3	1—1,5
	Для отверстий качества 11-й и грубее	3—4	
Шпоночные плоские	Для пазов и прямоугольных отверстий	4—5	1,5—2

3.21. Коэффициенты заполнения канавки стружкой $k_{доп}$

Шаг зубьев t_p , мм	Подача $S_z = S_c$, мм		
	До 0,05	0,05—0,1	Св. 0,1
4,5—8	3,3	3,0	2,5
10—14	3,0	2,7	2,2
16—25	2,8	2,5	2,0

6. Определение числа зубьев, размеров зубьев и стружечных канавок.

6.1. Выбор формы зубьев и стружечных канавок по таблицам соответствий в зависимости от длины протягивания l_d и обрабатываемого материала [23].

6.2. Максимальное число зубьев в секции $z_{c \max}$ определяется по таблицам соответствий или задается; обычно $z_{c \max} = 4 \div 5$.

6.3. Наибольший шаг черновых зубьев t_p (рис. 3.10, е)

$$t_p = k_t \sqrt{l_d}, \quad (3.74)$$

где k_t — исходные данные (выбрать большее значение); l_d — исходные данные.

6.4. Максимальное число одновременно работающих зубьев

$$z_i = (l_d/t_p) + 1, \quad (3.75)$$

где t_p — из п. 6.3. Полученное значение z_i округлять до целого в меньшую сторону.

6.5. Проверка условия плавности работы протяжки

$$2t_p + 1 \leq l_d. \quad (3.76)$$

Если условие не выполняется, то принять $k_t = k_t - 0,1$ и повторить расчет (3.74)—(3.75). Принять окончательное значение t_p .

6.6. Определение глубины профиля стружечной канавки

$$h_p = 1,13 \sqrt{l_d S_c k_{\text{доп}}}, \quad (3.77)$$

где $k_{\text{доп}}$ определяют по табл. 3.21 в зависимости от t_p и принятого значения $S_z = S_c$.

6.7. Проверка по условию жесткости протяжки $h_p \leq 0,21d_0$.

6.8. Диаметр опасного сечения по впадине первого зуба

$$d' = d_0 - 2h_p. \quad (3.78)$$

6.9. Сила резания, допустимая прочностью протяжки,

$$P_{\text{доп}} = \frac{\pi (d')^2}{4} [\sigma_z]. \quad (3.79)$$

6.10. Сила резания, допустимая прочностью шейки хвостовика,

$$P_{\text{ш. хв}} = \frac{\pi d_{\text{ш. хв}}^2}{4} [\sigma_z]_{\text{хв}}. \quad (3.80)$$

6.11. Сила резания, допустимая мощностью станка, $P_{\text{ст}} = 0,8P_{\text{ном}}$.

6.12. Лимитирующая сила $P_{\text{лим}}$ определяется как наименьшая из трех значений: $P_{\text{доп}}$, $P_{\text{ш. хв}}$, $P_{\text{ст}}$.

6.13. Суммарная длина режущих кромок зуба, участвующих в резании,

$$\sum b = \pi d_0 z_c. \quad (3.81)$$

6.14. Величина подъема зуба (толщина среза), допустимая силой резания,

$$S_p = \frac{P_{\text{лим}}}{\sum b z_i p c_\gamma c_w}, \quad (3.82)$$

где c_γ — коэффициент, зависящий от переднего угла γ , из табл. 3.17.

6.15. Лимитирующий подъем режущих зубьев $S_{\text{лим}}$ определяется из трех ранее определенных значений: S_p , S_c , S_b .

6.16. Количество секций

$$N_c = A/2S_{\text{лим}}. \quad (3.83)$$

Значение N_c округлить до ближайшего большего целого числа

6.17. Количество режущих зубьев

$$z_p = N_c z_c. \quad (3.84)$$

6.18. Длина режущей части

$$l_p = z_p t_p. \quad (3.85)$$

6.19. В исходных данных принять

$$z_c = z_c + 1, \quad (3.86)$$

если $z_c \leq z_{c \text{ макс}}$, расчет по п. 6 повторяется, иначе расчет окончен.

За оптимальный вариант здесь принят тот, при котором величина l_p минимальна (каждый вариант соответствует определенному числу z_c). На печать из расчета по п. 6 выводятся значения z_c , t_p , h_p , d' , N_c , z_p , l_p (см. рис. 3.10), которые соответствуют оптимальному варианту.

Пример расчета

1. Исходные данные.

1.1. Деталь.

1.1.1. Материал детали — сталь 40X, HB 217, OM 62 (см. прил. 1).

1.1.2. $d_0 = 30$ мм.

1.1.3. $\Delta' = 0,34$ мм; $\Delta'' = 0$.

1.1.4. $d = 32$ мм.

1.1.5. $\Delta'_1 = 0,027$ мм; $\Delta'_2 = 0$.

1.1.6. $l_d = 50$ мм.

1.1.7. $Rz = 1,25$ мкм.

1.2. Операция.

1.2.1. Качество точности 7.

1.2.2. $p' = 0,002$ мм.

1.2.3. $p = 265$ Н/мм.

1.2.4. c_γ по табл. 3.17; $c_w = 1,0$ (сульфопрезол).

1.2.5. $S_c = 0,12$ мм.

1.2.6. $S_b = 0,23$ мм.

1.2.7. Скорость резания $v = 0,15$ м/с

1.2.8. Партия деталей: 10 000 шт./год.

1.2.9. Предварительная обработка отверстия — сверление.

1.3. Станок и оснастка.

1.3.1. Модель станка 7A520; $P_{\text{ном}} = 2 \cdot 10^5$ Н; $L_{\text{мах}} = 1840$ мм.

1.3.2. $l_{\text{пат}} = 70$ мм; $l_{\text{оп}} = 90$ мм.

1.4. Инструмент.

1.4.1. Схема срезания припуска — групповая.

1.4.2. Хвостовик — с выточкой, под патрон.

1.4.3. Р6АМ5, $[\sigma_z] = 300$ МПа.

1.4.4. Сталь 40Х, $[\sigma_z]_{\text{хв}} = 250$ МПа.

1.4.5. $k_t = 1,45$.

1.4.6. $z_c = 2$.

2. Дополнительные исходные данные.

2.1. $A = 32 \pm 0,027 - 0,002 - 30 = 2,025$ мм.

3. Марка Р6АМ5.

4. Из табл. 3.19 и табл. 3.20: $\gamma_{\text{н}} = 15^\circ$; $\alpha_{\text{р.н}} = 2^\circ$.

5. $d_{\text{к}} = 32 \pm 0,027 - 0,002 = 32,025$ мм,

$$d_{\text{хв}} = 30 - 0,5 = 29,5 \text{ мм},$$

$$d_{\text{ш. хв}} = 29,5 - 1,5 = 28 \text{ мм}.$$

6. Определение числа и размеров зубьев и стружечных канавок.

6.1. Для заданных условий обработки (сталь 40Х; $l_d/d < 2$) принята форма зубьев, показанная на рис. 3.10, в.

6.2. $z_{c \text{ max}} = 4$.

Далее из (3.74) — (3.85) при $z_c = 2$; $t_p = 10$ мм; $z_t = 6$; $h_p = 4,0$ мм; $P_{\text{лим}} = 94\,985$ Н; $S_{\text{лим}} = 0,12$ мм; $N_c = 8$; $z_p = 16$; $l_p = 160$ мм.

В соответствии с (3.86) принимается $z_c = 3$; при этом $k_t = 1,70$; $p = 395$ Н/мм; $S_c = 0,20$ мм; $t_p = 12,0$ мм; $z_t = 5$; $h_p = 5$ мм; $P_{\text{лим}} = 94\,200$ Н; $S_{\text{лим}} = 0,2$ мм; $N_c = 4$; $z_p = 12$; $l_p = 144$ мм.

При $z_c = 4$; $k_t = 1,9$; $p = 480$; $S_c = 0,24$ мм; $t_p = 14$ мм; $z_t = 4$; $h_p = 5$ мм; $P_{\text{лим}} = 94\,200$ Н; $S_{\text{лим}} = 0,23$ мм; $N_c = 4$; $z_p = 16$; $l_p = 224$ мм.

Из трех рассмотренных вариантов за оптимальный принимается второй ($z_c = 3$), как обеспечивающий наименьшую длину режущей части $l_p = 144$ мм.

Число рассматриваемых вариантов может быть увеличено за счет большего диапазона возможных изменений формы и размеров зубьев. Кроме того, за критерий оптимальности может быть принята не только длина режущей части, но и другие параметры (величина получающейся подачи на зуб, толщина спинки зуба). При такой многокритериальной оптимизации эффективно использование ЭВМ в режиме диалога (АРМКИ).

3.3.5. Расчет червячных фрез для нарезания эвольвентных цилиндрических колес

Расчеты червячных фрез имеют много особенностей. Ниже приводятся решения отдельных типовых задач, входящих в систему СПРИ (см. рис. 1.1), с учетом опыта заводов «Красный пролетарий», ЗИЛ и других.

3.3.5.1. Исходные данные

Необходимыми исходными данными при проектировании червячной фрезы являются: m — модуль колеса, мм; α — профильный угол колеса, градусы; h_a^* — коэффициент высоты головки зуба колеса; h_f^* — коэффициент высоты ножки зуба колеса; S_n — толщина зуба колеса по дуге делительной окружности, мм; ОМ — материал колеса (см. прил. 1); степень точности колеса

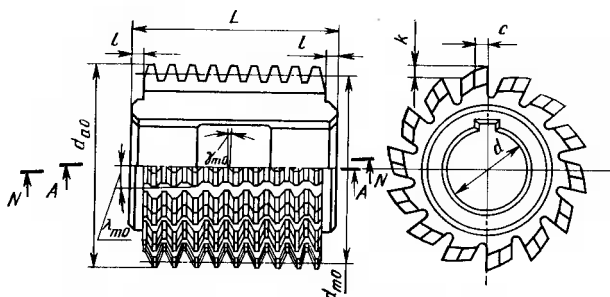


Рис. 3.11. Основные размеры червячной фрезы

после зубофрезерования; тип производства колес — единичное, серийное или массовое; схема конструкции фрезы: цельная (рис. 3.11) или сборная, с зубьями, затылованными по архимедовой спирали или по окружности, с острозаточенными зубьями и др.

Дополнительными исходными данными в зависимости от конструкции колеса, фрезы, а также от степени автоматизации проектирования могут быть: z — число зубьев колеса; β — угол наклона зубьев косозубого колеса, градусы; R_z — требуемая шероховатость обработанной поверхности зубьев колеса, мкм; z_{10} — число заходов фрезы; группа инструментального материала фрезы (быстрорежущая сталь или твердый сплав); модель станка и его параметры, ограничивающие размеры фрезы (длину, диаметр); наличие или отсутствие на станке осевых передвижек фрезы; $u_1, \dots, u_{13}$ — условия эксплуатации и изготовления фрезы (см. п. 2.4.2.3).

3.3.5.2. Выбор марки инструментального материала (ИМ)

Для червячных фрез наиболее широко используются марки Р6АМ5, Р6М5К5, Р9К10, Р9М4К8. Твердый сплав применяется для изготовления фрез в массовом производстве при достаточной жесткости СПИД, а также при обработке колес из некоторых труднообрабатываемых материалов (см. прил. 3 и 4). Опыт эксплуатации и стойкостные испытания фрез из марок Р6М5 (Р6АМ5), Р6М5К5, Р9К10, Р3М3Ф4К5 при обработке колес из стали 40Х (НВ 187—209) модуля 3 мм показали следующее.

Фрезы из марок Р6М5, Р6АМ5 имели лучшую стойкость при работе на средних и больших подачах и средних скоростях резания ($S \leq 3$ мм/об; $v = 0,5 \div 0,6$ м/с). Фрезы из марок Р6М5К5 и особенно из Р9К10 и Р3М3Ф4К5 при подачах свыше 2—3 мм/об имели наряду с обычным износом абразивного характера микровыкрашивания кромок (0,1—0,3 мм) или даже сколы. Фрезы из Р6М5К5 показали большую стойкость на повышенных скоростях резания и меньших подачах ($v = 0,6 \div 0,75$ м/с; S до 2—2,5 мм/об). Двухзаходные фрезы из малоуглеродистой стали Р3М3Ф4К5,

имеющие прямые канавки и передний угол 8° , показали неудовлетворительную стойкость из-за скалывания кромок. Фрезы из Р9К10 дали нестабильные результаты: до переточки при работе на новом станке мод. 5В312 они показали высокую стойкость и не имели выкрашиваний кромок даже при увеличенном переднем и заднем углах. Однако в дальнейшем стойкость фрез снизилась из-за частых выкрашиваний кромок. Фрезы сохраняли работоспособность, но требовали перешлифовки по задней поверхности. Возможные причины нестабильной стойкости фрез из Р9К10: снижение хрупкой прочности стали после переточек корундовым кругом; уменьшение жесткости технологической системы по мере эксплуатации станка. Вместе с тем червячные фрезы из Р9К10 за длительный период эксплуатации при обработку шлицевых валов показали достаточно высокую и стабильную стойкость: при трех осевых передвижках они работали 1,5 смены ($v = 0,56$ м/с; $S = 1,8$ мм/об). В отличие от фрез для эвольвентных колес они имели более широкую (12 мм) вершинную кромку и небольшую (3 мм) высоту профиля. Значительное повышение стойкости было получено при использовании шлицевых двухзаходных фрез из порошковой стали Р6М5Ф3МП, с покрытием нитридом титана на установке «Булат-2М». По сравнению с однозаходными фрезами из Р9К10 (без покрытия) стойкость возросла в 3,3 раза при увеличении производительности до 2 раз.

Сравнительные испытания двухзаходных фрез из сталей Р6М5 и Р6АМ5 с покрытием и без покрытия показали, что при нарезании эвольвентных колес стойкость фрез с покрытием возрастает в 2—4 раза.

С учетом опытных данных, а также свойств различных марок ИМ (см. рис. 2.21, рис. 2.22 и прил. 2) для выбора марок ИМ червячных фрез составлены таблицы соответствий (см. п. 2.4.2.3): табл. 3.22 — для выбора марок быстрорежущих сталей и таблицы могут быть использованы при автоматизированном или неавтоматизированном проектировании. Приведем пример их использования.

Червячными фрезами нарезаются колеса из стали 20Х13 (ОМ 95; прил. 1) модуля $m = 0,8$ мм. Обработка чистовая с малыми подачами ($S = 0,15 \div 0,20$ мм/об) при средних (нормативных) скоростях резания, невысокой жесткости технологической системы (станок мод. 530). Тип производства — массовое. Требования к надежности средние.

Для данного материала колес в условиях массового производства возможно использование твердосплавных фрез (см. прил. 3 и 4). Из табл. 3.23 для заданных условий подходят марки ИМ: 42; (44), т. е. (см. табл. 2.4) ВК6М; (ВК8). Марка ВК6М в данном случае предпочтительнее.

При использовании фрез из стали выбор марки ИМ по табл. 3.22 для тех же условий, при переточке фрез эльборовым кругом

3.22. Выбор марок ИМ для червячных фрез

Условия		ИМ												
		13	14	16	17	18	20	21	22	24	28	29	30	33
ОМ (u_1)	7—10	+	+	+	(+)	+	+	(+)	—	—	(+)	—	—	+
	11	+	+	+	(+)	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)	+	(+)	+
	12; 16	+	+	+	(+)	+	+	+	—	—	+	—	—	+
	25; 38	+	+	+	+	+	+	+	—	—	+	—	—	+
	26; 29; 33; 39	+	+	+	—	+	(+)	—	—	—	—	—	—	+
	52; 53; 56; 61; 62; 65	+	+	+	(+)	+	+	+	+	(+)	+	+	+	+
	54; 55; 63; 57—60; 66	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	72	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
	73	(+)	—	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	—
	79	(+)	—	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	—
	80	—	—	—	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	—
	92	+	+	+	+	+	+	+	—	(+)	+	+	—	—
	95	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	(+)	+	+	+	(+)	—
	96	(+)	—	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	—
	101	(+)	—	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	—
	105	(+)	—	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
	124	+	+	+	—	+	+	(+)	—	—	—	—	—	+
	125	+	+	+	(+)	+	+	+	(+)	(+)	+	(+)	(+)	—
	126	(+)	—	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	—
m (u_2)	0,5—8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	>8 мм	+	+	+	(+)	+	+	(+)	—	(+)	(+)	—	—	+
S (u_3)	Уменьшенная	(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Средняя	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)	(+)	+	—	—	+
	Увеличенная	+	+	+	—	(+)	(+)	—	—	—	—	—	—	—

Условия		ИМ												
		13	14	16	17	18	20	21	22	24	28	29	30	33
$v (u_6)$	Пониженная	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	Средняя	+	+	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+
	Повышенная	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Жесткость технологической системы (u_8)	Пониженная	+	+	+	(+)	+	+	-	-	-	-	-	-	-
	Средняя	+	+	+	+	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)	+	-	+
	Повышенная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Заточка (u_{10})	Корундовый круг	+	+	+	(+)	(+)	+	(+)	-	-	(+)	(+)	-	(+)
	Эльборовый круг	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Способ изготовления (u_{11})	Резание	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Вышлифовывание	+	+	+	-	-	+	-	(+)	-	-	(+)	-	-
	Пласт. деформирование	-	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	-
	Литье	-	(+)	(+)	(+)	-	(+)	-	-	-	-	-	-	+
Возможность перегрева	Есть	+	+	-	(+)	(+)	-	-	(+)	(+)	-	+	+	-
	Нет	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Возможность обезуглероживания	Есть	+	+	-	+	-	-	-	(+)	(+)	(+)	-	-	-
	Нет	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Наружный диаметр (для цельных фрез)	До 60	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
	>60	(+)	(+)	+	(+)	+	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+

Примечания. «+» — марка рекомендуется; «(+）」 — марка допускается; «-» — марка не рекомендуется; ОМ — см. прил. I; ИМ — см. табл. 2.4

3.23. Выбор марок ИМ (твердого сплава) для червячных фрез

Условия		ИМ (табл. 2.4)										
		39	42	44	45	49	50	51	52	54	56	57
ОМ (u_1) (прил. 1)	7—16	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	+
	21—40	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
	52—66	—	+	—	—	+	+	+	+	—	—	+
	72—77	+	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—
	79—82	+	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—
	92	—	+	+	—	—	—	—	—	+	—	—
	95	—	+	+	—	—	—	—	—	+	—	—
	96; 101; 105 124—126	—	+	+	—	—	—	—	—	+	—	—
m (u_2)	Мелкий	+	+	+	(+)	+	+	+	—	+	+	+
	Средний	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Крупный	—	—	+	+	—	(+)	(+)	+	+	+	+
S (u_4)	Малая	+	+	(+)	—	+	+	+	—	—	—	—
	Средняя	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Увеличенная	—	—	(+)	+	—	—	(+)	+	(+)	(+)	—
v (u_5)	Уменьшенная	—	(+)	+	+	—	—	+	+	+	+	+
	Средняя	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
	Увеличенная	+	—	—	—	+	(+)	—	—	—	—	—
Характер обработки	Черновая и полуст.	—	+	+	+	—	+	+	+	+	+	+
	Чистовая	+	+	(+)	+	+	+	(+)	—	—	—	—
Жест- кость СПИД (u_6)	Пониженная	—	(+)	+	+	—	—	(+)	+	+	+	+
	Средняя	(+)	+	+	+	—	—	+	+	+	+	+
	Увеличенная	+	+	+	(+)	+	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)
Надеж- ность (u_9)	Уменьшенная	+	(+)	(+)	(+)	+	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
	Средняя	(+)	+	+	(+)	+	+	+	+	+	+	+
	Повышенная	—	(+)	+	+	—	—	(+)	+	+	+	+

(условие u_{10}) в случае, если перегрев и обезуглероживание исключены (u_{11}), при диаметре фрезы до 60 мм (u_{12}), имеем следующие марки ИМ: 18, 20, т. е. (см. табл. 2.4): Р9К5; Р6М5К5. Сравнение свойств этих двух марок (см. табл. 2.6, рис. 2.21 и рис. 2.22) показывает, что при одинаковой красностойкости и твердости (при различных температурах) Р6М5К5 обладает более высокими прочностными свойствами и в этом отношении имеет некоторое преимущество.

3.3.5.3. Выбор геометрических параметров

На рабочем чертеже фрезы обычно задаются величина затылования k (см. рис. 3.11), определяющая вершинный задний угол $\alpha_{в.и.}$ и передний угол $\gamma_{в.и.}$ (рис. 3.12). Цельные фрезы с затылованными по архимедовой спирали зубьями выполняются, как правило, с винтовыми канавками, угол λ_{m0} наклона которых на цилиндре диаметром d_{m0} равен углу γ_{m0} подъема витков фрезы. Прямые стружечные канавки, параллельные оси фрезы (при $\lambda_{m0} = 0$), выполняются на сборных и реже на цельных фрезах. Они более технологичны при изготовлении, в связи с чем легче обеспечивается необходимая точность. Однако при $\lambda_{m0} = 0$ передние углы γ , углы наклона кромки λ и заострения β различны для левой и правой сторон зуба фрезы, что создает условия для разного износа зубьев фрезы на различных сторонах. Поэтому с точки зрения стойкости фрезы с винтовыми канавками, особенно при $\gamma_{m0} > 5 \div 7^\circ$, предпочтительнее.

Углы $\alpha_{в.и.}$, $\gamma_{в.и.}$, λ_{m0} определяют геометрические параметры фрезы в инструментальной системе координат (по терминологии ГОСТ 25762—83). Основная плоскость в этой системе совпадает с осевой плоскостью фрезы.

В статической системе координат за основную плоскость для червячной фрезы целесообразно принять плоскость, проходящую через данную точку кромки фрезы параллельно нормальной сечущей плоскости NN (см. рис. 3.11), т. е. под углом γ_{m0} к оси фрезы. Основные углы, характеризующие геометрические параметры зуба в статической системе (см. рис. 3.12): α_c , γ_c , β_c , λ_c и др., аналогичные по смыслу и определению соответствующим

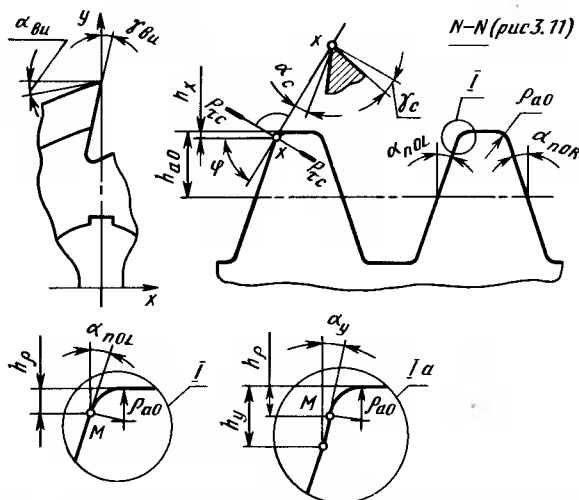
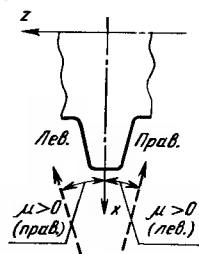


Рис. 3.12. Геометрические параметры и профиль червячной фрезы

Рис. 3.13. Направление косого затылования



параметрам резца (см. п. 2.4.2.4, рис. 2.24). При их определении считаем известными следующие размеры фрезы: m ; $\gamma_{в.н}$; k ; $\alpha_{x0R(L)}$; γ_{m0} ; d_{a0} — наружный диаметр; z_0 — число зубьев; P_{x0} — осевой шаг витков; P_{z0} — шаг винтовых стружечных канавок; z_{10} — число заходов; r_x — радиус фрезы в рассматриваемой точке x (см. рис. 3.12); $\varphi_c = \varphi$ — угол фрезы в точке x (взят по аналогии с резцом; для левой и правой сторон $\varphi > 0$, для вершинной кромки $\varphi = 0$); μ — угол косого затылования (рис. 3.13).

Геометрические параметры фрезы в статической системе:

$$d_{m0} = \frac{mz_{10}}{\sin \gamma_{m0}}; \quad \operatorname{tg} \omega = \frac{P_{x0}z_{10}}{2\pi r_x}; \quad (3.87)$$

$$\operatorname{ctg} \lambda = \frac{P_{z0}}{2\pi r_x}; \quad \operatorname{ctg} \lambda_{m0} = \frac{P_{z0}}{\pi d_{m0}}; \quad (3.88)$$

$$a = \frac{kz_0}{2\pi} \frac{P_{z0} + z_{10}P_{x0}}{P_{z0}}; \quad (3.89)$$

$$b = 0,5d_{a0} \sin \gamma_{в.н}; \quad \sin \gamma_{н} = b/r_x; \quad (3.90)$$

$$\operatorname{tg} \xi = (a/r_x) (\cos \mu \operatorname{tg} \alpha_{x0} + \sin \mu) + \operatorname{tg} \omega; \quad (3.91)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{прод}} = \operatorname{tg} \gamma_{н} [\cos \lambda / \cos (\gamma_{m0} - \lambda)]; \quad (3.92)$$

$$\gamma'_{R(L)} = \begin{pmatrix} + \\ - \end{pmatrix} (\gamma_{m0} - \lambda); \quad (3.93)$$

$$\operatorname{tg} \gamma_{\text{поп}} = \operatorname{tg} \gamma'_{R(L)} / \cos \gamma_{\text{прод}}; \quad (3.94)$$

$$\alpha_{\text{прод}} = \xi - \omega; \quad \operatorname{tg} \alpha_c \simeq \operatorname{tg} \alpha_{\text{прод}} \cos \varphi. \quad (3.95)$$

Приведенные зависимости являются специфическими для червячных фрез; остальные параметры находятся из общих формул (2.19)–(2.40). Для прямых канавок, параллельных оси фрезы, в (3.88) $\lambda = \lambda_{m0} = 0$, в (3.89) $a = kz_0/2\pi$.

Для фрез со стандартными геометрическими параметрами ($\mu = 0$; $\gamma_{в.н} = 0$; $\lambda_{m0} = \gamma_{m0}$) можно использовать упрощенные формулы. В частности, статический главный задний угол на боковых кромках

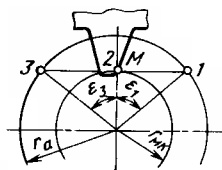
$$\operatorname{tg} \alpha_{нс} = \operatorname{tg} \alpha_{в.н} \cos \varphi \quad (3.96)$$

или, несколько точнее,

$$\operatorname{tg} \alpha_{нс} = (a/r_x) \cos \varphi. \quad (3.97)$$

Для червячных многозаходных фрез, особенно с уменьшенным углом профиля α_{n0} в нормальном (или осевом) сечении, следует делать проверку задних боковых углов $\alpha_{б.к}$ в кинематической системе координат. Для расчета $\alpha_{б.к}$ могут быть использованы

Рис. 3.14. Точки 1—3 для расчета кинематических задних боковых углов



точные уравнения [12] или более простые приближенные, приведенные ниже.

При определении $\alpha_{б.к}$ должны быть известны следующие размеры нарезаемого колеса и фрезы: m , h_a^* , z (см. п. 3.3.5.1), d_{a0} , z_{10} , h_{a0} (см. рис. 3.12); φ ; h_x — высота профиля в данной точке x ; γ_0 , a рассчитываются из (3.89); S — продольная подача, мм/об; при попутной подаче в (3.105) принимается $S < 0$, при встречной $S > 0$; $\mu = 0$.

В большинстве случаев лимитирующий износ фрезы имеет место по уголкам, поэтому за точку x целесообразно принять точку M сопряжения прямолинейного участка фрезы с окружностью радиусом ρ_{a0} . В этом случае

$$h_x = h_p, \quad h_p = \rho_{a0}(1 - \cos \varphi), \quad (3.98)$$

где $\varphi = 90^\circ - \alpha_{n0}$ — для стандартного профиля (см. рис. 3.12, профиль I) или $\varphi = 90^\circ - \alpha_y$ — для профиля с усиком (см. рис. 3.12, профиль Ia).

Далее рассчитываются

$$r_a = \frac{mz}{2} + h_a^*m; \quad r_f = \frac{mz}{2} - h_{a0}. \quad (3.99)$$

Минимальный радиус $r_{МК}$ колеса, на котором производится резание точкой M кромки фрезы (рис. 3.14):

$$r_{МК} = r_f + h_p; \quad (3.100)$$

$$r_M = 0,5d_{a0} - h_p; \quad (3.101)$$

$$l = \sqrt{r_a^2 - r_{МК}^2}; \quad (3.102)$$

$$u = r_M z / z_{10}, \quad \sin \omega_M = z_{10} m / (2r_M); \quad \operatorname{tg} \alpha_{бМ} = (a/r_M) \operatorname{ctg} \varphi. \quad (3.103)$$

Углы ϵ контакта колеса с фрезой в точках 1, 2 и 3 (см. рис. 3.14)

$$\operatorname{tg} \epsilon_1 = \pm (l/r_M); \quad i = 1; \quad (3.104)$$

$$\epsilon_2 = 0; \quad i = 2;$$

$$\epsilon_3 = \mp \epsilon_1; \quad i = 3;$$

$$\operatorname{tg} \delta_i = \frac{u \sin \gamma_{m0} - r_{МК} q_i}{u \cos \gamma_{m0} + (S/2\pi)}, \quad (3.105)$$

где $q_i = 1 - \operatorname{tg} \epsilon_i \operatorname{ctg} \varphi$.

$$\alpha_{Mi} = \alpha_{бМ} \mp [\delta_i - (\gamma_{m0} - \omega_M)]; \quad (3.106)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{б.к i} = \operatorname{tg} \alpha_{Mi} \sin \varphi. \quad (3.107)$$

В (3.104) и (3.106) верхние знаки берутся для левой, нижние — для правой стороны профиля. Расчет по формулам (3.104)—(3.107) проводится при $i = 1$, $i = 2$, $i = 3$, что соответствует положению зуба фрезы в точках 1, 2, 3 (см. рис. 3.14).

Наименьшее значение вдоль оси фрезы угол $\alpha_{б.к}$ для право-заходных фрез имеет в точке 1 на левой стороне зуба. Поэтому проверочный расчет заднего кинематического угла для право-заходных фрез следует проводить для левой стороны зуба в точке 1, принимая в (3.104) $i = 1$. Учитывая, что $\alpha_{б.к}$ изменяется не только вдоль оси фрезы, но и вдоль дуги контакта зуба с заготовкой (т. е. от момента врезания зуба до его выхода), минимальное значение $\alpha_{б.к}$ во всей пространственной зоне резания может быть в точке, несколько смещенной от точки 1. Однако расчет минимального значения $\alpha_{б.к}$ сложен. Поэтому для обеспечения достаточных углов $\alpha_{б.к}$ его значение в точке 1 следует принимать несколько больше минимального. Следует также отметить, что подача S не влияет существенно на величину $\alpha_{б.к}$, поэтому ее можно не учитывать, принимая в (3.105) $S = 0$. Стойкостные испытания, проведенные на заводе «Красный пролетарий», показали, что износ по уголкам червячных двухзаходных фрез с усиками (профиль 1а, см. рис. 3.12) с левой стороны зуба может превышать износ с правой стороны в несколько раз. Одной из причин является уменьшение задних боковых кинематических углов с левой стороны зуба, особенно существенное при увеличении числа заходов фрезы и при уменьшении числа зубьев нарезаемого колеса.

При автоматизированном проектировании для выбора геометрических параметров червячных фрез могут быть использованы различные алгоритмы в зависимости от конструкции фрез и их точности. Однако можно дать следующую общую последовательность выбора.

1. В зависимости от обрабатываемого материала (ОМ, см. прил. 1) ниже приведен выбор углов: $\beta_{с.т}$ — минимально допустимое табличное значение угла заострения на вершинной кромке фрезы; $\gamma_{в.и.т}$ — табличное значение переднего угла (см. рис. 3.12).

ОМ	...	4	5	10	38	52	53	54	61	62	63	65	72	73	80
$\beta_{с.т}, ^\circ$	...	60	65	70	55	65	70	75	75	70	80	70	75	80	80
$\gamma_{в.и.т}, ^\circ$	...	10	8	8	12	8	8	6	6	8	0	8	6	0	0

2. Расчетное минимальное значение угла $\beta_c = \beta_{с.т} k_{ИМ} k_{ж} \times k_n k_s k_k$, где $k_{ИМ}$ — коэффициент, учитывающий инструментальный материал фрезы, выбирается в зависимости от марки ИМ (см. табл. 2.4); $k_{ж}$ — коэффициент, учитывающий жесткость технологической системы ($k_{ж}$ равен 0,9 при повышенной, 1,0 при средней, 1,1 при пониженной жесткости); k_n — коэффициент, учитывающий требования к надежности инструмента (k_n равен 1 при отсутствии особых требований, 1,1 при повышенных требо-

ваниях — автоматизированное производство, многостаночное обслуживание); k_s — коэффициент, учитывающий подачу (k_s равен 1,0 при уменьшенных или нормативных подачах — чистовая или получистовая обработка, 1,1 при повышенных подачах); $k_n = 1$ при винтовых канавках фрезы ($\lambda_{m0} = \gamma_{m0}$); $k_n = 1,05$ при $\lambda_{m0} = 0^\circ$.

Значения $k_{им}$ приведены ниже.

ИМ	13	14	16	17	18	19	20	21	22	28	29	33
$k_{им}$	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,15	1,2	1,15	1,2	1,2

Для фрез из быстрорежущей стали в большинстве случаев $\beta_c \leq 80^\circ$. Ввиду сложности прочностных расчетов приведенные выше коэффициенты весьма приближенно отражают зависимость от ряда факторов. Однако характер этой зависимости очевиден: например, с уменьшением хрупкой прочности инструментального материала величина β_c должна возрастать.

3. Максимально допустимый задний вершинный угол $\alpha_{в. и max} = 90^\circ - \beta_c$.

4. Минимально допустимый угол $\alpha_{в. и min}$ находится из условия обеспечения заданного минимального бокового заднего угла α_c из (3.95) или (3.96). Для многозаходных фрез $\alpha_{в. и min}$ рассчитывается из условия получения кинематического угла $\alpha_{б. н min}$ путем подбора из (3.98)—(3.107). Величину $\alpha_{б. н min}$ целесообразно принимать не менее 1° .

5. Если $\alpha_{в. и min} \geq \alpha_{в. и max}$, то в общем случае, следует принять $\gamma_{в. и} = 0$, $\alpha_{в. и} = \alpha_{в. и max}$. При этом задний боковой угол α_c (или $\alpha_{б. н}$) будет либо равен заданному (при $\alpha_{в. и min} = \alpha_{в. и max}$), либо меньше. В последнем случае (при $\alpha_{в. и min} > \alpha_{в. и max}$) в алгоритме в зависимости от конкретных возможностей можно предусмотреть меры, направленные либо на уменьшение β_c (применение марки ИМ с большим σ_v , увеличение жесткости технологической системы, применение фрез с винтовыми канавками вместо прямых, уменьшение подачи S), либо на увеличение бокового заднего угла (увеличение угла профиля фрезы, т. е. уменьшение угла φ ; изменение формы усика или вообще формы профиля; косое затылование). При $\alpha_{в. и min} > \alpha_{в. и max}$ и $\alpha_{в. и} = \alpha_{в. и max}$ необходимо дополнительно проводить расчет фактических боковых задних углов α_c или (при $z_{10} > 1$), $\alpha_{б. н}$.

6. Если $\alpha_{в. и min} < \alpha_{в. и max}$, то далее может быть рассчитана величина переднего угла $\gamma_{в. и}$ (если не назначается заранее $\gamma_{в. и} = 0^\circ$).

7. Максимально допустимая величина $\gamma_{в. и max} = 90^\circ - \beta_c - \alpha_{в. и}$.

8. Если $\gamma_{в. и. т} \leq \gamma_{в. и max}$, то $\gamma_{в. и} = \gamma_{в. и. т}$, иначе $\gamma_{в. и} = \gamma_{в. и max}$.

Для чистовых фрез и фрез, нарезающих колеса под последующее шевингование, чаще всего принимается $\gamma_{в. и} = 0^\circ$. Такое значение $\gamma_{в. и}$ не всегда целесообразно с точки зрения стойкости,

но имеет преимущество — величина $\gamma_{в.и}$ становится как бы стандартизированной, т. е. постоянна для всех фрез, что несколько упрощает их изготовление и переточку. В случае, когда величина $\gamma_{в.и}$ заранее не принимается нулевой, для указанных фрез на величину переднего угла при выполнении профиля фрезы (осевого, нормального или по передней грани) прямолинейным должно быть введено дополнительное ограничение: $f \leq n f_{f_0}$; $n \approx 0,5$, где f — стрела выпуклости или вогнутости профиля фрезы; f_{f_0} — допуск на профиль фрезы. Величина f зависит от $\gamma_{в.и}$; расчет f приводится ниже (см. п. 3.3.5.4). Кроме того, $\gamma_{в.и}$ может быть оптимизирован с точки зрения точности профиля фрезы — как новой, так и с учетом стачивания.

3.3.5.4. Профилирование червячных фрез

Теоретически точно спроектированная червячная фреза должна рассматриваться как эвольвентный червяк, снабженный режущими кромками, или, что то же самое, как косозубое эвольвентное колесо. Радиус основной окружности червяка

$$r_{в0} = [m z_{10} / (2 \sin \gamma_{m0})] \cos \alpha, \quad (3.108)$$

где $\operatorname{tg} \alpha_t = \operatorname{tg} \alpha / \sin \gamma_{m0}$.

Иногда удобнее пользоваться следующими формулами:

$$r_{в0} = m z_{10} / (2 \cos \gamma_{m0} \operatorname{tg} \gamma_{в0}), \quad (3.109)$$

где $\cos \gamma_{в0} = \cos \gamma_{m0} \cos \alpha$,
или

$$r_{в0} = p \operatorname{ctg} \gamma_{в0}, \quad (3.110)$$

где $p = P_{x0} z_{10} / (2\pi)$; P_{x0} — осевой шаг между витками фрезы (основного червяка):

$$P_{x0} = P_{n0} / \cos \gamma_{m0}; \quad P_{n0} = \pi m. \quad (3.111)$$

В осевом сечении АА (см. рис. 3.11) основной эвольвентный червяк имеет криволинейный выпуклый профиль. Любая точка этого профиля на радиусе r имеет координаты z_0 (рис. 3.15):

$$z_0 = p \operatorname{inv} \alpha_0, \quad \cos \alpha_0 = r_{в0} / r. \quad (3.112)$$

Угол профиля α_{x0} червяка, как угол наклона прямой, проведенной между крайними расчетными точками 1 и 2 профиля,

$$\operatorname{tg} \alpha_{x0} = (z_{01} - z_{02}) / (r_1 - r_2). \quad (3.113)$$

Для стандартных колес при $r_1 - r_2 = 2m$

$$\operatorname{tg} \alpha_{x0} = \frac{p (\operatorname{inv} \alpha_{01} - \operatorname{inv} \alpha_{02})}{2m}, \quad (3.114)$$

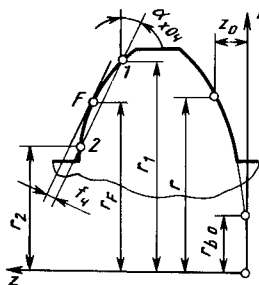


Рис. 3.15. Профиль эвольвентного червяка

где $\cos \alpha_{01} = r_{B0}/r_1$, $\cos \alpha_{02} = r_{B0}/r_2$, или, учитывая значение p из (3.110),

$$\operatorname{tg} \alpha_{x0\psi} = \frac{(\operatorname{inv} \alpha_{01} - \operatorname{inv} \alpha_{02}) z_{10}}{4 \cos \gamma_{m0}}. \quad (3.115)$$

Радиус r_F точки F , в которой находится стрела выпуклости f_ψ профиля червяка,

$$r_F = r_{B0} / \sqrt{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha_{x0\psi} \operatorname{ctg}^2 \gamma_{B0}}. \quad (3.116)$$

Величина f_ψ :

$$f_\psi = (r_F - r_2) \sin \alpha_{x0\psi} - p (\operatorname{inv} \alpha_F - \operatorname{inv} \alpha_2) \cos \alpha_{x0\psi}. \quad (3.117)$$

При $m \leq 5$ мм с достаточной точностью величину f_ψ можно рассчитывать, принимая $r_F = 0,5 (r_1 + r_2)$. При $\gamma_{B0} = 0$ и $\lambda_{m0} = 0$ профиль фрезы в ее осевом сечении AA (см. рис. 3.11) совпадает с профилем основного червяка. Размеры профилей эвольвентных червяков ($\alpha_{x0\psi}$, r_{B0} , f_ψ) для фрез модуля 1—4 мм с различными диаметрами и числами заходов даны в прил. 12.

Профиль червячной фрезы в зависимости от ее конструкции и точности может контролироваться по кромке или ее проекции в осевом сечении AA или нормальном сечении NN (см. рис. 3.11). Профиль для фрез любых геометрических параметров может быть рассчитан из уравнений (2.88)—(2.94), если значения координат r , z_0 взять из (3.112). Различные частные формулы даны в работах [22, 23, 32]. Угол α_{x0} профиля фрезы в ее осевом сечении AA (рис. 3.16) для затылованных фрез с $\gamma_{B.и} \neq 0$

$$\operatorname{ctg} \alpha_{x0L(R)} = \operatorname{ctg} \alpha_{x0\psi} \pm \frac{kz_0}{P_{z0}} - \frac{kz_0}{2\pi h_p} (\gamma_2 - \gamma_1) \operatorname{ctg} \alpha_{x0\psi}. \quad (3.118)$$

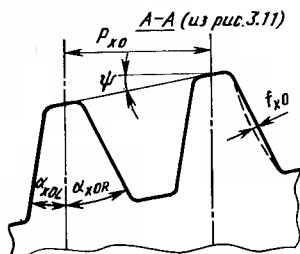
Верхний знак берется для левой стороны правозаходной фрезы с левыми канавками, нижний знак — для правой стороны; для левозаходной фрезы знаки меняются; γ_1 и γ_2 измеряются в радианах; $\sin \gamma_2 = b/r_2$; $\sin \gamma_1 = b/r_1$; $b = 0,5 d_{a0} \sin \gamma_{B.и}$; $h_p = r_1 - r_2$. Для фрез с прямыми канавками в (3.118) и (3.119) следует принять $kz_0/P_{z0} = 0$; при этом угол наклона вершин зубьев $\psi = \operatorname{arctg} \frac{kz_0}{P_{z0}} = 0^*$. При $\gamma_{B.и} = 0$ из (3.118) получается известная формула [23]:

$$\operatorname{ctg} \alpha_{x0L(R)} = \operatorname{ctg} \alpha_{x0\psi} \pm (kz_0/P_{z0}). \quad (3.119)$$

Стрела f_{x0} выпуклости ($f_{x0} > 0$) или вогнутости ($f_{x0} < 0$) осевого профиля

* Алгоритм для точного расчета угла ψ приведен в прил. 13.

Рис. 3.16. Профиль фрезы в осевом сечении (сечения по чертежу рис. 3.11)



фрезы, спроектированной на базе эвольвентного червяка, при известном f_{α} (см. рис. 3.16)

$$f_{x0} = \left[g - \frac{kz_0}{2\pi} (n\gamma_2 + e\gamma_1 - \gamma_3) \right] \sin \alpha_{x0}, \quad (3.120)$$

где $g = f_{\alpha} / \sin \alpha_{x0\alpha}$; $n = (g + h_{cp}) / h_p$; $e = 1 - n$; $\sin \gamma_3 = 0,5 d_{a0} \sin \gamma_{в.ш} / (r_1 - h_{cp})$; величину h_{cp} можно принять равной $0,5 (r_1 - r_2)$. Значения $\alpha_{x0\alpha}$ и f_{α} для различных фрез приводятся в прил. 12.

Отметим, что (3.118) для расчета угла профиля фрезы теоретически точна для фрез, затылованных резцом, при установке кромки резца на затыловочном станке в горизонтальной осевой плоскости фрезы. Формулу можно считать достаточно точной и для фрез, затылованных пальцевым кругом. При затыловании дисковым кругом погрешность δ профиля, рассчитанного из (3.118), измеренная по нормали к нему, для стандартных фрез невелика. Например, для фрез с параметрами $m = 12$ мм; $d_{a0} = 160$ мм; $z_{10} = 1$; $P_{x0} = 37,826$ мм; $k = 12$ мм; $z_0 = 9$; $P_{x0} = 5592$ мм; $\gamma_{в.ш} = 0$ величина $\delta_R = 3$ мкм (правая сторона) и $\delta_L = 4$ мкм (левая сторона). Для стандартной фрезы модуля 6 мм при $d_{a0} = 160$ мм величина δ составляет около $0,5$ мкм*.

При автоматизированном проектировании червячных фрез целесообразно комплексное решение задач профилирования (см. п. 2.4.2.8), что в итоге обеспечивает оптимизацию конструктивных элементов фрезы и инструмента второго порядка с точки зрения точности (для чистовых фрез) или стойкости и производительности. Рассмотрим некоторые из этих задач.

Выбор оптимального по точности переднего угла фрезы. На криволинейность профиля фрезы, характеризующуюся стрелой выпуклости или вогнутости (см. рис. 3.16), величина угла $\gamma_{в.ш}$ оказывает существенное влияние. Если профиль фрезы контролируется в осевом сечении АА (см. рис. 3.11, рис. 3.16), то передний угол γ_f в торцовом сечении на радиусе r_1 , при котором теоретически точный профиль фрезы можно считать прямолинейным, т. е. при котором $f_{x0} \simeq 0$, рассчитывается так:

$$\gamma_f = \frac{f_r}{[kz_0/(2\pi)] \sin \alpha_{x0\alpha} [(t/r_2) - (h_{cp}/r_{cp})]}, \quad (3.121)$$

где $\alpha_{x0\alpha}$ и f_{α} — соответственно из (3.113) и (3.117) или из прил. 12; $t = g + h_{cp}$; остальные величины те же, что в (3.120).

Для фрезы с параметрами $m = 14$ мм; $d_{a0} = 200$ мм; $z_{10} = 1$; $k = 16,5$ мм; $z_0 = 8$, с прямыми канавками (сборная), при $r_1 = 96$ мм; $r_2 = 68$ мм; $h_{cp} = 15,227$ мм; $f_{\alpha} = 0,02345$ мм; $\alpha_{x0\alpha} = 20^\circ 02' 47''$

$$\gamma_f = \frac{0,02345}{\frac{16,5 \cdot 8}{2\pi} \sin(20^\circ 02' 47'') \left(\frac{15,2959}{68} - \frac{15,227}{80,773} \right)} = 0,089427 \text{ рад}$$

* Для многозаходных фрез величина δ в отдельных случаях может значительно превысить допуск на профиль фрезы.

Рис. 3.17. Профиль пальцевого круга

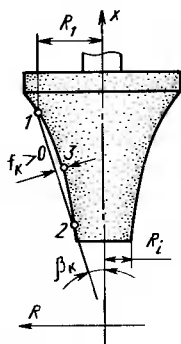
или $\gamma_f = 5^{\circ}07'27''$. Расстояние от оси фрезы до передней грани $b = r_1 \sin \gamma_f \approx 8,60$ мм (с округлением). При данном b для этой же фрезы из (3.120) при $\alpha_{x0} = 20^{\circ}34'14''$ $g = 0,06843$ мм; $n = 0,54626$ $f_{x0} = -0,00033$ мм, т. е. профиль практически прямолинеен.

Проведенные расчеты показали, что величина γ_f для фрез стандартных диаметров при модуле 1—20 мм изменяется от $10'$ до 7° , т. е. находится в пределах, вполне допустимых с точки зрения стойкости фрез.

Профилирование инструмента второго порядка. Профиль затыловочных резцов любого типа и геометрических параметров для червячных фрез рассчитывается из (2.54)—(2.63), где координаты r , θ_0 , z_0 равны $r_{кр}$, $\theta_{кр}$, $z_{кр}$, определяемым из (2.88). Пример расчета профиля затыловочного резца дан в прил. 8. Использование затыловочных резцов с рациональными геометрическими параметрами ($\lambda \neq 0$; $\gamma > 0$) позволяет производить затылование с большими толщинами стружек, чем обычно, путем уменьшения числа проходов. С повышением точности профиля резцов обеспечивается уменьшение припуска под последующее шлифование.

Более сложным является расчет профиля абразивного круга для затылования фрез. Расчет профиля дискового круга и оптимизация его установки рассмотрены в работе [11 и др.] При прямолинейном профиле фрезы (в осевом или нормальном сечении) профиль дискового круга для правой стороны правозаходных фрез должен быть выпуклым, стрела выпуклости которого возрастает с увеличением модуля и угла подъема витков фрезы. При $f_k > f_{j0}$ необходима правка круга по кривой. Изменяя угол ξ скрещивания осей фрезы и круга (обычно $\xi = \gamma_{m0}$), можно добиться уменьшения f_k и даже получения теоретически правильного профиля круга вогнутой формы. На основании проведенных расчетов можно для уменьшения криволинейности f_k круга рекомендовать его установку на станке при угле скрещивания $\xi \approx (1,5 \div 2)\gamma_{m0}$ для правой стороны профиля фрезы. Для левой стороны профиля величина f_k в большинстве случаев незначительна.

Другой путь повышения точности профиля фрез, а также увеличения длины с шлифованного участка зуба фрезы (см. рис. 3.11) — использование для затылования фрез чашечного и особенно пальцевого круга. Величина f_k пальцевого круга в несколько раз меньше, чем дискового, и, кроме того, для правой стороны фрезы теоретически точный профиль круга, в отличие от дискового, имеет обычно вогнутую форму (рис. 3.17). При прямолинейном профиле круга характер погрешности на профиле фрезы благоприятен, так как приводит к срезанию ножки



и вершины зуба колеса, нарезаемого фрезой. Угол профиля β_k и f_k для пальцевого круга рассчитываются при прямолинейном осевом профиле фрезы по следующему алгоритму.

Должны быть известны: радиусы фрезы r_1, r_2 — те же, что и в (3.113) или (3.118); параметры фрезы $P_{x0}, P_{z0}, z_{10}, k, z_0, \alpha_{x0}$; R_i — наименьший радиус круга (см. рис. 3.17).

$$u = r_2 \operatorname{tg} \alpha_{x0R(L)} \mp R_i, \quad (3.122)$$

где верхний знак берется в случае α_{x0R} , нижний — в случае α_{x0L} правозаходной фрезы.

При $r_j = r_1$ $j = 1$; при $r_j = r_2$ $j = 2$.

При $r_j = r_3 = 0,5(r_1 + r_2)$ $j = 3$. (3.123)

Индексом j обозначены номера точек; третья точка берется приблизительно на середине высоты профиля фрезы.

$$E_j F_j - r_j [\operatorname{tg} \alpha_{x0} (E_j \sin \theta_j + F_j) + a \sin^2 \theta - r_j \sin \theta_j \sec^2 \alpha_{x0}] = 0, \quad (3.124)$$

где $E_j = p \theta_j + u$; $F_j = a \operatorname{tg} \alpha_{x0} + p \cos \theta_j$, a и p — из (3.89) и (3.110) соответственно; (3.124) решается относительно θ_j .

$$x_j = r_j \cos \theta_j + a \theta_j;$$

$$y_j = -r_j \sin \theta_j; \quad (3.125)$$

$$z_j = r_j \operatorname{tg} \alpha_{x0} - p \theta_j - u;$$

$$R_j = \sqrt{y_j^2 + z_j^2}. \quad (3.126)$$

Выражения (3.124)–(3.126) рассчитываются при $j = 1, 2$ и 3 .

$$\operatorname{tg} \beta_k = (R_1 - R_2)/(x_1 - x_2); \quad (3.127)$$

$$\operatorname{tg} \beta' = (R_3 - R_2)/(x_3 - x_2); \quad (3.128)$$

$$f_k = (x_3 - x_2) (\operatorname{tg} \beta_k - \operatorname{tg} \beta') \cos \beta_k. \quad (3.129)$$

Для фрезы модуля 12 мм при $r_1 = 92,69$ мм; $r_2 = 60,59$ мм (r_1, r_2 приняты по границе прямолинейного участка профиля); $P_{x0} = 37,826$ мм; $P_{z0} = 5592$ мм (витки правые, канавки — левые); $z_{10} = 1$; $k = 12$ мм; $z_0 = 9$; $\alpha_{x0R} = 20^\circ 12'$; $R_i = 3$ мм:

$u = 19,076$ мм; $r_3 = 73,63$ мм; $a = 17,305$ мм; $p = 6,020$ мм; $x_2 = 60,7667$ мм; $y_2 = -0,6345$ мм; $z_2 = 3,1536$ мм; $R_2 = 3,2168$ мм; $x_3 = 73,9177$ мм; $y_3 = -1,2849$ мм; $z_3 = 7,9087$ мм; $R_3 = 8,0124$ мм; $x_1 = 93,0239$ мм; $y_1 = -1,8873$ мм; $z_1 = 14,9053$ мм; $R_1 = 15,0243$ мм; $\beta_k = 20^\circ 06' 17''$; $f_k = 0,0173$ мм (вогнутость).

Значение f_k намного меньше, чем у дискового круга.

Расчет погрешностей профиля фрезы при стачивании. При переточке затылованных фрез по передней поверхности ее диаметр уменьшается. Погрешность $\Delta_{\sigma\tau}$ профиля при этом является следствием того, что теоретический угол профиля α_τ в заданном

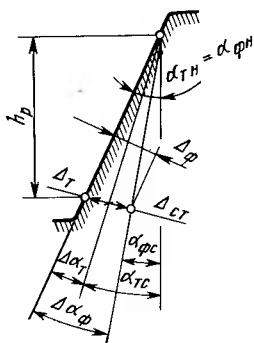


Рис. 3.18. Погрешность профиля фрезы при стачивании

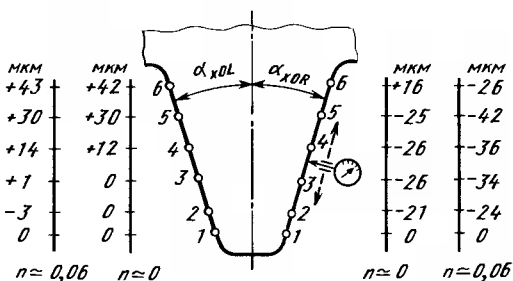


Рис. 3.19. Результаты измерений профиля новой ($n = 0$) и сточенной ($n = 0,06$) фрезы

сечении (нормальном, осевом, по передней грани) изменяется на величину $\Delta\alpha_\tau$, а фактический — на величину $\Delta\alpha_\phi$, причем $\Delta\alpha_\tau \neq \Delta\alpha_\phi$ (рис. 3.18). Величина $\Delta\sigma_T$, как расстояние по нормали к заданному профилю между крайними точками теоретического и фактического профиля сточенной фрезы, рассчитывается так:

$$\begin{aligned} \Delta\alpha_\tau &= \alpha_{\tau.н} - \alpha_{\tau.с}; \quad \Delta\tau = h_p \sec \alpha_\tau \operatorname{tg} \Delta\alpha_\tau; \\ \Delta\alpha_\phi &= \alpha_{\phi.н} - \alpha_{\phi.с}; \quad \Delta\phi = h_p \sec \alpha_\tau \operatorname{tg} \Delta\alpha_\phi; \\ \Delta\sigma_T &= \Delta\phi - \Delta\tau, \end{aligned} \quad (3.130)$$

где $\Delta\alpha_\tau$ — разница теоретических углов профиля новой $\alpha_{\tau.н}$ и сточенной $\alpha_{\tau.с}$ фрезы; h_p — расчетная высота профиля; $\Delta\alpha_\phi$ — разница фактических углов профиля новой ($\alpha_{\phi.н} = \alpha_{\tau.н}$) и сточенной ($\alpha_{\phi.с}$) фрезы.

Для фрез, нарезающих стандартные колеса, можно принять $h_p = 2m$; $\alpha = \alpha_{\phi.н} = \alpha_{\tau.н} = \alpha_\tau = 20^\circ$. Изменения теоретического профиля, т. е. значения $\Delta\alpha_\tau$ и $\Delta\tau$, рассчитываются достаточно просто — в общем случае из (2.88)–(2.94), если в этих уравнениях принять различные расчетные диаметры, соответствующие новой и сточенной фрезе. При уменьшении наружного диаметра фрезы на величину $n \cdot k$ (где n — коэффициент сточности; k — величина затылования) расчетные радиусы r_1 и r_2 профиля (см. рис. 3.15) также уменьшаются на величину $n \cdot k$.

Величина $\Delta\alpha_\phi$ изменения угла фактического профиля в случае, если профиль контролируется по затылованной поверхности (например, угол α_{x0} в осевом сечении), может быть получена путем измерений на соответствующих приборах. На рис. 3.19 представлены результаты измерений профиля в осевом сечении фрезы: $m = 18$ мм; $d_{a0} = 225$ мм; $\gamma_{в.н} = 0$; $z_{10} = 1$ с прямыми канавками. Цифрами показано отклонение (в мкм) профиля в разных

точках. Расстояние между точками 2 и 6 по радиусу фрезы составляет 36 мм. Отрицательные цифры соответствуют опусканию измерительного наконечника прибора (мод. PWF-250) в «тело» зуба фрезы. Измерения проводились для новой фрезы (близко к кромке), т. е. при $n \simeq 0$, и при $n \simeq 0,6$ на расстоянии от кромки около 6 мм. Величина Δ_{Φ} , взятая по точкам 2 и 6, как видно из приведенных на рис. 3.19 данных, составляет для правой стороны $\Delta_{\Phi R} = 39$ мкм и для левой $\Delta_{\Phi L} = -2$ мкм.

Приближенно величину Δ_{Φ} для фрез, затылованных дисковым кругом, можно рассчитать с помощью следующего алгоритма (точность расчета тем меньше, чем меньше a/p).

Должны быть известны: d_{a0} , m , P_{x0} , P_{z0} , k , z_0 , z_{10} , h_p , h_{a0}^* , h_a^* , h_0 , α_R , α_L , n , a , p , R , где h_a^* — коэффициент высоты головки зуба колеса; h_0 — полная высота профиля фрезы; $\alpha_{R(L)}$ — угол профиля фрезы в любом заданном сечении; R — наружный радиус круга. Для стандартных колес можно принять: $h_p = 2m$; $h_{a0}^* = 1,25$; $h_a^* = 1$; $h_0 = 2,50m$; $\alpha_R = \alpha_L = 20^\circ$; a и p рассчитываются из (3.89) и (3.110).

Определение Δ_{Φ} происходит в следующем порядке:

$$r_j = 0,5d_{a0} - (h_{a0}^* + h_a^*)m - n_j k; \quad (3.131)$$

$$L_j = R + 0,5d_{a0} - h_0; \quad (3.132)$$

$$R_e = L_1 - r_1; \quad R_i = R_e - h_p, \quad (3.133)$$

$$\text{где } r_1 = r_j, \quad L_1 = L_j \text{ при } j = 1; \quad (3.134)$$

$$\operatorname{tg} \xi_j = a/L_j; \quad \operatorname{ctg} \epsilon_j = \operatorname{ctg} \xi_j - \frac{R_i}{a} \sec \xi_j; \quad (3.135)$$

$$\operatorname{ctg} \theta_j = \operatorname{ctg} \epsilon_j - \frac{h_p}{a} \sec \xi_j;$$

$$\varphi_j = \theta_j - \epsilon_j. \quad (3.136)$$

Если профиль фрезы задан в осевом сечении, то $v_j = 0$. (3.137)

Если профиль задан в нормальном к виткам сечении, то

$$v_j = \pm 2\pi h_p \operatorname{tg} \alpha_{R(L)} / (P_{z0} + z_{10} P_{x0}). \quad (3.138)$$

Если профиль задан по передней грани (кромке), то

$$b = 0,5d_{a0} \sin \gamma_{в. и},$$

$$\sin \gamma_i = b/r_j; \quad \sin \gamma_e = b/(r_j + h_p); \quad (3.139)$$

$$v_j = \frac{P_{z0}(\gamma_i - \gamma_e) \pm 2\pi h_p \operatorname{tg} \alpha_{R(L)}}{P_{z0} + z_{10} P_{x0}};$$

$$\mu_j = \varphi_j + v_j; \quad (3.140)$$

$$\Delta_{\Phi R(L)} = (a \sin \alpha_{R(L)} \pm p \cos \alpha_{R(L)}) (\mu_2 - \mu_1). \quad (3.141)$$

В выражениях (3.138), (3.139) и (3.141) верхний знак берется для правой, нижний — для левой стороны профиля правозаход-

ной фрезы; для левозаходной фрезы знаки соответственно меняются.

Все величины с индексом j рассчитываются при $j = 1$, что соответствует новой фрезе ($n_1 = 0$), и при $j = 2$, что соответствует сточенной фрезе с заданным коэффициентом сточенности $n_j = n_2 = n$.

Приведем пример расчета Δ_Φ для рассмотренной выше фрезы (см. рис. 3.19). Известны: $d_{a0} = 225$ мм; $m = 18$ мм; $P_{x0} = 56,883$ мм; $P_{x0} = \infty$ (канавки прямые); $k = 17,0$ мм; $z_0 = 8$; $z_{10} = 1$; $h_p = 36$ мм; $h_{a0}^* = 1,25$; $h_a^* = 1$; $h_0 = 45$ мм; $\alpha_L = \alpha_R = \alpha_{x0L} = \alpha_{x0R} = 20^\circ 03'$; $n = 0,06$ мм (фреза сборная); $R = 99$ мм; $a = 21,645$ мм; $p = 9,045$ мм. Из (3.136)—(3.146): при $j = 1$ $n_1 = 0$; $r_1 = 72$ мм; $L_1 = 162$ мм; $R_e = 90$ мм; $R_t = 54$ мм; $\xi_1 = 7,610^\circ$; $e_1 = 11,382^\circ$; $\theta_1 = 16,9093^\circ$; $\varphi_1 = 5,527^\circ$; $n_2 = n = 0,06$; $r_2 = 71$ мм; $L_2 = 161$ мм; $\xi_2 = 7,657^\circ$; $e_2 = 11,483^\circ$; $\theta_2 = 17,130^\circ$; $\varphi_2 = 5,647^\circ$; $\mu_2 - \mu_1 = 0,00209$ рад; $\Delta_{\Phi R} = 0,0331$ мм; $\Delta_{\Phi L} = -0,0024$ мм, т. е. фактический угол профиля для правой стороны данной фрезы при стачивании уменьшается, для левой — увеличивается.

Погрешности профиля фрезы при ее стачивании могут быть уменьшены путем использования определенных геометрических параметров фрезы ($\gamma_{в.н.}$, P_{x0}), специальной установки круга при затыловании, использования чашечного или пальцевого круга, применения несимметричного допуска на профиль фрезы, а также изменения диаметра фрезы.

4. СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

4.1. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РИ

Как объект изготовления режущий инструмент (РИ) имеет следующие особенности:

а) высокую стоимость инструментальных материалов (если цена 1 кг конструкционной стали составляет около 0,1 р., то быстрорежущей стали 2—5 р., твердого сплава 10—15 р., сверхтвердых материалов 1000—5000 р.);

б) сложность геометрических форм инструмента и большое количество технологических операций — до 50 и более;

в) высокие требования к точности (мерный инструмент, размеры которого непосредственно влияют на размеры детали — сверла, развертки, зуборезный РИ и др., — должен иметь точность на 1—2 и более качества выше, чем обрабатываемая поверхность);

г) повышенное влияние физико-механических свойств инструментального материала на качество РИ, в том числе стойкость и производительность; как следствие, техпроцесс изготовления РИ должен обеспечить достаточно высокие и стабильные свойства материала РИ после его изготовления;

д) высокую твердость инструментальных материалов, предопределяющих широкое использование, особенно на финишных операциях абразивной обработки.

Тип производства РИ изменяется от массового до мелкосерийного и единичного. Первый более характерен для производства стандартного РИ на специализированных инструментальных заводах. Мелкосерийное производство РИ характерно для инструментальных цехов машиностроительных предприятий. Технология производства РИ в таких различных условиях также различна. В мелкосерийном производстве используется главным образом универсальное оборудование, позволяющее изготавливать различные виды РИ на одних станках. В массовом производстве широко используется высокопроизводительное специальное оборудование вплоть до автоматических линий для изготовления сверл, метчиков, фрез и других РИ. Это позволяет, по сравнению с мелкосерийным производством, в несколько раз повысить производительность и снизить себестоимость изготовления РИ.



Рис. 4.1. Общая классификация технологических процессов

Разработка техпроцесса изготовления РИ осуществляется с учетом общей классификации (рис. 4.1) и на основе правил и стандартов Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП).

Единичный техпроцесс применяется для изготовления РИ одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства (например, сверла из быстрорежущей стали, с цилиндрическим хвостовиком диаметром 6 мм, точного исполнения, средней серии). Типовой техпроцесс применяется в качестве информационной основы при разработке рабочего техпроцесса, а также базы для разработки стандартов на типовые технологические процессы.

Типовые * технологические процессы разрабатывают на основе анализа множества действующих и возможных процессов для типовых групп инструментов. Типизация осуществляется на трех уровнях — общесоюзном, отраслевом и предприятия.

Рабочий технологический процесс применяется для изготовления конкретного инструмента; перспективный разрабатывается при техническом и организационном перевооружении производства и рассчитан на применение более совершенных методов обработки и изменение принципов организации производства.

В соответствии с ЕСТПП разработка техпроцесса изготовления РИ включает в общем случае следующие этапы.

А. Классификация объекта производства на основе соответствующих методик и классификаторов. Классификация РИ

* По ГОСТ 14301—83 отдельно выделяется также групповой техпроцесс.

может производиться по ряду признаков, в том числе по форме, в соответствии с общемашиностроительной классификацией: А — валики (сверла, развертки, метчики и др.); Б — втулки (цилиндрические фрезы, насадные зенкеры, червячные фрезы и др.); В — диски (дисковые фрезы, круглые фасонные резцы, долбяки, шеверы); Г — пластины (резцы токарные, ножи к дисковым и торцовым фрезам). Важным признаком, в значительной мере определяющим основные этапы изготовления РИ, является также группа инструментального материала (см. табл. 2.4).

Б. Количественная оценка групп изготавливаемого РИ; определение типа производства.

В. Анализ конструкций РИ на основе действующих типовых техпроцессов и разработка маршрутов их изготовления.

Г. Выбор заготовки и методов ее получения с использованием классификатора заготовок и, при необходимости, с технико-экономическим обоснованием выбора.

Д. Выбор технологических баз с использованием классификатора способов базирования и методики выбора технологических баз.

Е. Выбор вида обработки (литье, давление, резание) с использованием классификатора изделий и операций и методики оценки точности и качества поверхностей.

Ж. Составление технологического маршрута обработки с использованием классификатора технологического оборудования; определение последовательности операций.

З. Разработка технологических операций на основе структурной схемы и формул технологических операций с использованием ряда классификаторов, стандартов, методик (по расчету режимов, норм времени и др.).

И. Расчет точности, производительности и экономической эффективности техпроцесса с использованием соответствующих методик.

Необходимость разработки каждого из перечисленных этапов техпроцесса определяется разработчиком в зависимости от готовности предприятия и типа производства.

Состав задач каждого этапа и основные документы, обеспечивающие их решение, указаны в стандартах ЕСТПП (ГОСТ 14.303—73, ГОСТ 14.307—73 и др.).

4.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РИ

4.2.1. Этапы изготовления

Основными этапами изготовления стального РИ являются: а) заготовительные операции, в результате которых получается заготовка РИ; б) основные формообразующие операции, на которых снимается основная часть припуска; в) закалка и отпуск,

в результате которых РИ приобретает высокую твердость, ко-
леблущуюся для разных марок в пределах HRC₆ 62—70, при
достаточной прочности и определенной структуре стали; г) шли-
фовально-заточные операции, обеспечивающие окончательные тех-
нические требования по точности размеров, геометрическим пара-
метрам и шероховатости поверхности; д) операции химико-тер-
мического улучшения, включая нанесение покрытий, что обеспе-
чивает повышение стойкости или производительности РИ.

Операции сварки (пайки) для инструментов осуществляются,
как правило, на первом этапе, наряду с другими заготовитель-
ными этапами. Для сборных инструментов соответствующие
операции сборки в большинстве случаев производятся до шлифо-
вально-заточных операций с тем, чтобы при окончательной об-
работке и заточке обеспечить высокую точность изготовления.

К основным этапам изготовления твердосплавного монолит-
ного инструмента относятся: а) получение заготовки твердо-
сплавного РИ путем его прессования из порошка, в который
добавляется специальный пластификатор (парафин); б) предва-
рительное спекание твердосплавной заготовки без выжигания
пластификатора, в результате которого заготовка может обраба-
тываться резанием лезвийным инструментом; в) основные формо-
образующие операции, на которых снимается большая часть
припуска; г) окончательное спекание заготовки РИ с выжиган-
ием пластификатора, после которого твердый сплав приобретает
высокую твердость; д) шлифовально-заточные и доводочные опе-
рации.

Изготовление абразивных инструментов (кругов) включает
следующие этапы: а) приготовление абразивных формовочных
масс, включающих компоненты шихты связки и абразивных ча-
стиц (дозирование, смешивание, рыхление, укладка в пресс-
форму); б) формование абразивного инструмента методом прес-
сования в пресс-форме, прокаткой на вальцах или специальным
шликерным литьем; в) обжиг формованной заготовки; г) меха-
ническая обработка посадочных и рабочих поверхностей и кон-
троль.

Технология изготовления алмазных кругов имеет ряд особен-
ностей: отдельными дополнительными этапами являются изготов-
ление корпуса и соединение с ним режущей части круга — алмазо-
носного слоя.

Можно также отметить типичные для всех РИ операции марки-
ровки и упаковки инструмента. Особое место занимают контроль-
ные операции, которые проводятся как на различных этапах
и операциях техпроцесса, так и после изготовления РИ.

4.2.2. Методы получения заготовок

Наиболее разнообразные методы используются для стальных
инструментов. К ним относятся: а) получение в металлургической
промышленности прутков и полос быстрорежущей стали путем

обычного передела, электрошлаковым переплавом, распылением в вакууме и последующим прессованием (порошковая сталь); б) изготовление заготовок путем механической обработки резанием из прутков и полос (отрезка, обработка торцов и др.); в) получение заготовок разнообразными методами обработки давлением (ковка, штамповка, прокат, редуцирование, вальцовка, прессование, выдавливание, обжатие); г) получение заготовок литьем.

Метод влияет на коэффициент использования металла, структуру стали и стойкость инструмента, а также на технологические свойства стали (см. прил. 2). В общем случае тот или иной метод должен выбираться исходя из общих приведенных затрат на инструмент при его изготовлении и эксплуатации. При примерно одинаковых эксплуатационных свойствах инструмента и припусках на обработку метод получения заготовок может быть выбран по критерию минимальной себестоимости заготовки.

Учитывая высокую стоимость инструментальных материалов, а также дефицитность некоторых компонентов, входящих в их состав, экономия материала при получении заготовок имеет первостепенное значение.

4.2.3. Сварка, пайка, склеивание

Сварка режущего инструмента позволяет создавать высокоэкономичные сборные неразъемные конструкции, режущая часть которых выполнена из инструментальных легированных или быстрорежущих сталей, а корпус из конструкционных углеродистых или легированных.

При изготовлении режущего инструмента наиболее широко применяют сварку контактную стыковую, трением и диффузионную, причем последняя применяется для соединения главным образом разнородных материалов (например, металлоподобный материал — металл, неметалл—металл), когда иной вид сварки применить технологически сложно. Технологию получения неразъемных сварных конструкций определяют химическая, структурно-фазовая и механическая неоднородность соединяемых материалов и различие их теплофизических свойств.

Конструкция свариваемого инструмента должна предусматривать одинаковую форму и размеры соединяемых сваркой элементов, некоторый припуск на оплавление материала (по длине) и устранение перекосов и несоосности (по диаметру). Для инструментов диаметром 8—80 мм при длине заготовки 100—500 мм ВНИИ рекомендует припуск на диаметр 1,4—4,3 мм, а по длине — 4,4—12,4 мм.

Машину для стыковой сварки выбирают по наибольшему свариваемому сечению, ориентируясь на удельную мощность ($3-10 \text{ кВ} \cdot \text{А/см}^2$) и плотность сварочного тока ($6-40 \text{ А/мм}^2$). Указанные меньшие значения относятся к большим диаметрам заготовки.

Обычная технология контактной стыковой сварки включает следующие операции: подготовку поверхности под сварку, предварительный подогрев, оплавление и осадку. Подготовка поверхности заготовок под сварку ведут галтовкой или обточкой. Сварка горячекатаного неочищенного металла недопустима. Высокое электрическое сопротивление поверхности заготовки при сварке обычно приводит к так называемому подгару поверхности, являющемуся иногда причиной поломки инструментов из быстрорежущей стали.

Предварительный подогрев осуществляется повторяющимися, при включенном токе, замыканиями на время 0,08—0,2 с и паузами 0,12—0,30 с. После некоторого числа циклов температура торцов выравнивается, и они подготовлены к оплавлению.

При оплавлении свариваемые торцы непрерывно движутся навстречу друг другу. Участки контакта быстро плавятся, образуются элементы жидкого металла, который взрывообразно испаряется с образованием снопа искр. На торцах образуется тонкий слой жидкого металла. Скорость оплавления зависит и от марки быстрорежущей стали. Так, для марок P9, P12, P18, P9K5 рекомендуется скорость изменять в пределах 0,8—2,2 мм/с, для P6M5, P6M5K5 — 1,0—2,5 мм/с и т. п.

Осадка во многом определяет качество соединения. Для облегчения пластической деформации вначале производится осадка при включенном токе (25—30 % общего припуска на осадку) и завершается без тока. Скорость осадки на первом этапе должна быть выше 10 мм/с, ее величина лежит в пределах 1,5—3,0 мм/с, а сила осадки соответствует удельному давлению 3—6 кПа.

Стыковые машины для сваривания заготовок диаметром 30—80 мм с наибольшим усилием осадки 30—150 кН обеспечивают в ручном или полуавтоматическом режиме получение 25—100 сварок в час. Припуск на сварку быстрорежущей стали со сталями марок 45, 40X обычно составляет 0,65—0,8 от общего припуска.

После сварки заготовку помещают в печь с температурой 870 °С, и выдерживают всю партию 2—4 ч, а потом охлаждают вместе с печью до температуры 570 °С и далее на воздухе. Такой сокращенный изотермический отжиг препятствует возникновению в зоне шва структур закалки, снимает напряжения в заготовке.

Технология сварки трением предусматривает нагрев торцов свариваемых стержней при вращении и их осадку в непрерывном режиме. В процессе нагрева поддерживается постоянное давление после сближения торцов заготовок до достижения необходимой для сварки температуры (1200—1300 °С). Затем прекращают вращение стержней с приложением еще большего давления для осадки, чем, собственно, заканчивается сварка, за которой следует отжиг. Для сварки быстрорежущих сталей со сталями 45 и 40X диаметром 10—40 мм характерны следующие параметры режима: давление на стадии нагрева 17—31 кПа в течение 1—7 с; давление осадки в 2 раза выше. С увеличением диаметра в указанных выше

пределах удельное давление снижается в 3—4 раза, а время отжига возрастает в 5—10 раз. Эти изменения связаны маркой быстрорежущей стали. Например, при одинаковых размерах заготовок удельное давление на стадии нагрева у стали P18 составляет 6 кПа, а у стали P18Ф2К8М — 8,5 кПа при времени нагрева соответственно 16 и 10 с.

Серийно выпускаемые машины для сварки инструмента трением позволяют сваривать заготовки диаметром 6—60 мм в полуавтоматическом режиме; оператор производит лишь загрузку и выгрузку заготовок. На некоторых машинах производится и снятие образующегося напыва — так называемого грата.

Качество сварных соединений инструмента контролируется внешним осмотром и обмером сварных заготовок, люминесцентным методом, методом разрушения, металлографическим и ультразвуковым.

Пайка твердосплавных пластин применяется довольно широко, хотя ведутся постоянные изыскания методов закрепления пластин с помощью механических устройств. Этот процесс характеризуется тем, что в паяном соединении при его охлаждении вследствие различия физико-механических свойств стали и твердого сплава возникают значительные напряжения, зачастую приводящие к появлению трещин в твердом сплаве, паяном шве и корпусе инструмента. Снижение остаточных напряжений и уменьшение образования трещин достигается изгибанием корпуса инструмента из подходящих сталей, например, стали 35ХГС и др., увеличением толщины корпуса или уменьшением толщины пластины твердого сплава, использованием низкотемпературных пластичных припоев, обеспечивающих меньший перепад температур и релаксацию напряжений при остывании после пайки и др. Часто используются такие технологические способы снижения напряжений, как закалка стального корпуса инструмента в процессе его охлаждения после пайки (так называемый прием «ПАЙЗАК»), релаксационный отпуск, применение компенсационных прокладок между корпусом и пластиной. Наиболее эффективен прием «ПАЙЗАК», так как при закалке стального корпуса создаются структуры, занимающие больший объем, чем при медленном охлаждении. Увеличение объема корпуса приводит к снижению остаточных напряжений.

Вместе с тем быстрое охлаждение инструмента может привести к возникновению трещины в твердом сплаве. Наиболее устойчивы к охлаждению сплавы титановольфрамовой группы (Т15К6, Т30К4 и др.). Охлаждение лучше переносят сплавы вольфрамовой группы с большим содержанием кобальта, например, ВК15. В связи с этим закалку производят в горячей среде и стремятся не погружать пластину в эту среду. Однако корпусные стали 45, 40Х плохо закаливаются в горячих средах, а стали 9ХС хорошо. Корпуса из сталей 45, 40Х закаливают в воде, подогретой до 80 °С, и уровень ее при погружении инструмента в ванну не доходит

до пластины на 3—5 мм. Релаксационный отпуск осуществляют путем выдерживания инструмента после пайки в нагревательной печи при температуре 220—240 °С около 8 ч. При этом происходит снятие напряжений за счет ползучести припоя.

Прокладки толщиной 0,2—0,4 мм из пермаллоя между корпусом и пластиной позволяют повысить пластичность паяного шва и способствуют перераспределению напряжений. Однако мягкая опора под пластиной при повышенных нагрузках подвержена смятию, что может привести к поломке пластины.

В качестве припоя при изготовлении инструмента используют трехслойный припой ТП-1, медь, латунь Л63 и Л68, сплавы МНМц 68—4—2, АНМц 0,6—4—2, ЛМцЖ 57—1,5—0,5 и ЛНМц 60—9—5, ПСр 44 и др. Флюсом служат обезвоженная бура, смесь буры и борной кислоты с добавками различных солей, активизирующих флюсы, флюс марок Ф100 и Ф209.

Пайке предшествует подготовка твердого сплава и корпуса, сборка инструмента. Подготовка твердого сплава к пайке ведется различными способами. Например, снятие поверхностного слоя сплава на заточном станке, дробеструйная или пескоструйная обработка, обработка во вращающихся барабанах, наполненных специальной смесью, химико-механическая, электрохимическая и т. п. Цель обработки — хорошее смачивание поверхности пластин расплавленным припоем для качественной пайки. К примеру, малокобальтовые твердые сплавы подготавливаются окислением в электропечи при 800 °С в течение 10—30 мин с последующим снятием окисной пленки во вращающемся барабане со смесью речного песка, древесных опилок и 10 %-ного раствора каустической соды.

Подготовка корпусов инструмента к пайке начинается на этапе конструирования при выборе материала и на этапе изготовления проведением отжига перед механической обработкой со строгим соблюдением режима охлаждения.

Гнездо под пластину должно точно соответствовать ее размерам; должны быть обеспечены паяльные зазоры, а свисание пластины не более 0,5—0,8 мм. Пайка в открытый паз производится только по одной плоскости. При капиллярной пайке оптимальная толщина паяного шва лежит в пределах 0,1—0,25 мм, а соотношение толщины твердого сплава и стали должно быть 1 : 3. Перед пайкой корпуса нужно обезжиривать в 10—15 %-ном водном растворе каустической соды, нагретой до 80—90 °С, промывать в горячей воде и сушить горячим воздухом. Обезжиривание корпусов производится в течение недели до пайки.

Сборка инструмента под пайку включает установку (ориентацию и закрепление) пластины твердого сплава, дозировку припоя, нанесение флюса, проверку и корректировку паяльных зазоров и др.

В многолезвийном инструменте пластины крепят с помощью кернения, чеканки, штырей, забиваемых в специальные отверстия, или технологических стенок.

Оптимальная дозировка припоя должна быть такой, чтобы не было его натеков на инструменте, что вызывает трудности при заточке, а швы были бы заполнены целиком. Припой в виде пластин или таблеток повышают производительность пайки, и они готовятся заранее.

Для пайки безвольфрамовых твердых сплавов, а также малокобальтовых используют флюс Ф100, так как другие не обеспечивают необходимой смачиваемости поверхности пластин расплавленным припоем. Все другие пластины паяют с применением обезвоженной буры и припоев на основе меди. Флюсы № 209 и № 284 используют с припоями на основе серебра. Во всех случаях дозировка флюса должна обеспечивать покрытие всех паемых поверхностей.

Собственно пайка производится при нагреве инструмента в сборе в соляных ваннах, электропечах, электроконтактным способом, газовой горелкой, но наиболее предпочтительным является высокочастотный нагрев.

При пайке погружением пластины испытывают нежелательные термические нагрузки, а нагрев газовой горелкой дает местные перегревы. В электропечах с защитной атмосферой с успехом паяют некрupные режущие инструменты. Нагрев под пайку должен проводиться медленно с равномерным прогревом корпуса пластин.

Мелкоразмерный многолезвийный инструмент нагревают сразу со всеми зубьями, а в крупном инструменте производят нагрев каждого зуба в отдельности, вводя внутрь петли индуктора только часть корпуса. Пайка инструмента из быстрорежущей стали имеет свои особенности. Здесь следует применять припой, имеющий температуру плавления, близкую к температуре нагрева быстрорежущей стали. Например, для быстрорежущих резцов с корпусом из конструкционной стали используются «сварочные порошки» на основе малоуглеродистого ферромарганца, содержащие добавки меди, ферросилиция, стального порошка в смеси с обезвоженной бурой или другими флюсами. Технология получается несколько громоздкой: пайка пластин на контактных сварочных машинах с использованием «сварочного порошка»; отжиг инструмента по режиму для быстрорежущей стали данной марки; закалка и отпуск. Упрощения этого маршрута можно добиться, объединяя пайку с термообработкой быстрорежущей стали на современном оборудовании с четким соблюдением температурных параметров. Другим приемом пайки быстрорежущих частей к корпусу является использование термообработанных пластин. Здесь температура пайки не должна превышать параметров кратковременного отпуска быстрорежущей стали данной марки. Этим условиям в большей мере способствует припой ПСр40. Во многом этот прием сводит процесс к пайке твердосплавных пластин серебросодержащим припоем в виде фольги или проволоки с флюсом № 284 или припоем ПСр33.

Для пайки с нагревом токами высокой частоты используют специальные установки с ламповыми или машинными генераторами.

Склеивание в производстве режущих инструментов имеет ряд преимуществ перед традиционными методами закрепления режущих элементов пайкой, сваркой и механическим путем. Склеивание не приводит к возникновению таких значительных напряжений в пластине твердого сплава, как при пайке, не снижает твердости опорных поверхностей. Инструменты с наклеенными керамическими, быстрорежущими и твердосплавными режущими элементами применяются для точения, фрезерования, зенкования, развертывания, зубофрезерования, протягивания, сверления и т. п.

Склеивание применяется вместо сварки для соединения режущей и хвостовой части, а также для сборки лезвийного инструмента из сверхтвердых синтетических материалов. Применяют эпоксидные клеи, эпоксидно-кремнийорганические, феноло-каучуковые, кремнийорганические азотосодержащие, карборансодержащие и другие с теплостойкостью 100—700 °С в виде паст, пленок, порошков, прутков и др.

Технология склеивания сводится к выполнению ряда несложных операций. Поверхности деталей подготавливают пескоструйной и дробеструйной обработкой не позже чем за сутки до склеивания. Затем поверхности, перед самым склеиванием, обезжиривают бензином и ацетоном или на ультразвуковых установках и высушивают. Поверхность твердосплавных пластин под склеивание может подвергаться химическому избирательному травлению в смеси азотной и фтористоводородной кислот с последующей промывкой и сушкой.

Клей из соответствующих компонентов приготавливается заранее, с учетом его срока «жизни»; так, клей ВК-20 из трех компонентов хранится 4—7 ч, а однокомпонентный ВК-28 — месяц.

Клей слоем толщиной более 0,2 мм наносится на подготовленные поверхности металлической палочкой, шпателем, шприцем или выдавливанием из трубы с наконечниками различной формы. После некоторой выдержки на воздухе детали готовы к сборке. Совмещают плоскости, покрытые клеем, слегка притирают друг к другу и в нужном положении фиксируют мягкой проволокой, струбцинами, хомутиками, центровочными втулками и другими устройствами, обеспечивающими необходимое удельное давление в зоне контакта и неподвижность соединения в процессе затвердения клея. Обычно удельное давление лежит в пределах 0,05—0,80 МПа. Отверждение ведется при температурах до 300 °С в течение 1—48 ч в термошкафах с регулируемой температурой. После выдержки при температуре отверждения следует медленное охлаждение термошкафа вместе с инструментом.

4.2.4. Основные формообразующие операции

Основные операции обработки стального инструмента, при которых с заготовки снимается большая часть припуска, производятся в основном резанием. Инструменты, относящиеся к классу «валики», «диски» и «втулки», имеющие цилиндрические и конические поверхности, обрабатываются на токарных и токарно-револьверных станках и автоматах. Плоские поверхности у инструментов класса «пластины» обрабатываются в основном фрезерованием.

Стружечные канавки РИ (сверл, фрез, метчиков и др.) обрабатываются фрезерованием или вышлифовываются. Несмотря на использование в последние годы высокопроизводительных фрезерных специальных станков (например, для одновременного фрезерования двух канавок и двух спинок сверла четырьмя фрезами), все более широкое применение находит способ вышлифовки канавок на закаленной заготовке. Он позволяет получить, например на сверлах, менее шероховатую поверхность (переднюю), сокращает технологический процесс и повышает стойкость РИ.

Лапки и квадраты у хвостовиков инструментов также фрезеруются, а в массовом производстве используется штамповка (для метчиков).

Зубья затылованных фрез — дисковых, пальцевых и червячных — обрабатывают на специальных станках. На токарно-затыловочных станках производится обработка резцами до закалки инструмента (см. рис. 2.30); на шлифовально-затыловочных — шлифование закаленных поверхностей.

Резьбы на метчиках, резьбонарезных и накатных роликах в массовом производстве накатывают и, при высокой точности, после термообработки шлифуют. В серийном производстве резьбы фрезеруют гребенчатыми или дисковыми фрезами.

Зубья зуборезных инструментов — долбяков, шеверов — обрабатывают, как и у зубчатых колес, в основном на зубофрезерных станках. На долбяке при этом одновременно образуется задний угол за счет изменения расстояния между осями фрезы и долбяка при продольной подаче.

Пути повышения производительности обработки резанием при изготовлении инструмента те же, что и в станко- и машиностроении. Одной из особенностей производства РИ является разнообразие типа производства (от единичного до массового) и большая номенклатура. Поэтому пути совершенствования производства РИ разнообразны — от использования автоматических линий в массовом производстве (сверл, метчиков, фрез, плашек и других РИ) до использования станков с ЧПУ (см. п. 4.5).

4.2.5. Термическая и химико-термическая обработка

Термическая обработка — закалка и отпуск — используется для инструментов с режущей частью, выполненной из сталей (см. табл. 2.4). По трудоемкости она составляет лишь около 10 %

в техпроцессе изготовления РИ, но имеет очень важное значение для качества стали и стойкости инструмента.

Технология закалки и отпуска характеризуется скоростью и температурой нагрева, временем выдержки при нагреве, скоростью, температурой охлаждения, средами (газ, расплав солей), в которых осуществляется термообработка. Эти параметры зависят, в первую очередь, от марки стали, а также от вида инструмента и его размеров [6]. Для нагрева используются электрические и газовые печи, в том числе с восстановительной атмосферой или вакуумом; ванны с расплавленными солями.

Охлаждение осуществляется в масле, воде, солях, щелочи, на воздухе. Большое значение для качества термообработки имеет строгая выдержка режимов, в том числе температуры нагрева. Особенно это важно для сталей, чувствительных к перегреву (см. прил. 2). Лучшие результаты достигаются при закалке (отпуске) одних и тех же инструментов или инструментов из одной марки стали при автоматическом контроле режимов термообработки.

Химико-термическое улучшение свойств режущих инструментов — хромирование, цианирование, обработка паром, карбонитрация, износостойкие покрытия и др. — используется давно. При сравнительно небольших затратах эти способы во многих случаях повышают стойкость РИ в 2 раза и более. Большинство методов обеспечивает износоустойчивость тонкого поверхностного слоя стали при сохранении достаточно вязкой и прочной основной массы лезвия РИ. Таким образом, высокая твердость сочетается с прочностью и вязкостью, что при однородном составе и структуре материала достигнуть не удастся.

В последние годы для стального и особенно твердосплавного инструмента получило широкое использование нанесение покрытий из нитридов и карбидов титана (TiN, TiC), вольфрама и других элементов в плазменной среде или путем конденсации — на установках «Булат», «Пуск», «МИР». Толщина покрытий составляет обычно несколько микрон; для лучшего сцепления с поверхностями РИ используются двухслойные покрытия. Стойкость инструментов с покрытиями повышается в 2—5 раз.

4.2.6. Затачивание

При изготовлении, а также при эксплуатации инструмент затачивают по передним и задним поверхностям.

Резцы затачиваются и доводятся на алмазно-заточном (мод. 364, 3622) электрохимическом (мод. 3622Э, 3626Э, 3629Э), алмазно-доводочном (мод. 3622Д), алмазно-эрозионном (мод. 3Е624ЭР), абразивно-заточном (мод. 3Д625) и других станках.

Полуавтоматы для двухплоскостного (мод. 3Б650, 3Е651) или винтового (мод. 3Р653, 3Е653 и др.) затачивания сверл могут применяться и для других инструментов (разверток, зенкеров,

зенковок). Червячные фрезы в зависимости от их диаметра и класса затачивают на полуавтоматах мод. 3А660Б, 3А660А, 3Б662УВ, 366У, 3Б664ВФ2 и др. Протяжки плоские затачивают на станках и полуавтоматах мод. 3601, 3602Ф2 и др., круглые и шлицевые — на полуавтоматах мод. ВЗ-180Ф2 и др. Выкружки на круглых и шлицевых протяжках делают на полуавтомате мод. ВЗ-168Ф2. Пилы диаметром 315—2000 мм затачивают на полуавтоматах мод. 3Б60, 3691, 3Д622 и др. Метчики диаметром до М36 затачивают на станке МФ-4М, плашки для резьбы до М24 — на станке мод. 7БМ, долбяки — на станке мод. 3673 и т. п.

Конструкция напайного инструмента должна предусматривать четкое разделение поверхностей из разных материалов и поверхностей, проходящих различную обработку, например, доводку и затачивание твердого сплава и конструкционной стали. На задних поверхностях резцов, к примеру, предусматривается главный задний угол на доводимой площадке твердого сплава, площадка твердого сплава, имеющая еще больший, на $1-2^\circ$, наклон, которая только затачивается, и, далее, площадка задней поверхности на державке, подлежащая шлифованию кругом иной характеристики и имеющая еще больший наклон. Успешное проведение затачивания в значительной степени зависит от правильного выбора характеристики шлифующего абразивного, алмазного или эльборового круга: размеров и формы, абразивного материала, связки, твердости, структуры. Эти характеристики значительно отличаются для шлифования быстрорежущей стали, конструкционной стали, твердых сплавов, синтетических сверхтвердых материалов.

Ограничения на увеличение размеров круга накладываются мощностью и размерами самого станка, возможностью обработки данной поверхности без подреза других поверхностей, качеством поверхности, ухудшающимися из-за больших площадок контакта круга и инструмента.

Для образования стружколомов и стружкозавивательных канавок используются дисковые круги. Для затачивания передней поверхности резцов, фрез, разверток, метчиков, протяжек и затыловочных работ используют круги тарельчатой формы. Задние поверхности резцов, фрез, плоских протяжек, зенкеров, сверл, разверток затачивают чашечными кругами.

Абразивным материалом для предварительного затачивания быстрорежущих инструментов может служить электрокорунд белый (24А, 25А), легированный (37А, 34А, 91А), монокорунд (43А, 44А, 45А). Для чистовых операций применяют кубический нитрид бора, а для доводочных — карбид кремния зеленый (64С) и синтетический алмаз (АС2, АС4).

Предварительная обработка твердого сплава совместно со стальной державкой ведется электрокарбидом кремния зеленым (63С). Чистовые и доводочные переходы выполняют синтетическим алмазом в кругах на металлической связке (АС4, АС6) и органи-

ческих и керамических (АС2, АС4). При обработке быстрорежущего инструмента выбираем зернистость электрокорунда 40 для предварительного затачивания и 25 или 16 для чистового. Доводочные операции выполняют эльбором зернистостью 12—6, карбидом кремния 6—8 и алмазом 28/20.

Твердосплавный инструмент предварительно затачивается алмазными кругами зернистостью 100/80—125/100 или кругами из карбида кремния зеленого 40—25. Чистовые и доводочные работы ведут алмазными кругами зернистостью 80/63—40/28.

Для затачивания быстрорежущих инструментов применяют абразивные круги на керамической связке К1, К5, на бакелитовой связке Б, на вулканитовой связке В. Чистовые и доводочные операции выполняют эльборовыми и алмазными кругами на металлической связке МВ1, М6—15, кругами из карбида кремния зеленого на бакелитовой связке и из эльбора на связке С10.

Твердосплавные инструменты затачивают начерно, совместно с державкой, кругами из 63С или алмаза на керамической связке. Чистовое и доводочное затачивание без охлаждения ведется алмазными кругами на бакелитовой связке Б1, БР и с охлаждением — на связке бакелитовой же типа ТО2, Б156, БП2 и связке металлической МВ1, ТМ2, МО13 и др. Твердость кругов лежит в пределах М2—С2 при затачивании различных инструментов быстрорежущих и твердосплавных, включая затачивание совместно с державкой.

В зависимости от шлифуемого материала, назначения операции и типа связки применяют круги структуры 5—10. Концентрация эльборовых и алмазных кругов для чистовых операций составляет обычно 100 %.

Другими факторами, определяющими качественное затачивание, являются его режимы: скорость резания, скорость стола с инструментом, глубина шлифования. Скорость кругов обычно 20—25 м/с, кроме предварительного шлифования твердого сплава кругами из 64С, где скорость резания снижена вдвое (9—12 м/с) из-за появления дефектов на обрабатываемой поверхности.

Скорость стола с инструментом изменяется от 0,5 до 6 м/мин. Нижний предел характерен для доводки, а верхний — для предварительной обработки. Глубина резания 0,005—0,4 мм/дв. ход. Более низкие значения соответствуют доводочным операциям, выполняемым алмазными кругами.

4.2.7. Контроль параметров

Материал инструмента, предназначенный для получения заготовок, контролируется по параметрам, установленным соответствующими ГОСТами и ТУ. Например, быстрорежущая сталь, поставляемая металлургической промышленностью, проверяется по твердости, баллу карбидной неоднородности, макроструктуре, размерам прутков и некоторым другим характеристикам.

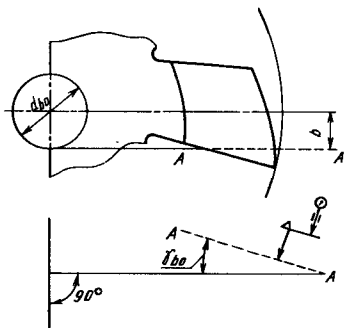


Рис. 4.2. Схема 1 контроля профиля по кромке

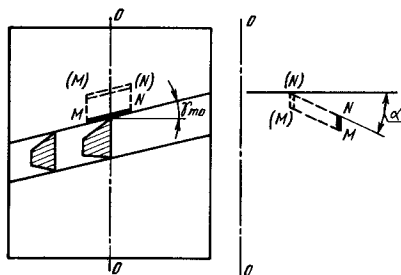


Рис. 4.3. Схема 2 контроля профиля по кромке

На операциях механической обработки и заточки РИ используются как стандартные, выпускаемые серийно, средства контроля (штангенциркули, микрометры, микроскопы, эвольвентометры и др.), так и специальные средства, предназначенные для контроля нескольких или даже одного вида или типоразмера РИ (угломеры, шаблоны и др.). Их конструкция и способы применения достаточно известны [19, 23, 24]. Наиболее сложные и в то же время весьма разнообразные способы и средства контроля применяются для зуборезных инструментов. В качестве примера рассмотрим подробнее *способы контроля профиля червячных фрез для эвольвентных цилиндрических колес*.

Выбор способа контроля имеет важное значение для точности РИ и производительности операций контроля. Приведем классификацию принципиальных схем контроля.

1. Контроль по режущей кромке фрезы в плоскости, касательной основному цилиндру эвольвентного червяка (рис. 4.2). Измерительный наконечник периодически перемещается по линии AA под углом γ_{bo} в плоскости, отстоящей на расстоянии b выше (или для другой стороны профиля — ниже) осевой плоскости фрезы; $b = r_{bo}$, r_{bo} — радиус основного цилиндра эвольвентного червяка, находится из (3.110) или (3.109); γ_{br} — из (3.109).

2. Контроль по режущей кромке фрезы в плоскости, касательной боковой поверхности основного эвольвентного червяка (рис. 4.3). Измерительный наконечник MN в форме цилиндра периодически перемещается под углом α ; кроме того, он развернут на угол $\gamma_{то}$ подъема витков фрезы. Как и в первой схеме, фреза совершает винтовое движение в промежутках времени, когда наконечник неподвижен. Линия MN занимает ряд положений, перемещаясь под углом α , и таким образом описывает плоскость, касательную боковой поверхности червячной фрезы, точнее — поверхности эвольвентного червяка, на котором должны лежать режущие кромки фрезы.

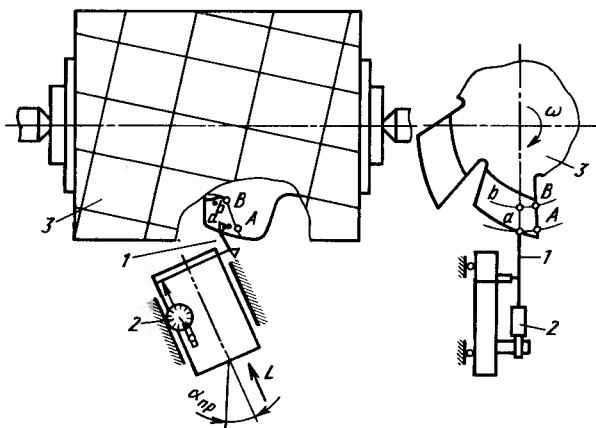


Рис. 4.4. Схема контроля профиля по кромке в осевой плоскости

3. Контроль по режущей кромке фрезы в осевой плоскости. Измерительный наконечник перемещается в осевой плоскости фрезы под углом $\alpha_{\text{оч}}$ профиля основного архимедова червяка. При неподвижном наконечнике, т. е. когда контролируется одна какая-то точка профиля, фреза совершает винтовое движение с шагом, равным осевому шагу ее витка. Схема 3 аналогична схеме 1, но $b = 0$.

4. Контроль по «потенциальной» режущей кромке фрезы, расположенной на ее затылованной поверхности (менее точно: «контроль проекции угла профиля в нормальном сечении на осевую плоскость»). Измерительный наконечник прибора перемещается в осевой плоскости фрезы под углом $\alpha_{\text{пр}}$ при непрерывном вращении фрезы. В итоге измерительный наконечник описывает относительно фрезы пространственную кривую, по форме совпадающую с режущей кромкой фрезы, спроектированной на базе архимедова червяка.

5. Контроль профиля фрезы по боковой поверхности в осевом сечении AA на приборе (см. рис. 3.11 и рис. 3.19).

6. Контроль по режущей кромке фрезы в осевой плоскости (рис. 4.4). Измерительный наконечник 1 прибора 2 периодически перемещается в направлении L под углом $\alpha_{\text{пр}}$. В момент, когда наконечник неподвижен, фреза 3 вращается вокруг своей оси в направлении ω . Контроль профиля в точках A, B и других точках режущей кромки осуществляется по наибольшему показанию индикатора 2 в тот момент, когда соответствующая точка A (или B) находится в осевой плоскости фрезы. Метод основан на том, что цилиндрическая проекция режущей кромки архимедовой червячной фрезы с винтовой передней поверхностью и нулевым передним углом на осевую плоскость xz является прямой линией

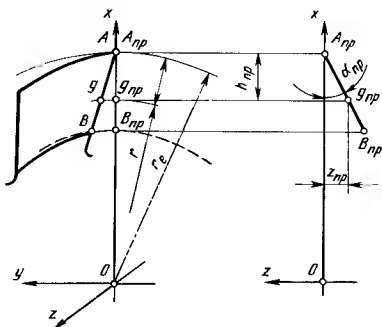


Рис. 4.5. Цилиндрическая проекция кромки

(линия $A_{пр}B_{пр}$) с углом профиля $\alpha_{пр}$ (рис. 4.5):

$$\operatorname{tg} \alpha_{пр} = \operatorname{tg} \alpha_{хоч} \frac{P_{z0}}{P_{z0} + z_{10} P_{x0}},$$

где $\alpha_{хоч}$ — угол профиля основного архимедова червяка; P_{z0} — ход винтовой стружечной канавки; z_{10} — число заходов фрезы; P_{x0} — осевой шаг фрезы. Схема 6 отличается от схем 3 и 4 тем, что фреза совершает вращательное, а не винтовое движение.

7. Контроль профиля фрезы в осевом сечении шаблоном с ба-

зированием шаблона по передней грани фрезы и по наружному диаметру [19].

8. Контроль профиля фрезы в нормальном к виткам сечении с базированием шаблона по передней винтовой поверхности фрезы и наружному диаметру [19].

9. Контроль профиля в нормальном сечении NN (см. рис. 3.11) на приборе по затылованной поверхности.

10. Контроль проекции кромки на нормальную плоскость NN на микроскопе или проекторе с базированием фрезы по диаметру d .

Последние две схемы и их точность достаточно полно описаны в [23 и др.]. Известны и некоторые другие схемы, которые сравнительно редко используются, например, контроль в осевом или нормальном сечении с базированием шаблона на специальном приспособлении с призмами, опирающимися на оправку фрезы. Возможно использование и новых схем, достаточно простых и более точных.

Рассмотрим органические погрешности контроля, присущие схемам 1—8. Отметим, что схемы 1 и 3 реализуются на приборе PWF-250 «Клингельнберг» (Klingelnberg, ФРГ) и на приборах фирм «Фетте» («Fette», ФРГ) и «Сампутенсили» (Samputensilly, Италия); схема 2 — на приборе WMG «К. Цейсс» (K. Zeiss, ГДР); схема 4 — на приборе 17000M; схемы 5 и 6 — на приборах типа 17000M, КЗФ-270, БВ5005 и др.; схемы 7 и 8 — непосредственно на затыловочных станках.

Под органическими погрешностями схемы контроля подразумеваются такие, которые будут иметь контролируемый профиль червячной фрезы по сравнению с теоретически точным профилем, если при идеально работающем приборе отклонения контролируемого профиля от заданного равны нулю. К наиболее существенным органическим погрешностям приведенных выше схем контроля, которые практически влияют на точность профиля контролируемых фрез (без учета точности работы самих приборов), следует отнести следующие.

1. Схема контроля рассчитана на проверку фрезы на базе не точного (см. п. 3.3.5.4), а приближенного червяка. Типичным случаем является замена эвольвентного червяка фрезы архимедовым как при проектировании, так и при контроле.

2. Несоответствие среднего диаметра новой фрезы ее среднему расчетному диаметру.

3. Неточность затылования k , т. е. неточность изготовления затыловочного кулачка и его износ.

4. Форма затылующего инструмента отличается от резца (например, дисковый круг).

5. Наличие положительного или отрицательного поднутрения на передней поверхности фрезы, т. е. наличие небольшого положительного или отрицательного переднего угла.

В табл. 4.1 указано наличие или отсутствие перечисленных органических погрешностей в зависимости от применяемой схемы контроля и геометрических параметров фрезы (углов $\gamma_{в.н}$ и λ_{m0}). Например, при контроле по схеме 7 фрезы с прямыми канавками и нулевым передним углом $\gamma_{в.н}$ ($\lambda_{m0} = 0$; $\gamma_{в.н} = 0$) имеют место органические погрешности 1; 2; 5. В табл. 4.1 буквой «Н» обозначены те схемы, которые для данной фрезы применять нельзя: схема 4, например, неприменима для фрез с передним углом $\gamma_{в.н} \neq 0$.

4.1. Органические погрешности профиля при различных схемах контроля

Схема контроля	Вид погрешностей			
	$\lambda_{m0} = \gamma_{m0};$ $\gamma_{в.н} = 0$	$\lambda_{m0} = 0;$ $\gamma_{в.н} = 0$	$\lambda_{m0} = \gamma_{m0};$ $\gamma_{в.н} \neq 0$	$\lambda_{m0} = 0;$ $\gamma_{в.н} \neq 0$
1	—	—	—	—
2	—	—	—	—
3	1; 2	1; 2	1; 2	1; 2
4	1; 2	1; 2	Н	Н
5	1; 2; 3; 4	1; 2	1; 2; 3; 4	1; 2; 3; 4
6	1; 2	1; 2	Н	Н
7	1; 2; 3; 4	1; 2; 5	1; 2; 3; 4	1; 2; 3; 4
8	1; 2; 5	Н	Н	Н

Дадим количественную характеристику перечисленным выше погрешностям.

1. Погрешность от замены эвольвентного червяка архимедовым определяется величиной f_{γ} стрелы выпуклости осевого профиля эвольвентного червяка. Значения f_{γ} для ряда размеров фрез даны в прил. 12. Если угол профиля $\alpha_{x0\gamma}$ архимедова червяка рассчитывается (и соответственно контролируется) по формуле

$$\operatorname{ctg} \alpha_{x0\gamma} = \operatorname{ctg} \alpha \cos \gamma_{m0}, \quad (4.1)$$

а не по точной формуле (3.113) или (3.115), то помимо погрешности l добавляется погрешность по углу профиля, которая для стандартных однозаходных фрез модуля 1—20 мм составляет $20''$ — $2'$.

2. Погрешность от несоответствия фактического среднего диаметра расчетному определяется как разность углов α_{x0} профиля червяка на разных диаметрах фрезы (или при разной степени ее сточенности). Поскольку при контроле в разных осевых сечениях угол профиля считается постоянным (на него настраивается прибор), а в действительности этот угол должен меняться, возникает погрешность контроля.

3. Неточность значения k затылования сказывается как погрешность профиля фрезы в осевом сечении, если фреза имеет винтовые стружечные канавки (см. табл. 4.1). Погрешность в этом случае определяется как разность углов α_{x0} при k расчетном и при k действительном, где α_{x0} находится из (3.119).

4. При определенных условиях (см. табл. 4.1) форма затылующего инструмента и даже его установка влияют на точность контроля. При контроле профиля в осевом сечении это объясняется тем, что формула (3.119) теоретически точна только для случая, когда фреза затылована резцом, режущая кромка которого расположена в осевой плоскости фрезы на высоте линии центров станка.

5. Наличие отклонения переднего угла от заданного может существенно влиять на точность контроля в том случае, когда шаблон базируется по передней грани. Погрешность δ профиля при контроле его шаблоном, установленным по передней грани:

$$\delta_{R(L)} = (\Delta r/r_{f0}) (a \sin \alpha_{x0} \pm p \cos \alpha_{x0}), \quad (4.2)$$

где a , p определяются из (3.89) и (3.110); Δr — поднутрение по передней грани; $r_{f0} = (d_{a0}/2) - h_0$; α_{x0} — угол профиля фрезы в осевом сечении для правой (левой) стороны. Для правозаходной фрезы знак «+» берется для правой стороны, знак «—» — для левой. Для левозаходной фрезы знаки соответственно меняются местами.

В качестве примера количественной оценки точности всех вышеприведенных схем контроля рассмотрим величины погрешностей 1—5 для червячной фрезы $m10$ мм, имеющей винтовые или плоские канавки.

Параметры фрезы: $d_{a0} = 160$ мм; $d_{m0} = 132$ мм; $\gamma_{m0} = 4^\circ 21'$; витки правые; $k = 9$ мм; $z_0 = 9$; $P_{x0} = 31,506$ мм; $\alpha_{x0L} = \alpha_{x0R} = 20^\circ 3'$ (для прямых канавок); $a = 12,89$ мм; $p = 5,014$ мм; $r_{f0} = 55$ мм; $h_0 = 25$ мм. Погрешности 1—5 при различных схемах контроля данной фрезы приведены в табл. 4.2. Из нее, в частности, видно, что существенная погрешность δ может возникать при наличии небольшого положительного (отрицательного) переднего угла (источник 5 погрешности) в результате неточностей заточки по передней поверхности. Поэтому сниме-

4.2. Величины погрешностей контроля (фреза m 10 мм)

Вид погрешности	Источник погрешности	Погрешность δ , мкм, для стороны	
		правой	левой
1	Архимедов червяк	+20	+20
2	$d_{m0}^{+1,75}$	-3,5	-3,5
3	$k_{0,3}$	+1	-1
4	Затылование дисковым кругом	-4	-3
5	$\Delta r = 0,16$ мм	+25	-0,8

4.3. Диаметры d_{a0} фрез, мм

Тип фрезы	Модуль, мм					
	2	5	10	14	20	30
I	90	140	225	—	—	—
II	70	112	160	180	—	—
III	—	—	180	200	250	362

4.4. Погрешности δ , мкм, от источника 1

Тип фрезы	Модуль, мм					
	2	5	10	14	20	30
I	0,07	0,8	3,5	—	—	—
II	0,17	1,8	12	38	—	—
III	—	—	7,6	25	59	100

тричный допуск на передний угол ($\pm \Delta \gamma$) имеет преимущество, по сравнению с односторонним, только в сторону увеличения (поднутрение) или уменьшения переднего угла.

При $\delta > 0$ угол профиля фрезы увеличен по сравнению с теоретически правильным; при $\delta < 0$ угол профиля уменьшен (за исключением 1-го вида погрешностей).

Для фрез, размеры которых указаны в табл. 4.3, в табл. 4.4—4.7 приведены органические погрешности δ профиля от различных источников (вида 1—5).

В табл. 4.5 даны значения δ погрешностей контроля профиля при ошибке среднего расчетного диаметра на величину $0,2k$ для фрез I и II типа и на величину $0,1k$ для фрез III типа (k — величина затылования).

В табл. 4.6 приведены погрешности контроля профиля фрезы при уменьшении величины k затылования на 2 % по сравнению

4.5. Погрешности δ , мкм, от источника 2

Тип фрезы	Модуль, мм					
	2	5	10	14	20	30
I	0,1	0,7	2,5	—	—	—
II	0,2	2,3	9,6	26,2	—	—
III	—	—	4,6	12,2	23,2	33,5

4.6. Погрешности δ , мкм, от источника 3

Тип фрезы	Модуль, мм					
	2	5	10	14	20	30
I	0,06	0,17	0,49	—	—	—
II	0,09	0,3	0,8	1,4	—	—
III	—	—	0,79	1,37	2,6	3,7

4.7. Погрешности δ , мкм, от источника 5

Тип фрезы	Класс точности фрезы	Модуль, мм					
		2	5	10	14	20	30
I	AA	—2	—3,3	—4	—	—	—
	A	—3	—6	—6,8	—10	—	—
II	B	—4,7	—9,7	—10,6	—16	—	—
	C	—7,5	—15,6	—17	—25	—	—
	A	—	—	—7,8	—10,5	—14	—15
III	B	—	—	—12	—17	—23	—23,2
	C	—	—	—19,4	—26	—36,6	35,4

с заданным: погрешности имеют положительное значение для правой стороны правозаходных фрез — угол профиля в этом случае (если он выполнен заданным, без учета ошибки k) увеличен; для левой стороны погрешности имеют те же значения, но со знаком минус (т. е. угол профиля фрезы уменьшен). В случае левозаходных фрез знаки для обеих сторон меняются местами.

Погрешности от источника 4 могут значительно колебаться в зависимости от технологии шлифования (затылования) фрез по профилю. При затыловании дисковым кругом фрез с винтовыми канавками класса AA величина δ не превышает 1—2 мкм, а для фрез класс A—C (при $\gamma_{в.н} = 0^\circ$) δ хотя и возрастает, но сравнительно невелика: для фрезы m 10 мм класса A $\delta < 5$ мкм.

Погрешности от поднутрения * передней поверхности фрезы (от источника 5) приведены в табл. 4.7. Для правой и левой сторон погрешность $\delta < 0$, т. е. угол профиля фрезы уменьшен по сравнению с теоретически правильным, так как при контроле профиля по заданной схеме поднутрение не учитывается.

На практике при изготовлении фрез преобладают способы контроля профиля по кромке — по схемам 1 или 2 для прецизионных фрез ** или по проекции кромки (шаблоном по передней грани, на микроскопе, на проекторе). Способы контроля по режущей кромке имеют то преимущество, что именно кромка образует поверхность зуба колеса, поэтому отпадают погрешности 3-го, 4-го, в некоторых случаях и 5-го вида. Однако следует учитывать, что контроль профиля по боковым затылованным поверхностям — в нормальном сечении NN (для фрез с винтовыми канавками) или, что более просто, в осевом сечении AA фрезы (см. рис. 3.11) — позволяет проверить профиль фрезы в нескольких сечениях, т. е. в известной мере оценить погрешности профиля

* Величины δ взяты по ГОСТ 9324—60.

** Погрешность профиля также проявляется как часть погрешности при комплексном контроле фрезы по линии зацепления.

при стачивании фрезы. Для затылованных фрез это особенно важно по той причине, что линия касания поверхности дискового затылующего круга и боковой поверхности фрезы — сложная кривая, не лежащая в осевой плоскости круга. Поэтому в процессе затылования осевая сила P_o резания, действующая на круг вдоль его оси, постепенно увеличивается: сначала окончательно шлифуется вершина кромки (зуба) и лишь затем, по мере перемещения круга и вращения затылуемой фрезы, середина и ножка кромки. Только после этого сила P_o резания остается теоретически постоянной — до момента выхода круга из затылуемого зуба фрезы. Таким образом, сила P_o при шлифовании различных участков кромки изменяется (растет), а значит, при шлифовании кромки и шлифовании остальной затылованной поверхности значение P_o различное. Как следствие этого, профиль кромки новой фрезы может существенно отличаться от профиля кромки фрезы после первого же ее стачивания. Из эксплуатации затылованных фрез известно, что потеря точности профиля после первой переточки фрезы возникает нередко. Единственный способ этого избежать — проводить выхаживание профиля фрезы при ее затыловании кругом. Однако при отсутствии контроля профиля по затылованной поверхности точность фрез после стачивания все же остается неизвестной.

Профиль фрез по затылованной поверхности наиболее просто и доступно контролируется в осевом сечении AA (см. рис. 3.11 и рис. 3.19). Для фрез с винтовыми канавками можно проверять профиль затылованной поверхности как в осевом, так и в нормальном сечении NN . В последнем случае, однако, при контроле контактным способом, т. е. измерительным наконечником, требуется разворот оси фрезы относительно плоскости перемещения этого наконечника. Приборы, допускающие такой контроль, более сложны и менее распространены (например, $PWF-250$).

4.3. ХАРАКТЕРИСТИКА МАРШРУТНО-ОПЕРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РИ

Резцы стержневые. В соответствии с типажом [25] выпускается около 2000 типоразмеров резцов. Технология их может значительно различаться в зависимости от конструкции, которая определяется станком (токарный, строгальный, автомат, станок с ЧПУ, расточной и др.), соединением составных частей (цельные, составные, сборные), видом обрабатываемой поверхности (проходной, отрезной, резьбовой и др.), материалом режущей части и способом ее крепления (сварной, клеевой, с напайкой, с механическим креплением и др.).

Материалы и заготовки. Резцы с твердосплавными пластинами имеют режущую часть согласно ГОСТ 3882—74, ГОСТ 2209—82, ГОСТ 4872—75, ГОСТ 25395—82, а из быстрорежущей стали — ГОСТ 19265—73.

Державки резцов быстрорежущих и твердосплавных изготавливаются из стали марок 45 и 50 по ГОСТ 1051—73 или стали 40Х по ГОСТ 4543—71 для последующей наварки и напайки режущей части, приварки ее встык или механического закрепления с твердостью HRC_с 40—45.

В качестве припоя используются сплавы марок ПрАНМц 0,6-4-2, ПрМНМц 68-4-2, ЛМцЖ 57-1,5-0,75. Детали крепления пластин сборных резцов (прихваты, винты, отвертки) делают из стали 45 твердостью HRC_с 35—40.

Технические условия к резцам из быстрорежущей стали (СТ СЭВ 199—75), резцам с твердосплавными пластинами (СТ СЭВ 1165—78) и токарным сборным резьбовым с механическим креплением твердосплавных пластин (ГОСТ 22207—76, ГОСТ 20872—80 и др.) оговаривают допустимые отклонения ряда параметров.

Предельные отклонения высоты державок не должны превышать $h_{11} - h_{16}$, а ширины — j_{16} . Длина резца должна соответствовать $\pm IT_{16} \div 2IT_{16}$.

Предельные отклонения опорной поверхности от плоскостности должны соответствовать 10-й степени точности по ГОСТ 24643—81, без выпуклости. Предельные отклонения от перпендикулярности боковой поверхности державок резцов к опорной поверхности должны лежать в пределах $\pm 30' \div 2 \pm^\circ$ в зависимости от размеров и формы поперечного сечения и типа резцов. Углы заточки резца в пределах $\pm 30' \div \pm 2^\circ$.

Шероховатость поверхностей державки резца не более $Ra = 5,00$ мкм, а доведенных или заточенных поверхностей 0,32—1,25 мкм.

Технологический маршрут стержневого резца может быть расчленен на ряд стадий: получение заготовки; образование путем механической обработки формы державки; термическая обработка; затачивание и доводка. Сборные резцы дополнительно имеют стадию сборки. Конструктивные особенности резца и специфические требования несколько изменяют содержание указанных стадий.

Исходную заготовку державки получают из проката соответствующего профиля и размеров путем ее отрезки от прутка или рубки на кривошипном прессе. В целях экономии быстрорежущей стали исходную заготовку под обработку резанием могут получать из двух кусков (одного из быстрорежущей стали, а другого из углеродистой), свариваемых встык. Только резцы малых размеров могут выполняться цельными. Такую заготовку штампуют иногда на автоматической линии (рубка, нагрев ТВЧ, штамповка), выполняя безоблойную заготовку на две державки с последующей разрезкой. Отогнутые, изогнутые и оттянутые головки резцов получают путем горячей обработки давлением. Подобная заготовка проходит очистку галтовкой или другим способом и поступает на механическую обработку, где фрезеруются опорная

поверхность резца, задние поверхности и гнездо под пластину. Для сборных резцов осуществляется обработка и других конструктивных элементов под винты, планки и клинья механизма закрепления и регулировки. Механическая и слесарная обработка завершается маркировкой резца на боковой стороне (обозначение резца, материал режущей части, товарный знак завода-изготовителя и др.).

Стадия термической обработки в зависимости от конструкции может включать или только собственно термообработку для повышения режущих свойств кромки (цельные резцы), или напайку пластины твердого сплава, или термообработку державки и гнезда под пластину для получения требуемой твердости элементов, базирующих пластину в гнезде державки и весь резец на станке. О типичных операциях термообработки сказано в разд. 4.2. Эта стадия завершается очисткой резца, прошедшего термообработку (пайку, закалку, отпуск и др.).

Затачивание резцов может выполняться в две операции. Предварительное и окончательное затачивание ведется по задней и передней поверхностям. В необходимых случаях выполняется доводка лезвия.

После изготовления державки и других элементов конструкции сборного резца всю конструкцию собирают.

Фасонные резцы различаются по ряду признаков (см. п. 2.4.2.8). Ниже рассмотрена технология изготовления круглого и призматического резцов (см. рис. 2.34 и рис. 3.5).

Материалы и заготовки. Все фасонные резцы являются металлоемкими инструментами. Наиболее рациональной является составная конструкция, в которой режущая часть, выполненная из твердого сплава ВК10М, ВК8, Т15К6 или из быстрорежущей стали, закрепляется тем или иным способом в корпусной части из конструкционной стали 45. Заготовки режущей части круглых резцов могут представлять диски или кольца; для стержневых и призматических резцов — пластины или призмы. Заготовки могут являться обычными стандартными пластинами, или их получают из проката (быстрорежущая сталь) или методом прессования со спеканием твердого сплава непосредственно после прессования или после механической отработки «сырой» прессованной заготовки режущей части. Длина токарных призматических резцов и диаметр круглых обычно не превышают 120 мм. Для внутренних фасонных работ диаметр резца обычно не более $(3/4) d_{\text{отв}}$. Хвостовые резцы делают при диаметре менее 30 мм. В корпусной части пластина может закрепляться механически, но большее распространение получило крепление пайкой твердосплавных пластин и сваркой быстрорежущих элементов.

Базовые отверстия и хвостовики выполняются по 7 и 6 качеству. Базовые установочные точки или линии относительно установочных баз резца выдерживаются по 11—13 качеству, а размеры между координатными точками фасонного профиля обычно

имеют допуск $\pm 0,1$ мм и более в зависимости от требований к профилю детали и конструкции резца (например, учитываются вынужденные искажения профиля детали на величину до десятых долей миллиметра). Менее ответственные размеры резцов выполняются по 14 квалитету.

Биение базового торца при установке на базовое отверстие не превышает 0,01—0,02 мм, а радиальное биение фасонной поверхности менее 0,01 мм. Параметр Ra шероховатости поверхностей по ГОСТ 2789—73 не должен превышать следующих значений (в мкм): а) 0,5 для фасонного контура, передней поверхности резца, базовых поверхностей «ласточкина хвоста»; б) 1,0 для поверхности гнезда под пластину, базового отверстия круглого резца; в) 3,2 для посадочных поверхностей гнезда под пластину.

Твердость быстрорежущих резцов HRC₃ 62—65, а поверхностный слой, прошедший карбонитрацию, имеет твердость HV > 1100. Стальной корпус имеет твердость HRC₃ 32—45.

Пайка твердосплавных пластин ведется припоем ПЖ 60НХБ или медью М1, М2, М3.

Технологический маршрут. Круглый или дисковой фасонный резец с твердосплавной рабочей частью, выполненной в виде кольца, напаянного на стальную сердцевину, создается из двух элементов, соединяемых пайкой и проходящих совместную обработку в сборе.

При мелкосерийном производстве из прутка стали 45 отрезается заготовка втулки на группу заготовок. Из этого прутка вытячиваются заготовки втулок без отверстия на всю партию резцов. Отрезанная от прутка втулка, являющаяся сердцевиной резца, готова для соединения с твердосплавным кольцом, имеющим наружную фасонную поверхность и выемку под переднюю поверхность. Путем пайки в вакуумной печи осуществляется неразъемное соединение твердосплавного кольца и сердцевины, между которыми образован кольцевой зазор 0,10—0,15 мм. Далее следует токарная обработка в патроне ступенчатого отверстия и торцов с выдерживанием диаметра отверстия по 7 квалитету и правильного расположения торцов. На этом предварительное формообразование завершается, и можно переходить к шлифованию профильной поверхности на периферии твердосплавного кольца.

На оптическом профильно-шлифовальном станке алмазным кругом, последовательно за два перехода, по участкам, соединяющим точки, использованные при коррекционном расчете, осуществляется обработка. Далее необходимо электроэрозионным способом обработать отверстие для поводка державки на торце резца, заточить переднюю поверхность и произвести маркировку.

Призматические фасонные резцы с твердосплавной или быстрорежущей рабочей частью (см. рис. 3.5) изготавливают по сходной технологии, т. е. вначале обрабатывается заготовка корпуса и,

отдельно, режущей части, а потом, после сборки сваркой или пайкой обрабатывается весь резец.

Исходная заготовка режущей части фасонного призматического резца из круглого проката стали Р6М5 отрезается от прутка на группу режущих частей, а затем подвергается ковке на молоте с круга на прямоугольник. Получаемая групповая заготовка фрезеруется по сторонам прямоугольного профиля, а затем по фасонному профилю на всю длину групповой заготовки и разрезается на отдельные пластины для резца, которые по плоской поверхности шлифуются под пайку. Такому же шлифованию подвергается твердосплавная пластина, прошедшая спекание.

Корпусная часть резцов из стали 45 имеет исходную заготовку также в виде круглого проката. Эта заготовка для группы корпусов куется «на прямоугольник» с удлинением. Затем групповая заготовка проходит последовательно ряд фрезерных операций: образование прямоугольника, «ласточкина хвоста», выемки и фасок; разрезку на отдельные заготовки корпусов. В такой заготовке фрезеруется прямоугольный паз под быстрорежущую или твердосплавную пластину, а также скос по передней поверхности. Образованный паз шлифуется, и производится пайка пластины к корпусу. Твердосплавные пластины могут паяться медью на установке ТВЧ, а быстрорежущие — пастообразным припоем ПЖ60НХБ в соляной ванне. При пайке быстрорежущий резец проходит термообработку, после которой осуществляется дробеструйная обработка заготовки.

Шлифование профиля производят на профильношлифовальных станках мод. 395М и др. Для профильной правки кругов используются устройства типа «Диаформ» и др.

Сверла различаются по следующим признакам: по диаметру (мелкоразмерные с $D < 5,0$; малые с $D \leq 12$; средние с $D \leq 30$); по числу стружечных канавок (одна, две), по виду канавок (перовые сверла, с прямой или винтовой левой или правой канавкой, шнековые, с переменным шагом); по виду крепежной части (с цилиндрическим и коническим хвостовиком); по назначению (для цилиндрических отверстий, для отверстий под конические штифты, центровочные, ступенчатые); по обрабатываемым материалам (для легких сплавов, дереворежущие, для пластмасс); по конструкции (цельные или монолитные и составные); по материалу режущей части (стальные, твердосплавные); по глубине и диаметру обрабатываемого отверстия (для обычного, кольцевого и глубокого сверления) и области применения (приборо- и машиностроение, общего и специального назначения и др.). С технологической точки зрения представляет интерес изготовление мелкоразмерных твердосплавных сверл и сверл стальных винтовых (спиральных) общего назначения.

Материалы и заготовки рабочей части сверл (см. рис. 2.25) выполняют из сталей 9ХС, Р6М5, Р12 и др. (см. табл. 2.5) и из твердых сплавов ВК6М, ВК8, ВК10М, в том

числе с износостойкими покрытиями, а в качестве материала хвостовика обычно используется сталь 45, 40Х. Корпус твердосплавного сверла может быть из быстрорежущей стали или из стали 9ХС.

Сверла с твердосплавной режущей частью делают цельными, с припаяваемой головкой или пластиной. Сверла стальные выполняют цельными диаметром до 12 мм и сварными, причем заготовка рабочей части сварных сверл (диаметром более 5 мм) может быть из круглого проката, светлотянутой шлифованной стали, проката с профилированными винтовыми канавками или канавками, получаемыми прессованием. Составные сверла соединяются сваркой трением, плавлением или пайкой. В качестве припоев применяют Л62, Л68, ПЖ60ХНБ, ПСр-40, МНМц 68-4-2, АНМц 0,6-4-2 и др.

Основные технические требования меняются в зависимости от конструкции и используемых материалов. Приведем данные из ГОСТ 2024—80 для спиральных сверл общего назначения.

Сверла делают четырех классов точности: А1, А, В1 и В. Сверла более высокого класса, например А1, применяются для автоматического оборудования и отличаются лучшей шероховатостью, меньшими допусками на диаметр, на симметричность сердцевины, на радиальное биение, осевое биение режущих кромок и др. Диаметр режущей части вблизи режущей кромки имеет поле допуска $h8$ или $h9$, длина сверла — $2j_{s16}$.

Сверла имеют обратную конусность 0,03—0,12 мм (для диаметров 10—18 мм) на длине 100 мм.

Допуск симметричности сердцевины относительно оси сверла диаметром 1—50 мм составляет не более 0,02—0,30 мм; радиального биения по ленточкам — не более 0,04—0,16 мм; осевого биения главных режущих кромок — не более 0,02—0,30 мм.

Предельные отклонения углов не должны превышать для угла в плане и заднего $\pm 2^\circ$; допуск конусов присоединительной части соответствует АТ7 или АТ8. Шероховатость задних поверхностей режущей части $Rz = 1,6 \div 6,3$ мкм, канавок — $3,2 \div 10$ мкм, а хвостовика $Ra = 0,63 \div 1,6$ мкм.

Быстрорежущие сверла могут подвергаться простому цианированию, цианированию с оксидированием, фосфатированию, низкотемпературному отпуску, обработке в атмосфере перегретого водяного пара и т. д. или изготавливаться с износостойкими покрытиями.

Твердость рабочей части стальных сверл должна быть более HRC₃ 62—66, цилиндрического хвостовика HRC₃ > 27, лапки при коническом хвостовике HRC₃ 32—47.

Технологический маршрут. Твердосплавное мелкоразмерное сверло диаметром 0,8—6,0 мм изготавливается цельным с вышлифовыванием винтовых канавок. Заготовкой служит цилиндрический стержень длиной до 100 мм из ВК6М, ВК8

или ВК10М, с диаметром большим, чем сверло, на 0,3—0,9 мм. Такая заготовка предварительно шлифуется на бесцентрово-шлифовальном станке алмазным кругом, а потом с двух сторон шлифуются конические поверхности с углами 75° и 2ф. Конические поверхности используются как базовые для шлифования цилиндра — хвостовой части и рабочей части с обратной конусностью (0,1—0,2 на 100 мм длины). В таком виде заготовка пригодна к вышлифовыванию стружечных канавок, а затем и спинок сверла с образованием ленточек. Заточка главных задних поверхностей по двум плоскостям и подточка поперечной кромки на универсально-заточных станках завершают процесс получения сверл, которые затем консервируются и упаковываются.

Стальное сварное сверло среднего диаметра с коническим хвостовиком делается из двух заготовок, проходящих до сварки обработку торцов, а иногда и диаметров в зоне сварки. После сварки двух частей проводят отжиг, правку и дробеструйную обработку и обточку сварочного шва (утолщения). Далее следует обточка торцов и зацентровка.

Токарная обработка в центрах позволяет за два установа обработать рабочую, а затем хвостовую часть сверла. Заключительным этапом формообразования является фрезерование лапки, винтовых стружечных канавок и затыловочной части перьев сверла. После термообработки рабочей и хвостовой части приступают к шлифованию центровых отверстий, канавок, крепежно-присоединительной и рабочей части. Здесь же, при необходимости, полируются стружечные канавки. После срезания временного центра на рабочей части сверло готово к заточке по задним поверхностям и к подточке перемычки. Специфическими операциями при изготовлении сверл являются обработка стружечных канавок и заточка.

Фрезы классифицируют по расположению режущей части (цилиндрические, торцовые, трехсторонние и др.); по направлению зубьев на цилиндре (с прямым или с винтовым зубом); по виду крепежно-присоединительной части (насадные, концевые); по материалу режущей части (быстрорежущие, твердосплавные, оснащенные сверхтвердым синтетическим материалом); по способу крепления режущего элемента (с механическим креплением, с рифлеными ножами, с напайной пластиной и др.); по конструкции (цельные, составные или сборные); по виду задней поверхности (затылованные, плоскозаточенные); по схеме срезания припуска (ступенчатые, «кукурузные»); по характеру выполняемой работы (шпоночные, пазовые, угловые, отрезные, резьбовые и др.); по размеру зуба (с мелким, средним и крупным зубом) и т. п.

Материалы и заготовки фрез. Режущая часть может выполняться в виде ножей, клиньев, коронок, пластин, цельной с корпусом, с механическим креплением, в виде стандартных элементов из легированной стали 9ХС, быстрорежущей стали Р6М5, Р9 и др. (ГОСТ 19265—73), твердого сплава ВК6,

ВК6М, ВК8, ВК100М, Т5К10, Т15К6, ТТ7К12 и др., с износостойким покрытием и из сверхтвердых синтетических материалов. В зависимости от размеров, конструкции и типа составных фрез для изготовления корпусной и крепежно-присоединительной части применяют стали 45, 50, 40Х, 50Х. Фрезы из быстрорежущей стали делают сварными, если диаметр хвостовика более 12 мм. Корпус ножей выполняется из стали марок 40Х, 35ХГСА, У7, У8, а клинья из стали У7, У8 и 40Х.

Основные технические требования к фрезам и их конструктивным элементам предусматривают: а) предельные отклонения размеров наружного диаметра фрезы по $h13-h16$, общей длины и длины рабочей части по $\pm IT16/2$; посадочного отверстия Н7, углов заточки $\pm 2^\circ$; б) предельное отклонение формы: конусность цилиндрической части 0,04—0,08 мм на 100 мм длины; в) предельные отклонения взаимного расположения поверхностей, т. е. радиальное биение режущих кромок относительно оси базового элемента 0,03—0,15 мм, а торцовое их биение 0,03—0,05 мм; г) шероховатость посадочного отверстия и опорных торцов $Ra = 1,25$ мкм; для передней и задних поверхностей зубьев $Ra \leq 0,32$ мкм; для поверхностей хвостовика $Ra = 0,8$ мкм; для конических поверхностей центровых отверстий $Ra = 1,25$ мкм; для стружечных канавок $Ra = 2,5$ мкм; д) твердость стальной режущей части HRC₂ 62—67, хвостовика HRC₂ 30—55, корпуса HRC₂ 30—45, клиньев HRC₂ 40—50. Карбидная неоднородность быстрорежущей стали не должна превышать четырех баллов.

В качестве припоя твердосплавных фрез применяют латунь Л63, МНМц 68-4-2, АНМц 0,6-4-2, П100.

Технологический маршрут рассмотрим на примере изготовления корпуса торцовых насадных фрез со вставными ножами, оснащенными композитом, диаметром 100—270 мм. Заготовка под корпус может получаться или непосредственно из круглого проката, или из круглого проката, перекованного на диск и прошедшего отжиг.

Обработка начинается с предварительной обточки торца и части наружного диаметра (до кулачков патрона). Затем с базированием по этим двум поверхностям предварительно обрабатываются аналогичные поверхности другой стороны и базовое центральное отверстие. Заготовка далее проходит получистовую обработку (с одного конца) центрального отверстия, выточки и торца. Центральное отверстие растачивается и развертывается одновременно, чем обеспечивается минимальное биение торца выточки относительно отверстия. Далее центральное отверстие используется для базирования заготовки на центральной оправке и обточки всех наружных и торцовых поверхностей. Для завершения образования формы фрезеруется шпоночный паз по диаметру и сверлятся отверстия под ножи фрезы и втулочные клинья по разметке или с помощью кондукторов.

Отверстия подвергают зенкерованию и развертыванию на сверлильных станках и нарезанию резьбы М10. Слесарная обработка: снятие заусенцев, клеймение торца, термообработка до НРС, 30—40 и оксидирование. Завершает обработку шлифование центрального отверстия и торца в выточке.

Изготовление втулочного с внутренней резьбой клина из стали 40Х и стандартных винтов М10 предшествует сборке ножей с корпусом и регулировке расположения ножей.

Метчики, выпускаемые в соответствии с типажом [25], различаются: а) по конструкции (цельные, составные, сборные); б) по виду обрабатываемого резьбового отверстия (для глухих и сквозных, с цилиндрической и конической, правой и левой резьбой, с метрической, дюймовой, трубной и круглой резьбой); в) по материалу режущей части (из углеродистой или быстрорежущей стали, биметаллические, твердосплавные и с износостойким покрытием); г) по креплению режущего элемента (с припаянной или приклеенной рабочей частью, с припаянными пластинами, с механическим закреплением); д) по виду стружечной канавки (с укороченной канавкой и бесканавочные, с прямой или винтовой, правой или левой винтовой канавкой); е) по количеству метчиков в комплекте (одноштычные, из двух или трех штук); ж) по способу работы (ручные, машинные, машинно-ручные); з) по классу точности [1, 2, 3, 4-й классы по ГОСТ 16925—71 (СТ СЭВ 842—78)] и по обрабатываемому материалу (для труднообрабатываемых сталей, легких сплавов); и) по конструкции хвостовой части (с прямым и изогнутым хвостовиком; с квадратным, круглым и с двумя лысками, с кольцевой канавкой и без нее); к) по назначению (гаечные, плашечные и др.), с мелким, нормальным и крупным шагом резьбы и др.

М а т е р и а л ы и з а г о т о в к и. Хвостовики и корпусные элементы метчиков делают из стали марок 45, 40Х, У7, а режущую часть из углеродистой инструментальной У11А, У12А, легированной инструментальной 11ХФ и быстрорежущей стали Р6М5, Р18, Р8МЗК6С, 10Р8МЗ, Р12Ф2К8МЗ, твердых сплавов ВК6М, ВК10М.

Мелкие, до М10, метчики обычно делают цельными, а свыше М10 паяными, сварными или сборными, причем режущий элемент может быть сделан цельным (в виде коронки) или из отдельных пластин. Заготовкой для хвостовика обычно служит прокат, в том числе в виде «серебрянки», иногда со сформированным квадратом или лысками. Для формирования канавок, лысок и стружечных канавок используют горячую и холодную радиальную штамповку заготовок. Твердосплавные мелкогаечные метчики до 6 мм получают из стержней методом вышлифовки.

О с н о в н ы е т е х н и ч е с к и е т р е б о в а н и я на машинно-ручные и гаечные метчики предусматривают для них степени точности Н1, Н2, Н3, С1, А1, А2 и В1. Предельные отклонения размеров метчиков: на общую длину и длину рабочей

части $j_s 16$; на диаметр хвостовика $h9$; на диаметр кольцевых канавок $h14$.

Радиальное биение режущей части при установке в центрах составляет 0,03—0,04 мм, калибрующей и хвостовой части 0,02—0,03; обратная конусность 0,05—0,15 мм на 100 мм длины.

Твердость рабочей части метчиков из быстрорежущей стали HRC₃ 61—67, а хвостовиков HRC₃ 32—55.

Шероховатость профиля резьбы, поверхности лезвия не более $Ra = 3,2$ мкм, а хвостовика не более $Ra = 1,25$ мкм. Поверхности канавок шлифуются или полируются. Шлифованные метчики затылуются на всей длине рабочей части. Заборная часть затылуется по наружному диаметру. Передний угол выполняется с допуском $\pm 2^\circ$, а задний $\pm 1^\circ$.

Технологический маршрут обработки метчиков из быстрорежущей стали начинается с отрезки от прутков заготовок для рабочей и хвостовой части и их галтовки. После обточки конца заготовки рабочей части до диаметра хвостовой и подрезки торца следует сварка встык с хвостовой частью и отжиг.

Далее, после дробеструйной обработки и рихтовки, обтачивается сварочный наплыв и следует токарная обработка: подрезка торцов и центровка, обточка в центрах хвостовой части и рабочей, образование резьбы. После фрезерования канавок и квадрата (или лысок) снимаются заусенцы и производится клеймение метчика. После термообработки метчика следует зачистка центров и обработка рабочей, хвостовой части шлифованием, затачивание по передней поверхности и резьбошлифование. Затачиванием и полированием стружечных канавок обработка метчика резанием завершается, и он передается на цинирование. После консервации следует упаковка метчиков (ГОСТ 18088—83).

Твердосплавные мелкогабаритные метчики (М2 — М6) с вышлифованными канавками изготавливают алмазными кругами по следующему маршруту: бесцентровое предварительное шлифование стержня, образование наружных центров с двух концов стержня, цилиндрическое шлифование рабочей и хвостовой части, окончательное шлифование с образованием обратной конусности рабочей части. После образования квадрата на хвостовике вышлифовываются три стружечные канавки кругом специального профиля и шлифуется резьба с затылованием профиля на всей длине рабочей части. После маркировки метчики очищаются, консервируются и упаковываются.

Протяжки. Конструктивные разновидности протяжек определяются обрабатываемой поверхностью заготовки (для наружного и внутреннего протягивания), формой отверстия (круглые, квадратные, шпоночные, шлицевые, многогранные и др.), конструкцией крепежно-присоединительной части (круглый хвостовик, плоский хвостовик и др.), конструктивным решением (цельные, составные, сборные), материалом режущей части и рядом других

признаков (схема срезания припуска, назначение для определенной детали, определенных условий эксплуатации и т. п.).

Материалы и заготовки. Материалом протяжек для цилиндрических отверстий диаметром до 18 мм, а также для протяжек больших диаметров для обработки заготовок массового производства служит быстрорежущая сталь (ГОСТ 19265—73). Хвостовик сварных протяжек делают из стали марки 40Х, а механически соединяемых — из конструкционной стали (ГОСТ 4543—71) или инструментальной (ГОСТ 5950—73) с таким расчетом, чтобы была обеспечена его твердость в пределах HRC₂ 42—56.

Протяжки круглые, шлицевые, шпоночные и другие могут изготавливаться целиком из стали ХВГ по ГОСТ 5950—73. Протяжки наружного протягивания могут иметь зубья, оснащенные твердым сплавом. Твердость быстрорежущих протяжек HRC₂ 62—65, а из стали ХВГ — HRC₂ 61—64. Протяжки можно азотировать или выполнять карбонитрацию.

Основные технические требования, например, к протяжкам для цилиндрических отверстий (ГОСТ 9126—76), предусматривают следующие предельные отклонения: а) для диаметра черновых и переходных зубьев — не более 0,01—0,02 мм (для диаметров до 150 мм); б) для диаметров чистовых и калибрующих зубьев — не более 0,005—0,016 мм; в) для переднего угла $\pm 2^\circ$; г) для задних углов черновых и чистовых зубьев $\pm 30'$; д) для заднего угла калибрующих звеньев $\pm 15'$; е) для общей длины протяжки до одного метра ± 3 мм; ж) радиальное биение чистовых зубьев и калибрующих относительно оси центров не более 0,005—0,01 мм; з) диаметр передней направляющей по е8; и) диаметр задней направляющей по f7.

Шероховатость поверхностей протяжек для отверстий с полем допуска Н7—Н9 по параметру R_z должна быть для передней поверхности, ленточек и задней поверхности не более 1,6—3,2 мкм; для поверхности спинки зуба, радиуса у передней поверхности, стружкоразделительных канавок и выкружек $\leq 6,3$ мкм; для ленточек и задней поверхности на калибрующих зубьях — не более 0,8—1,6 мкм.

Технологический маршрут изготовления протяжки начинается с отрезки заготовок быстрорежущей части и хвостовой, их галтовки и токарной обработки под сварку встык. После сварки заготовку отжигают, рихтуют и передают на токарную обработку. Здесь обтачивают грат после сварки, подрезают торцы и зацентривают заготовку с двух сторон. В центрах ведется последовательно черновая и чистовая токарная обработка наружного диаметра, сплюскающей части, направляющих. При чистовой обработке режущая часть обтачивается на конус в соответствии с подъемом зубьев. Далее нарезаются зубья режущей и калибрующих частей, каждая со своим шагом и профилем зубьев, формируются зубья по передней поверхности обеих частей.

После термической обработки следует правка (рихтовка) и дробеструйная обработка закаленной протяжки, шлифуются базы — центровые углубления, и протяжка поступает на абразивно-алмазную обработку.

Вначале начерно шлифуются передние поверхности и спинки зубьев. Затем шлифуются место под люнет, замковая часть, обе направляющие, диаметр рабочей части на конус и заходный конус. Наиболее ответственное шлифование диаметров каждого зуба калибрующей и режущей частей по размеру и образование задних углов и выкружек завершает формирование размеров протяжки. После этого окончательно затачиваются передние поверхности с обработкой спинок зубьев, доводятся задние поверхности зубьев, и протяжку маркируют.

Зуборезные долбяки различаются в зависимости от способа закрепления на станке (хвостовые, дисковые или насадные); от назначения (чистовые и универсальные); модуля (мелкомодульные менее 1,0 мм и общемашиностроительного назначения); направления винтовой линии зубьев (прямозубые, косозубые левые и правые); по конструкции (цельные и составные, сварные и с клеевым соединением); по делительному номинальному диаметру (12, 16, 25, 38, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200 мм); по материалу режущей части (быстрорежущие, твердосплавные и с износостойким покрытием TiN); по классу точности (AA, A, B); по типу обрабатываемой детали (для зубчатых колес, шлицевых валов и отверстий, для нарезания напильников); специальные и по ряду других признаков.

Материалы и заготовки. Для цельных долбяков используют быстрорежущую сталь; для составных долбяков рабочую часть делают из быстрорежущей стали (ГОСТ 19263—73), а хвостовую из стали марки 40Х или 45 и соединяют их путем сварки, пайки припоем марки П110 или склеиванием. Заготовка режущей части составных хвостовых долбяков проковывается, галтуется и поступает на механическую обработку, где проходит предварительную токарную обработку под сварку с хвостовиком. Заготовки дисковых цельных долбяков получают отрезкой прутка быстрорежущей стали и проковывают с уменьшением высоты и увеличением диаметра.

Основные технические требования к долбякам зависят от класса точности, модуля и типа долбяка. К примеру, по ГОСТ 9323—79 к долбякам зуборезным чистовым предъявляются требования по тринадцати параметрам; их допуски и предельные отклонения (в мкм): а) отклонение диаметра посадочного отверстия 5—10; б) биение конуса хвостовых долбяков относительно линии центров 5; в) отклонение от перпендикулярности внешней опорной поверхности к поверхности посадочного отверстия на радиусе не менее 0,33—0,5 от диаметра 4—12; г) отклонение от параллельности опорных поверхностей 5—12; д) торцовое биение передней поверхности около делительной окружности 14—40; е) отклонение инструментальных переднего и заднего

углов $\pm 3 \div \pm 12'$; ж) биение окружности вершин зубьев 12—50; з) отклонение диаметра окружности вершин перьев $\pm 320 \div \pm 600$; и) погрешность профиля немодифицированного участка не на режущей кромке 3—20; к) отклонение высоты головки зуба $\pm 18 \div \pm 50$; л) разность соседних окружных шагов по контрольной окружности 3—12; м) накопленная погрешность окружного шага в пределах оборота долбяка 9—36; н) радиальное биение зубчатого венца 14—40. Конусность и овальность посадочного отверстия должны быть в пределах половины допуска на диаметр отверстия. Предельные отклонения других размеров: отверстий H14, валов h14, остальных $\pm IT16/2$. Шероховатость основных поверхностей по параметру Ra (в мкм): для опорной поверхности 0,16; посадочного отверстия 0,16—0,25; внутренней опорной поверхности 0,63; поверхности хвостовика 0,5—0,63; задних поверхностей зубьев 1,6—2,5. Твердость режущей части HRC_с 62—65, а хвостовой стальной HRC_с ≥ 35 .

Технологический маршрут изготовления зуборезного дискового долбяка из откованной и отожженной заготовки состоит из двух этапов: токарно-фрезерного и шлифовально-доводочного, разделяемых термообработкой. Сначала в патроне обрабатываются отверстие, один торец и часть наружного диаметра. Последние служат базой для обработки второго торца, расточки отверстия и выточки с кольцевыми канавками, а также обработки передней поверхности под углом 5° . Затем на оправке obtачивается наружный конус под задним углом 6° на вершине зуба и — также на оправке — фрезеруется профиль зуба. После снятия заусенцев долбяк поступает на термообработку для получения необходимой твердости и очищается от окалины.

На втором этапе шлифуются зубья по передней поверхности, опорный торец. После притирки опорного торца шлифуются, а потом и доводятся отверстие и внутренний торец. Далее следует образование путем шлифования переднего и заднего углов, в две операции шлифуется профиль зубьев, окончательно шлифуется задняя поверхность по вершине зубьев, снимаются фаски. После маркировки долбяка полируются опорный торец и профиль зубьев. Завершает изготовление долбяка затачивание передней поверхности.

Червячные фрезы различают: по обрабатываемому профилю и виду детали — для шлицевых валов с эвольвентным профилем, для цилиндрических колес с эвольвентным профилем (см. рис. 3.11), для цилиндрических зубчатых колес передач Новикова, для зубьев звездочек цепных передач, для шлицевых валов с прямобочным профилем и др.; по количеству заходов (одно- и многозаходные); по модулю (мелкомодульные, крупномодульные); по классу точности (AAA, AA, A, B, C, D); по конструкции (цельные, сборные); по направлению винтовой линии зубьев (правозаходные и левозаходные); по технологическому назначению (чистовые и для черновой обработки) и др.

Материалы и заготовки определяются размерами фрез, их конструкцией и назначением в технологическом процессе зубообработки. Мелкомодульные ($m = 0,1 \div 0,9$ мм) чистовые однозаходные фрезы выполняются цельными из быстрорежущей стали или твердого сплава группы ВК, но могут делаться и составными с вклеенными в корпус твердосплавными или быстрорежущими пластинами. С вклеенными рейками выполняются и фрезы с модулем до 10 мм, а свыше 10 и до 30 мм — с напайными зубчатыми рейками. Фрезы с модулем от 4 до 14 мм выполняются из биметаллических заготовок. Фрезы цельные модулем 1—10 мм и делительной окружностью 60—190 мм чаще делаются из быстрорежущей стали (см. табл. 3.28), причем зубья могут иметь износостойкое покрытие TiN, а сама сталь получается из порошков.

Стандартные сборные фрезы с модулем 8—20 мм имеют режущую часть (гребенки) из быстрорежущей стали, а по заказам и из твердых сплавов, в том числе с износостойким покрытием TiN и др. Цельные фрезы и зубчатые рейки сборных ($m = 8 \div 25$ мм) фрез делают из стали (ГОСТ 19265—79). При малых диаметрах (до 50 мм) заготовку получают путем отрезки из прутка. При диаметрах более 63 мм отрезанную от прутка заготовку подвергают ковке с осадкой по длине, отжигу и галтовке, после чего следует механическая обработка.

В сборных фрезах стальной корпус выполняют из проката, а быстрорежущую рейку (пластину) получают из проката с последующей ковкой на прямоугольное сечение. Твердосплавные рейки делают из инструментальной стали и оснащают твердым сплавом путем напайки пластин. Цельные твердосплавные фрезы изготавливают из пластифицированной заготовки путем ее обточки, расточки, фрезерования и последующего спекания. После спекания следует ряд операций обработки алмазными кругами.

Основные технические требования к червячным фрезам определяются применительно к конкретным конструкциям и видам, но наиболее часто встречаемые для эвольвентных колес имеют следующие требования (по ГОСТ 9324—80) к точности, шероховатости и др. Этим стандартом предусматривается пять классов точности цельных фрез — АА, А, В, С и Д, четыре класса точности для сборных фрез — А, В, С, Д. Для каждого из классов установлена одна из трех групп проверок (1, 2 и 3). Фрезы класса точности АА и А контролируются по 1-й или 2-й группе проверок; В и С по одной из трех групп проверок; Д — по 3-й группе проверок. Каждая из этих трех групп включает от 10 до 12 контролируемых параметров; общими являются восемь параметров: диаметр посадочного отверстия, выполняемый по Н5 ... Н7 во всем интервале пяти классов точности и модулей 1—25 мм; радиальное биение буртиков 5—40 мкм; торцовое биение буртиков 3—25 мкм; радиальное биение по вершинам зубьев фрезы 12—250 мкм; профиль передней поверхности 12 — 340 мкм; разность соседних окружных шагов 12—315 мкм или накопленная

погрешность окружного шага стружечных канавок 25—600 мкм; направление стружечных канавок $\pm 50 \div \pm 160$ мкм и толщина зуба —16÷—250 мкм. Кроме того, в 1-ю группу включены погрешность зацепления 8—100 мкм и погрешность зацепления от зуба к зубу 4—50 мкм. Во 2-ю группу — профиль зуба 5—125 мкм, осевой шаг фрезы $\pm 8 \div \pm 70$ мкм и накопленное отклонение шага на длине любых трех шагов $\pm 12 \div \pm 100$ мкм.

Во всех трех группах максимальные отклонения относятся к фрезам низшего класса и наибольшего модуля, а минимальные — к наиболее точным фрезам малых модулей.

Предельные отклонения по наружному диаметру фрез устанавливаются по h16 ... h17. Шпоночный паз изготавливается по ширине с полем допуска B12, а по высоте — H14. Важным является требование соосности посадочного отверстия и профиля зубьев, что и определяет маршрут обработки.

Шероховатость отдельных поверхностей фрез также зависит от модуля и класса точности. Посадочные отверстия и торец буртика по параметру R_a имеют значения 0,4—1,6 мкм. По параметру R_z передняя поверхность, задняя боковая поверхность зуба и задняя поверхность по вершинам зуба, так же как и цилиндрическая поверхность буртика, находятся в пределах 1,6—6,3 мкм; эти значения увеличиваются со снижением класса точности и возрастанием модуля фрезы.

Твердость рабочей части фрез HRC₂ 62—65, что требует соответствующей термической обработки.

Технологический маршрут изготовления сборной червячной фрезы: изготовление корпуса, изготовление рейки, сборка и обработка червячной фрезы в сборе.

Корпус червячной сборной фрезы из стали 40X получают из заготовки, отрезаемой из прутка проката. Предварительная токарная обработка делается с двух установов. При этом происходит формообразование: подрезаются торцы, сверлится, растачивается и разворачивается под шлифование центральное посадочное отверстие, растачиваются выточки с двух сторон и в середине посадочного отверстия. Затем корпус на центровой оправке проходит обработку наружного контура со скосами и канавками, и с обеих сторон нарезается резьба. За предварительной токарной обработкой следует последовательное шлифование на центровой оправке обоих торцов корпуса. После долбления или протягивания шпоночного паза, слесарной зачистки заусенцев и снятия фасок на торцах шпоночного паза приступают к нарезанию профиля зуба червяка. Готовый червяк поступает на фрезерование пазов и снятие неполных витков с обеих сторон. После снятия заусенцев, образовавшихся при фрезеровании, и маркировки корпус поступает на термообработку с последующей дробеструйной очисткой. После этого следует шлифование посадочного отверстия и доводка его, шлифование торцов на оправке и затем пазов под гребенки.

Рейка сборной червячной фрезы из быстрорежущей стали Р6М5 делается из поковки, полученной из проката и отожженной. Необходимое на одну фрезу количество реек проходит фрезерную, а потом шлифовальную обработку по периметру прямоугольного сечения. Затем фрезеруются скосы под базовые конусы и обтачиваются в комплекте с установкой в корпус и маркировкой реек. Далее следует обработка профиля зубьев, их затылование и отделка на токарно-затыловочном станке. После термообработки реек зубья шлифуются кругом по пазам корпуса и поступают на сборку с корпусом.

Собранные с корпусом рейки подвергаются шлифованию (базовые конусы с углом 10° и торцы). Затем рейки с двух сторон закрепляются гайками, посадочное отверстие доводится и шлифуются профиль зубьев с затылованием. После заточки передней поверхности зубьев фреза поступает на контроль по выбранным параметрам 1-й, 2-й или 3-й групп проверок. При изготовлении червячной фрезы особый интерес представляют обработка профиля зуба и затылование шлифовальным кругом.

4.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА РИ

В функциональной схеме САПР технологической подготовки инструмента (САПР ТПИ) укрупненно можно выделить четыре основных этапа (рис. 4.6).

Подготовка исходных данных (1-й этап) заключается в описании характеристик и размеров изготавливаемого РИ в виде условных обозначений или чисел по принятой форме. Основой для этого служат рабочий чертеж инструмента и технические требования на него (твердость, допуски и др.). Минимальное количество исходных данных достигается в том случае, если проектирование осуществляется на базе типовых техпроцессов для унифицированных РИ различных размеров или исполнений. При этом в исходных данных указывается условное обозначение (код) данного вида РИ и только те его параметры, которые меняются в различных исполнениях.

Например, в САПР ТПИ Оршанского инструментального завода (ОИЗ) (Д. М. Жихар и др.) обозначение 2321—4003.000А—02 соответствует

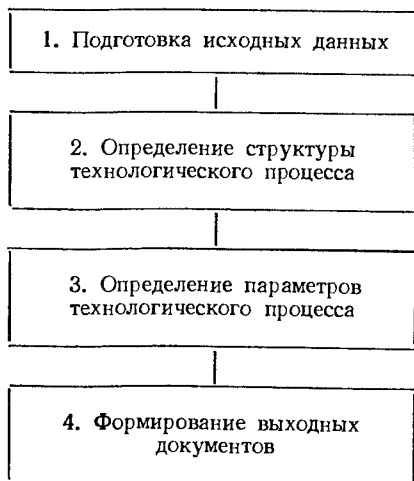


Рис. 4.6. Основные этапы САПР ТПИ

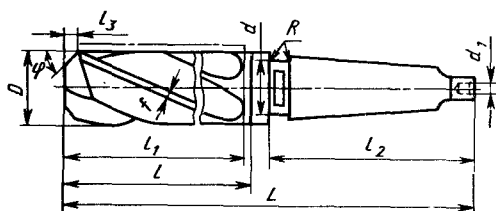


Рис. 4.7. Бланк исходных данных ОИЗ:

Характеристика РИ:

D	ВО	НО	Ш1
d	ВО	НО	R
КЦО *	d_1	Ш3	
L	ВО	НО	
l	ВО	НО	
l_1	ВО	НО	
l_2	ВО	НО	
l_3	ВО	НО	
h	Ш4	НО	
t			

f		
КМ *	Ш2	
ҚО *	D	
ψ		
ПРТ *	$H14$	$h14$
РБЛ *	$\leq$	a
РБК *	$\leq$	a_1

Общие сведения

Номер РИ	Марка ИМ	Вид ТО	Вид покрытия	Масса РИ	Размер партии

Обозначения: ВО — верхнее отклонение; НО — нижнее отклонение; ПРОТ — предельное отклонение отверстия; ҚО — конусность обратная; РБЛ — радиальное биение по ленточке; РБК — радиальное биение кромок; КЦО — конусность центрального отверстия; КМ — конус Морзе

зенкеру из быстрорежущей стали, трехзубому, с коническим хвостовиком и размерами: $D = 10,1$ мм; $d = 9,5$ мм; $d_1 = 1,0$ мм; $L = 160$ мм и т. д. (рис. 4.7).

Выбор условных обозначений исходных данных, основанный на классификации и кодировании РИ и оснастки, является весьма ответственной задачей. В настоящее время на различных предприятиях используются разные системы классификации и ко-

дирования технологической оснастки (СКҚТО). Они основываются на общесоюзных классификаторах (ОКП, класс 39), общесоюзных нормалях машиностроения (МН74—59 и др.), на множестве имеющихся отраслевых СКҚТО, либо, наконец, на специальной для данного предприятия СКҚТО. По мере внедрения и усовершенствования САПРИ, САПР ТПИ, а также АСУП часто возникает необходимость перекодирования, что при большой номенклатуре РИ может превысить реальные возможности предприятий.

В тех случаях, когда изготавливается инструмент, на который на данном заводе отсутствует типовая технология, в исходные данные включаются параметры изготавливаемого режущего инструмента. В САПР ТП «ОИЗ» такие данные вводятся для инструментов, изготавливаемых по чертежам заказчика (см. рис. 4.7). Возможность проектирования техпроцесса изготовления не только унифицированного, но и специального инструмента, предусмотренная в некоторых системах, делает их более универсальными, хотя усложняет алгоритм и программу.

Определение структуры и параметров техпроцесса (2-й и 3-й этапы) осуществляется в большинстве систем сначала для маршрутной, а затем для операционной технологии.

В САПР ТПИ для изготовления круглых и шлицевых протяжек (рис. 4.8), разработанной в ИТК АН БССР, получение маршрутной технологии осуществляется путем выбора операций из комплексного типового технологического процесса (КТТП). Под КТТП понимается набор операций, с помощью которых можно обработать любую данного типа протяжку (круглую, шлицевую) или прошивку. Для получения КТТП базовый ТП, после соответствующего анализа изготавливаемых конструкций РИ и технологических возможностей предприятия, дополняется необходимыми операциями и переходами. Комплексный маршрут представляет набор операций Q_i (P_k ; $k = 1, \dots, m$), $i = 1, \dots, l$, где Q_i — i -я операция; P_k — k -й переход. Поиск технологического маршрута для конкретного инструмента осуществляется методом логического пересечения. На основе таблиц соответствий [таблиц принятия решений (ТПР)], учитывающих конструктивные, технологические и организационные факторы (r_j , $j = 1, \dots, n$), в результате логического пересечения заданных условий с ТПР комплексного маршрута (КТТП) определяется совокупность операций Q_i и переходов P_k , необходимых для изготовления данного инструмента.

Особенностью системы САПР ТПИ «ОИЗ» является применение различных методов проектирования ТП для унифицированных РИ, изготавливаемых по чертежам «ОИЗ», и для тех же типов РИ, но изготавливаемых по чертежам заказчика (рис. 4.9). В первом случае проектирование осуществляется на основе типовых технологических процессов. При этом по условному обозначению РИ, приведенному в исходных данных, с носителя памяти ЭВМ считывается соответствующий типовой техпроцесс. Его доработка

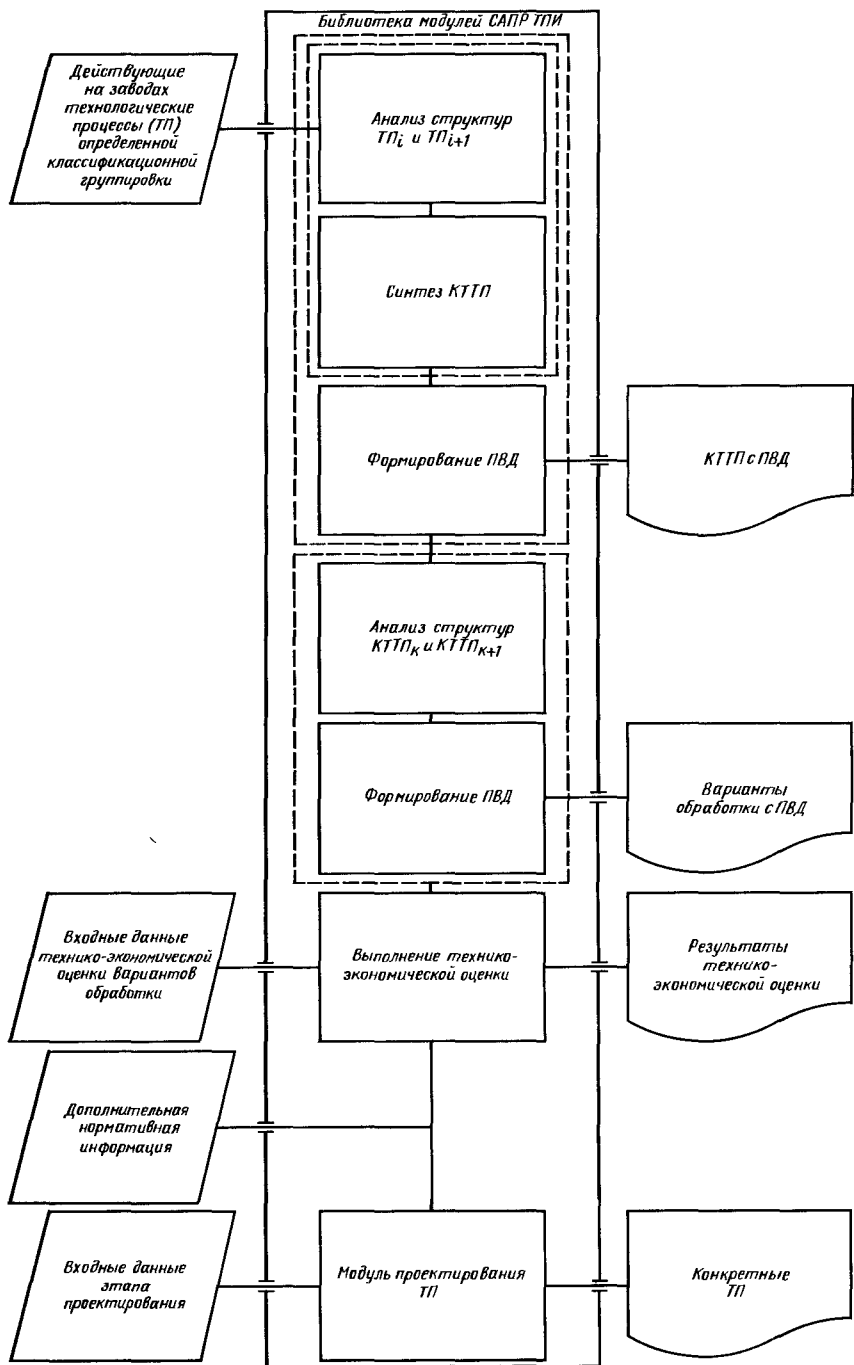


Рис. 4.8. Схема САПР ТП протяжки (КТПП — комплексный типовой технологический процесс; ПВД — перечень входных данных)

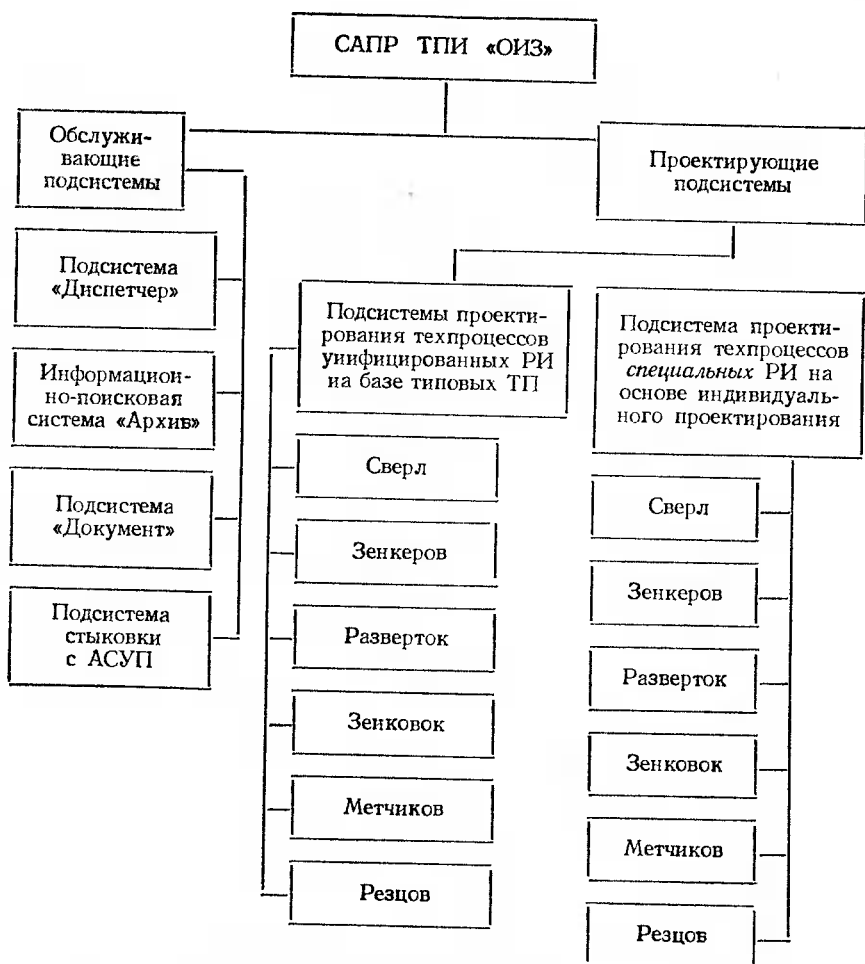


Рис. 4.9. Структурная схема САПР ТПИ «ОИЗ»

для конкретного размера данного унифицированного инструмента заключается в основном в уточнении технологических переходов в операциях и определении типоразмеров, марок и кодов оборудования и оснастки, режимов обработки и норм времени.

Во втором случае, т. е. для изготовления специальных РИ, для которых на заводе-изготовителе нет маршрута, используется метод индивидуального проектирования ТП. При этом алгоритм проектирования предусматривает наличие формул для определения структуры и параметров техпроцесса с учетом переменных параметров РИ. Основными документами, которые выдаются в результате автоматизированного проектирования (4-й этап), являются маршрутные и операционные карты, выполняемые в соответ-

4.8. Алгоритм формирования технологических переходов для операционной карты (САПР ТПИ «ОИЗ»)

№ перехода	Содержание перехода	Исполнительные размеры	Сменный инструмент	
			вспомогательный РИ	измерительный
1	Установить деталь в тисках	$N = \text{ТАБЛ 1 (3)}$	Оправка 6222—0039	
2	Фрезеровать поверхность, выдержать размер H_1	$H_1 = \text{ТАБЛ 1 (1)}$ Пред. откл. ТАБЛ 1 (2)	Фреза 2214—0005 T15K6 ГОСТ 24359—80	
...	...	...	...	...

ствии с требованиями ЕСТД. Кроме того, выдаются нормативы трудоемкости и заработной платы, ведомости оснастки и инструмента и др.

В основе работы имеющихся САПР ТПИ лежит использование алгоритмов в форме таблиц принятия решений (ТПР) и решение с их помощью задачи типа «поиск».

Например, алгоритмы формирования технологических переходов в САПР ТПИ «ОИЗ» содержат конкретные значения структуры и параметров операций или формулы (табл. 4.8). «Формула» $H_1 = \text{ТАБЛ 1 (1)}$ означает, что величина H_1 находится в табл. 1 в 1-й графе.

Структурные схемы САПР ТПИ включают обслуживающие и проектирующие подсистемы. Первые предназначены для реализации процесса проектирования с использованием ЭВМ. В САПР ТПИ «ОИЗ» (см. рис. 4.9) обслуживающая подсистема «Диспетчер» дополняет и корректирует базовые данные: добавляет или устраняет операции в типовых процессах, добавляет новые исполнения инструментов и т. п. Информационно-поисковая система «Архив» позволяет производить обработку информации, представленной в форме ТПР: ввод в оперативную память, запись на диск, считывание из информационного фонда, корректировка. Подсистема «Документ» обеспечивает печатание выходной документации: карт техпроцессов, ведомостей и др. Подсистема стыковки САПР ТПИ с АСУП осуществляет формирование информации, используемой в АСУП.

Проектирующие подсистемы обеспечивают получение информации, необходимой и достаточной для формирования всей выходной технологической документации. В САПР ТПИ «ОИЗ» эти подсистемы соответствуют унифицированным или специальным РИ различных типов (см. рис. 4.9).

Информационная база системы «ОИЗ» включает базовые, вспомогательные данные, таблицы параметров, общие и специаль-

ные таблицы. Базовые данные отражают все сведения, одинаковые для всех РИ, охватываемых типовым техпроцессом. Например, если все РИ данного типа изготавливаются из одного материала или режимы резания (глубина, скорость) рассчитываются по одной формуле, то они являются одинаковыми сведениями для всех РИ. Элементы базовых данных записываются сначала для всей технологической подготовки производства (из заголовка маршрутной карты), затем отдельно по каждой операции. В зависимости от вида технологической операции базовые данные на операцию представляются различным количеством массивов. Например, для операции механической обработки $m = 16$. В частности, первый массив M_1 содержит сведения операции, печатаемые в маршрутной карте: 1 — количество переходов в операции; 2 — номер цеха; 3 — номер участка; 4 — номер операции; 5 — код наименования операции; 6 — количество предложений, описывающих содержание операций; 7 — код модели оборудования; 8 — коэффициент штучного времени; 9 — код профессии; 10 — количество рабочих операций; 11 — разряд работы; ...; 17 — подготовительно-заключительное время; 18 — штучное время.

Любой массив M_k характеризуется номером k и количеством элементов a_{ki} , входящих в массив; каждый элемент a_{ki} характеризуется номером k массива и порядковым номером i элемента внутри массива. Для приведенного выше первого массива $k = 1$; $i = 1 \div 18$.

На месте каждого элемента в базовых данных находится число. В зависимости от его значения оно либо соответствует численному значению элемента, либо является его кодом, либо указывает, содержится ли значение данного элемента в таблице параметров или вычисляется по формуле. Для организации вычислений по формуле служат вспомогательные данные, указывающие номер формулы и исходных данных для вычислений.

В общих таблицах собраны все сведения о типовых техпроцессах, имеющие текстовый характер. Каждому типу текста, например, названиям операций, наименованию оборудования или инструмента, соответствуют разные таблицы, например, таблица названия операций:

Код	Наименование операции
1	Токарная
2	Специальная токарная (ЧПУ)
3	Токарио-винторезная
...	...
80	Координатно-расточная

Язык общения САПР ТПИ имеет важное значение с точки зрения простоты эксплуатации системы технологом и возможности ее корректировки. В системе «ОИЗ» задания, которые должна выполнить система, описываются в форме утверждений, отражающих содержание этого задания. Такое построение языка делает его достаточно наглядным.

Например, задание, заключающееся в том, чтобы ввести в общие таблицы обозначение режущих инструментов по ГОСТ 24359—80 вместо обозначений по ГОСТ 8529—69, записывается так:

КОРРЕКТИРОВКА ОБЩИХ ТАБЛИЦ
ЗАМЕНИТЬ СИМВОЛЫ ГОСТ 8529—69 В ТАБЛ
ГОСТ 24359—80
КОНЕЦ ЗАДАНИЯ.

Представляет интерес определенный опыт, накопленный в ПНР. Институт обработки резанием ПНР (г. Краков) разработал систему проектирования технологических процессов изготовления концевого инструмента (рис. 4.10).

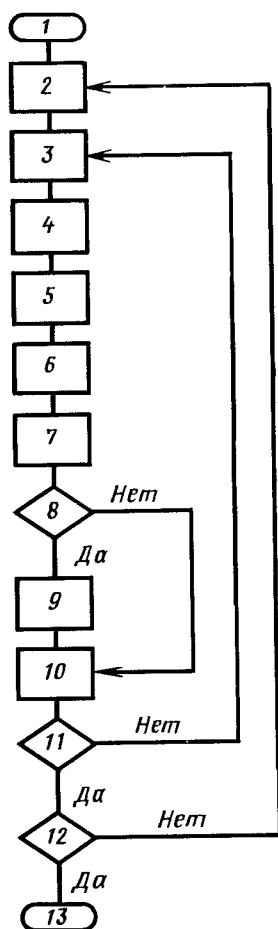
Работы велись на основе исследований, проведенных ИТК АН БССР. При осуществлении таких работ можно использовать два метода: типовых процессов и многократного синтеза. Первый метод является более простым при реализации, но не является универсальным, так как пригоден лишь для определенных групп деталей и типовых процессов. Второй метод используется с целью создания универсальной модели разработки технологического процесса. В данной системе используется второй метод и основу составляют два множества: а) операций; б) приемов. Последовательность действий указана на рис. 4.10. Выбор операции и рабочих мест для их осуществления начинается с последней операции с последующим переходом к начальным операциям вплоть до первой.

4.5. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РИ

Краткое содержание основных направлений развития технологии изготовления РИ изложено ниже по схеме, представленной на рис. 4.11.

Рис. 4.10. Схема САПР ТПИ концевого инструмента:

1 — начало проектирования; 2 — выбор операции; 3 — выбор перехода; 4 — выбор рабочего места; 5 — выбор инструмента; 6 — выбор крепления; 7 — выбор измерительных устройств; 8 — операция формообразования; 9 — выбор параметров резания; 10 — выбор времени обработки; 11 — верно ли выбраны переходы? 12 — верно ли выбраны операции? 13 — конец проектирования



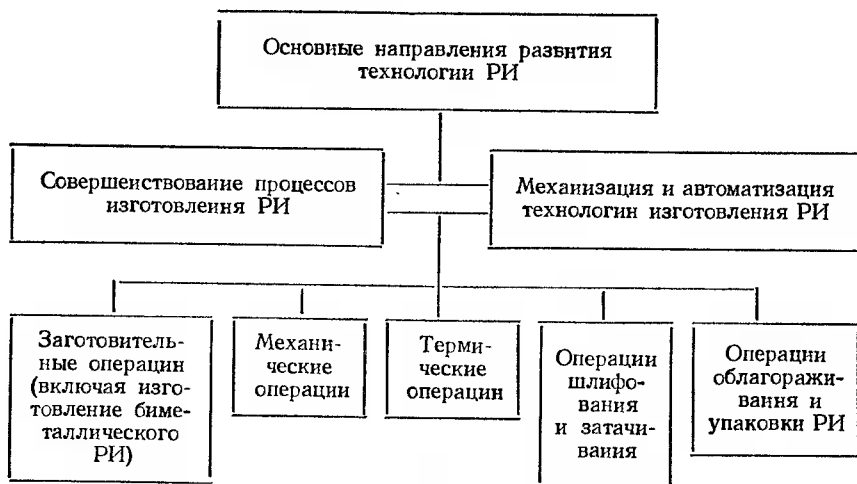


Рис. 4.11. Направления развития технологии производства режущего инструмента

Заготовительные операции (включая изготовление биметаллического РИ). Основное направление совершенствования этих операций — изготовление заготовок, приближающихся по форме и размерам к готовым РИ. Это обеспечивает не только снижение расхода дорогостоящих и дефицитных инструментальных материалов и увеличение производительности труда, но и улучшает качество инструмента за счет повышения его прочности и стойкости.

Например, в случае производства сверл используется продольно-винтовой прокат. Внедрение горячего прессования сверл $\varnothing 45$ —80 мм и концевых фрез $\varnothing 18$ —36 мм обеспечивает экономию быстрорежущей стали до 50 % по сравнению с фрезерованием и до 20 % по сравнению с секторной прокаткой сверл. Горячее прессование позволит также более производительнее осуществить изготовление спиральных сверл с внутренним подводом СОЖ.

Радиальная штамповка заготовок метчиков (до 75 %) и безоблойная штамповка заготовок резцов и насадного РИ (торцовых фрез, долбяков и др.) вместо свободнойковки обеспечивают экономию металла на 25—50 % и снижают трудоемкость последующих токарных операций примерно на 20 %, улучшая структуру металла.

Эффективным направлением экономии быстрорежущей стали является использование технологических процессов изготовления биметаллического режущего инструмента. В этом направлении необходимо и дальше совершенствовать операции сварки и напайки; получать точные сварные заготовки (в том числе с помощью диффузионной сварки); осваивать производство конструкций с кленой режущей частью (развертки, зенкеры, расточные резцовые вставки, мелко модульные червячные фрезы с твердосплавными

пластинами и др.); осваивать электроконтактную наплавку режущей части таких инструментов, как дисковые отрезные и прорезные фрезы, сегменты отрезных пил, развертки, метчики и др.

Анализ промышленного внедрения технологии склеивания РИ, проведенный во ВНИИ, показал, что возможно сокращение расхода дефицитных инструментальных материалов на 50—80 %, исключение трещинообразования, снижение себестоимости изготовления инструмента на 15—25 % за счет исключения операций отжига, удаления грата и наплывов припоя и др. При переводе паяных и сварных конструкций (там, где это целесообразно) на клееную иногда увеличивается стойкость РИ в 1,3—1,5 раза по сравнению с паяным и сварным за счет сохранения исходных режущих свойств инструментальных материалов.

Использование технологического процесса изготовления биметаллического РИ на основе электроконтактной наплавки. Отличительной особенностью этого процесса является нагрев присадочного материала и приконтактного объема металла заготовки импульсами электрического тока и их совместная пластическая деформация. По данным ВНИИ, суммарное повышение трудоемкости изготовления биметаллического инструмента с использованием данного метода по сравнению с производством цельного РИ не превышает 20 %, а экономия быстрорежущей стали составляет 80—85 %.

В перспективе возможно получение биметаллического РИ из стружки и кусковых отходов быстрорежущей стали. Существующая схема утилизации отходов, включающая два металлургических передела в электродуговых печах (выплавка шихтовых заготовок и выплавка марочного металла), приводит к потере в виде окислов и пыли более 20 % металла, а выход годного составляет 50 %. При переработке каждой тонны стружки (по данным ВНИИ) теряется около 30 кг вольфрама, 30 кг молибдена и 20 кг ванадия. Поэтому желательно использовать электрошлаковую технологию, т. е. непрерывное плавление исходного металла в перегретом шлаке с одновременным наращиванием получаемого слитка. Возможен и другой путь — производство РИ из стружки, исключаящий металлургический передел — технология порошковой металлургии. В области совершенствования операции «пайка—закалка» предполагается использование высокопрочных порошковых припоев.

Затачивание РИ алмазными и эльборовыми кругами. Повышение производительности и качества при затачивании РИ связано с использованием кругов из синтетических алмазов и эльбора. Электроалмазное затачивание твердосплавного инструмента обеспечивает повышение производительности в 8—10 раз с одновременным повышением качества обработанной поверхности и повышением стойкости РИ. При шлифовании и затачивании быстрорежущего инструмента удалось обеспечить низкую шероховатость (ниже $Ra = 0,32$ мкм) в бесприжоговом режиме.

Применение скоростного и глубинного шлифования алмазными и эльборовым кругами позволяет повысить производительность труда при бесцентровом шлифовании и резьбошлифовании на 15—20%, при абразивной отрезке — на 30—45 %, при затачивании сверл из быстрорежущих сталей в 3,—3,5 раза, а при вышлифовке стружечных канавок заменить операцию фрезерования и повысить производительность труда в 4 раза.

Для расширения области применения скоростного и глубинного шлифования необходимы дальнейшие исследования в области использования СОЖ и систем их подачи в зону резания, улучшения качества шлифовальных кругов и станков.

Химико-термическая обработка и нанесение износостойких покрытий. При изготовлении быстрорежущего РИ получили применение различные способы химико-термической обработки.

Азотирование, нитрирование — диффузионное насыщение поверхностного слоя (0,2—0,8 мм) изделия в среде аммиака или в расплаве солей на основе карбамида (жидкостное азотирование) при температуре 500—650 °С. В результате азотирования повышаются твердость, износостойкость, коррозионная стойкость и сопротивление усталости.

Борирование — насыщение поверхности изделия из стали бором для повышения твердости (до 1400HV), теплостойкости, износостойкости и коррозионной стойкости.

Алитирование (алюминирование) — насыщение поверхностного слоя изделия алюминием на глубину 0,02—1,2 мм для повышения теплостойкости (красностойкости).

Сульфидирование — поверхностное насыщение стальных деталей серой для повышения износостойкости и предупреждения задигов.

Фосфатирование — химический процесс образования на поверхности стальных изделий тонкого слоя фосфатов (солей фосфатных кислот), предохраняющего от коррозии.

Электрофизические методы нанесения покрытий. Поверхность инструмента (режущие пластины) покрывается износостойкими пленками высокопрочных материалов (карбидов или нитридов титана, карбидов молибдена и др.) методом конденсации вещества из плазменной фазы в условиях ионной бомбардировки или газофазным методом (применяется для покрытия твердосплавных пластин).

В последние годы получили распространение ионные методы нанесения износостойких покрытий; реактивный электронно-плазменный (РЭП), катодного расплавления, метод конденсации с ионной бомбардировкой (КИБ).

В нашей стране проводятся широкие исследования, направленные на создание установок и совершенствование метода КИБ.

В ближайшее время необходимо решать задачу повышения стойкости быстрорежущего инструмента (в том числе безвольфрамовых с доведением их по качеству до уровня вольфрамосодержащих материалов) в 3—4 раза за счет нанесения многослойных изно-

состоящих покрытий. Аналогичная задача существует для инструмента, оснащенного пластинами из минералокерамики и синтетического сверхтвердого материала на основе кубического нитрида, а в перспективе для РИ из углеродистых и легированных сталей.

Расширение области применения упрочнения режущих элементов инструмента поверхностным пластическим деформированием (ППД). Помимо упрочнения все способы ППД снижают шероховатость, улучшают микрорельефную структуру, в отдельных случаях используются для скругления режущих кромок. Одним из способов поверхностного деформирования твердосплавных пластин является виброабразивная и дробеструйная обработка.

Виброабразивная обработка повышает стойкость пластин при фрезеровании в 1,2—2 раза, при точении — в 1,5 раза. Дробеструйное упрочнение наиболее эффективно для крупных РИ, работающих с большими подачами.

Для быстрорежущего закаленного РИ упрочнение осуществляется с помощью алмазного выглаживания, обкатки шариком, ультразвука. Например, алмазное выглаживание протяжек повышает в 2—3 раза их стойкость по сравнению со шлифованными и на 20—40 % по сравнению с полированными зубьями.

Термомеханическое упрочнение используется в процессе изготовления РИ с использованием методов пластического деформирования, совмещения пластической деформации с закалкой (например, при изготовлении сверл методом секторного и продольно-винтового проката).

Механизация и автоматизация технологии изготовления режущего инструмента. Автоматизируются заготовительные операции, например, производится полная автоматизация на базе групповых агрегатов и автоматических линий на операциях сварки, правки и снятия сварочного грата (опыт завода им. Воскова с использованием машин мод. МИ-086 и СИ-049; обработка заготовок концевой РИ на автоматической линии АЛ-14). Автоматизируются не только загрузка и обработка, но и выгрузка и укладка (автоматические укладчики типа мод. СИ-050), используются прогрессивные виды оснастки (резинометаллические цанги и втулки, торцовые поводковые патроны с заклинивающимися ведущими элементами, автоматизированные приспособления с полиуретановыми зажимными элементами, групповые магнитные сепараторы и кассеты для обработки многогранных пластин, приспособления-спутники для работ с точным позиционированием и т. д.).

Используются станки с ЧПУ, в том числе многоцелевые станки. Опыт внедрения станков с ЧПУ при изготовлении РИ показал, что производительность оборудования возрастает до 1,5 раз, а производительность труда — до 3 раз.

Основная область применения станков с ЧПУ — это обработка: а) державок сборных резцов на сверлильно-фрезерных станках мод. 6Р11МФ3, ЛФ-260МФ3; б) корпусов сборных инструментов (фрезы торцовые, головки резбонарезные) на сверлильно-фрезер-

ных станках мод. 2204МФ4; в) концевой инструмента (фрезы, зенкеры, развертки) на токарных станках мод. 16Б16Ф3, 16К20Ф3 и шлифовальных станках мод. ВЗ-201Ф3, ВЗ-212Ф2, ВЗ-213Ф3; г) насадного инструмента (шеверы, долбяки, фрезы, зенкеры и развертки) на токарных станках мод. 16К20Ф3 и шлифовально-заточных мод. ЗБ662ВФ2, ВЗ-210Ф2 и др.; д) круглых и шлицевых протяжек и долбяков.

Для эффективного использования станков с ЧПУ необходимо провести научно-исследовательские работы в следующих направлениях: а) исследование статических и динамических погрешностей технологической системы при контурной токарной обработке в центрах деталей типа протяжек, при фрезеровании корпусов сборного концевой инструмента; б) исследование возможности компенсации погрешностей технологической системы и повышение производительности обработки РИ на станках с ЧПУ с использованием адаптивного управления; в) разработка новых технологических процессов изготовления РИ с учетом максимального использования возможностей станков с ЧПУ; г) разработка предложений по повышению технологичности конструкций режущего и вспомогательного инструментов применительно к обработке на станках с ЧПУ.

Автоматические линии и агрегаты для термической обработки РИ используются для закалки, отпуска, химического очищения. Для консервации и упаковки РИ необходимо расширить область применения автоматов, полуавтоматов и автоматических линий для консервации и упаковки всех видов РИ в крупносерийном и массовом производстве.

Автоматизация проектирования технологических процессов изготовления режущего инструмента. Исследованием проблемы автоматизации проектирования технологических процессов изготовления РИ, главным образом, занимается ИТК АН БССР (г. Минск). Здесь эта проблема была частью разрабатываемой автоматизированной системы инструментальной подготовки производства.

Первые публикации по автоматизации проектирования технологических процессов изготовления РИ были на примере протяжек, в которых была сделана попытка формализовать процесс анализа типовой технологии, производимой технологом.

При реализации наивысшего уровня автоматизации предполагается объединение в единое целое процессов конструирования, разработки технологии изготовления РИ и осуществление процесса изготовления в автоматизированном цикле. На этом уровне имеется возможность осуществления наиболее полной оптимизации принимаемых решений при разработке техпроцесса в связи с наиболее глубоким учетом всех факторов — от конструкции РИ до реальных условий его изготовления.

Совершенствование управления производством — важная народнохозяйственная задача. Технической основой ее решения в различных отраслях, в том числе в инструментальном производ-

стве, является использование ЭВМ вплоть до создания автоматизированных систем управления (АСУП). Такие системы позволяют получить оперативную, полную и достоверную информацию, что является объективной предпосылкой для улучшения показателей производственно-хозяйственной деятельности предприятия. Одним из первых предприятий страны, на котором в 1963 г. начали проводиться работы по созданию АСУП, является завод режущих инструментов им. М. И. Калинина «Фрезер». В 1975 г. на заводе была введена в эксплуатацию в полном объеме проекта третья очередь системы «АСУ—Фрезер».

По функциональной структуре она включает следующие подсистемы: 1) управления технической подготовкой производства (конструкторско-технологические расчеты); 2) технико-экономического планирования, в том числе мощности цехов, плановой численности рабочих, себестоимости продукции; 3) оперативного управления основным производством, включающую данные о наличии материалов на складе, о движении изделий на всех стадиях технологического процесса, о составе и размещении незавершенного производства; 4) управления материально-техническим снабжением, расчета потребности в материалах, контроля за уровнем материальных ресурсов по системе максимум—минимум; 5) управления сбытом готовой продукции, комплектации заказов, организации их доставки, финансового оформления заказов; 6) бухгалтерского учета по предприятию в целом и по отдельным цехам, включая учет труда и заработной платы, определение расходов на материалы, на собственный и покупной инструмент и др.

Каждая подсистема «АСУ—Фрезер» обеспечивает обработку информации, связанной с определенной функциональной службой предприятия. За основу оптимизации технико-экономического планирования производства принят критерий максимального использования технологического оборудования, что обеспечивает в условиях инструментального производства наибольшую производительность при минимальной себестоимости.

Эффективность АСУ зависит не только от ее структуры, стоимости и научно-технического уровня, но и от оптимальности решений, принимаемых на основе информации. Благодаря АСУ возможности для более оптимального решения задач управления значительно расширяются. На машиностроительных предприятиях автоматизация управления инструментальным хозяйством (ИНХ) может включать различный объем задач — от отдельных задач, входящих в подсистемы АСУП, до самостоятельных комплексных систем АСУ ИНХ. Опыт разработки АСУ ИНХ показал, что затраты на ее создание при минимальном количестве решаемых задач около 12—15 для среднего завода составляют 150—200 тыс. руб. Поэтому создание АСУ ИНХ экономически целесообразно не для всех предприятий. Одним из основных показателей, характеризующих целесообразность внедрения АСУ ИНХ, является объем потребляемой оснастки, который должен составлять около 1 млн. руб. в год и более.

5. ПРИЛОЖЕНИЯ **П Р И Л О Ж Е Н И Е 1.** **КОДЫ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ (ОМ)**

Код ОМ	Наименование ОМ	Марки (примеры)	σ_B , МПа, или НВ	Значение
1	Алюминий и его сплавы деформируемые мягкие	АД; АВ; АМЦ; АМ1; АМ2; АД31; АД33	σ_B	До 350
2	Деформируемые средней прочности	Д1; АК2; АК4; АК6; ВД17; АМ6		350—490
3	Деформируемые высокой прочности	АК8; В93; В95; В96; ВАД-23		440—650
4	Литейные высококремнистые	АЛ2		150—300
5	Литейные с содержанием Si $\leq 5\%$	АЛ15В; АЛ18	НВ	150—300
6	Бронза	БрОФ10-1; БрОЦ8-4		60—100
7	Литейная оловянная	БрОЦС-5-5-5; БрОЦС-4-4-17		60—90
8	Деформируемая оловянная	БрОФ-6,5-0,15; БрОФ-7-0,2; БрОЦС-4-4-4		60—110
9	Безоловянная средней твердости	БрА5; БрА7; БрАЖ9-4Л; БрКМц3-1	НВ	110—160
10	Безоловянная высокая твердости	БрАЖ9-4; БрАЖН-10-4-4; БрАМ 9-2; БрХ0,5		160—200
11	Безоловянная высшей твердости	БрКН1-3; БрАЖ9-4; БрКН0,5-2		200
12	Латунь	БрАЖН10-4-4		200
13	Деформируемая мягкая	Л96; Л80; Л62; ЛА77-2	НВ	53—88
14	Деформируемая средней твердости	ЛН65-5; ЛО62-1; ЛС64-2		90—140
15	Деформируемая твердая	ЛС64-2; ЛС59-1; Л62; Л90; ЛМ58-2		140—182
16	Литейная мягкая	Л68; Л59; ЛО70-1; ЛЖМ59-1-1; ЛАН-59-3-2; ЛКС65-1,5-3		70—100
17	Магний и магниевые сплавы	ЛС59-1Л; ЛАЖ-60-1-1Л; ЛКС80-3-3; ЛА67-2,5	σ_B	100—160
18	То же	ЛАЖМ66-6-3-2; ЛК80-3Л; ЛМЖ-52-4-1		90—260
19	Медь техническая	МА1; МА2; МА8; МА9; МЛ2; МЛ15; МЛ-11		260—340
20	Пластмассы	МА3; МА5; ВМ65-1		200—240
21	Аминопласт	М0; М2; М4	НВ	30—55
22	Асбобетон	А; Б		35
23	Винипласт	(ТУ МХП)		16
24	Волокнит	А; Б; В; Г; Д		25
25	Деревянные слоистые пластики	ДСП-Б; (В); (Г)	σ_B	70—260

Код ОМ	Наименование ОМ	Марки (примеры)	ОВ, МПа, или НВ	Значение
26	Капрон	Поделочн. авиацион. П-68; П-АК-7	НВ	5—10
27	Кордолокнит			13—16
28	Оргстекло			12
29	Полиамид			15
30	Поливинилхлорид			10—15
31	Поликапролактан	НД АГ 4С; АГ-4В	НВ	10—12
32	Полистирол			18—20
33	Полиэтилен			43—52
34	Стекловолокнит			28—98
35	Стеклопластик	П5-2	σ _в	600
36	То же	27-63С; 33-18С		1000—1200
37	Стеклотекстолит	ФН; ВФТ; КАСТ		90—410
38	Текстолит	ПТ; ПТК		65—100
39	Уретаноласт (полиуретан)	ПУ-1		50
40	Фенопласт	А12; А20; А30 А12; А20; А30; А40; А40Г У7А; У10А; У13А	НВ	30—40
41	Стали незакаленные			160—185
42	Автоматные			187—229
43	То же			187—207
44	Инструментальные			179—217
45	Легированные	11Х; Х (ШХ15); Х6ВФ; В2Ф	НВ	217—243
46		9ХС; ХВСГ; 13Х; ХГС		244—285
		ХВГ; 9ХФ; ХВ4		
47	Быстрорежущие	P6M5; 11P3AM3Ф2; P9; P18;		≤255
48	Вольфрамовые и молибденовые	P12; 10P6M5		
49	Ванадиевые и кобальтовые	P12Ф3; P9K5; P6M5Ф3;		≤269
		P6M5K5; P9K10		
50	Сложнолегированные повышенной твердости	P9M4K8; P12Ф2K8M3;		≤285
		P18K5Ф2; P8M3K6C		
51	Дисперсионно-твердеющие	B11M7K23; B3M12K23		300—350
	Конструкционные и углеродистые			
52	Малоуглеродистые	Ст0; Ст1; Ст2; Ст0,8; Ст10кп;		130—156
		20кп		
53	Малоуглеродистые и низколегированные	20; 25; 35; Ст3; Ст4; 15Г; 15ХМ		156—187
54	Среднеуглеродистые и низколегированные	40; 45; 55; Ст5; Ст6; 35Г; 50Г;		187—217
		Ст10Г2; 13Н2ХА		
55	Углеродистые и низколегированные	45; 50; 55; 35Г; 50Г; 60; 70;		218—255
		65Г; 40Г2; 50Г2; 15ХФ		
56	Высокоуглеродистые и легированные	70; 80; 60Г; 70Г; 20Х; 35ХГ2;		255—269
		36Г2С; 20ХФ; 20ХН; 12ХН2;		
		20ХГСА; 18ХГН		

Код ОМ	Наименование ОМ	Марки (примеры)	σ_B , МПа, или НВ	Значение
	<i>Легированные</i>			
56	Хромистые	30Х; 35Х; 40Х; 45Х		187—241
57	Кремнемарганцевые	27СГ; 35СГ		197—229
58	Хромоалюминиевые, хромовольфрамовые, хромомолибденовые, хромоникельмолиб- деновые	38ХЮ; 30ХВА; 30ХМА; 38ХМЮА; 40ХФА		229—241
59		40ХНМ; 30ХНВА; 30ХН2ВФА; 40ХНВА		241—269
60	Хромокремнистые, хромокремнемарган- цевые	33ХС; 40ХС; 30ХГС; 30ХГСА; 35ХГСА	НВ	217—255
61	Хромомарганцевые	18ХГ; 18ХГТ; 20ХГР; 40ХГ; 35ХГ2		187—241
62		40ХН; 50ХН; 12ХН2; 12ХН3А		187—229
63	Хромоникелевые	50ХН; 12ХН2Н4А; 20ХН2Н4А		230—269
	<i>Литые</i>			
64		15Л; 20Л; 25Л; 30Л; 35Л		400—500
65	Углеродистые и ма- лолегированные	40Л; 45Л; 50Л; 55Л; 35ГЛ; 40ХЛ; 35ХМЛ	σ_B	530—700
66	Легированные	30ХНМЛ; 35ХГСЛ; 12ДН1МФЛ		600—800
67		55С2; 55С2А; 70Г; 60Г		227—241
68	Рессорно-пружинные	60С2Н2А; 85; 50ХГА; 50ХФА	НВ	241—269
69		60С2ХА; 60С2ХФА; 70С2ХА; 65С2ВА		270—285
70	Штамповые	8Х6НФТ; 8Х4В2С2МФ		217—241
71		Х12Ф1; 7ХГ2ВМ; 6Х6В3МФС		242—255
	<i>Закаленные</i>			
72		20; А20; 45; 50; 20Х; 40Х;		≤ 30
73		40ХН; У7А; У13А; 35ХМ;		≤ 40
74	Углеродистые и ма- лолегированные	18ХГТ; ШХ15		≤ 45
75				≤ 50
76				≤ 55
77				≤ 60
78				≤ 65
79		12ХН3А; 25ХГСА; 35ХЗНМ;	HRC ₉	≤ 30
80		40ХГР; 40ХМФА; 9ХС; ХВГ;		≤ 40
81	Легированные (кон- струкционные, ин- струментальные, штамповые)	ХВСГ; ШХ15; Х6ВФ		≤ 45
82				≤ 50
83				≤ 55
84				≤ 60
85				≤ 65

Код ОМ	Наименование ОМ	Марки (примеры)	$\sigma_{\text{в}}$, МПа, или НВ	Значение
86 87 88 89 90 91	Высоколегированные (подшипниковые, быстрорежущие и др.)	95X18; P6AM5; P12; P9K5; P18Ф2K8M; P8M3K6C; B11M7K23; B3M12K23	HRC ₉	≤ 45 ≤ 50 ≤ 55 ≤ 60 ≤ 65 ≤ 70
92 93 94	Труднообрабатываемые стали и сплавы	34XH3M X6CM 34XH3MФ; 20X3MBФ		До 600 650—900 900
95 96 97 98 99 100	Коррозионно-стойкие	12X13; 20X13 30X13; 40X13; 25X13H2; 23X13HBMФЛ (ЭП65) 14X17H2; 09X16H4Б; X15H9Ю 09X16H4Б (ЭП56) 23X12HBMФА ЭП311		600—850 850—1000 1000—1200 1200—1400 1400—1600 1600—1750
101 102 103 104	Жаростойкие, кислото- стойкие (коррози- онно-стойкие)	12X18H10T; 12X21H5T X15H5Д2Т (ЭП410) 09X15H9Ю (ЭИ904) 08X17H5M3 (ЭИ925); 16X20K6H2MBФ (ЭП768)		550—750 750—1000 850—1100 1000
105 106 107 108 109	Жаропрочные, жаро- стойкие, кислото- стойкие (аустенит- ного класса)	45X14H14B2M (ЭИ69) ЭИ395; ЭИ835 10X11H20T3P; ЭИ481 07X21Г7АН25 (ЭП222); 10X15H27T3MP (ЭП700) 15X18H12C4TЮ	$\sigma_{\text{в}}$	700 800 900 1000 700—750
110 111 112 113 114	Жаропрочные дефор- мируемые сплавы	XH60B; XH77TЮ; XH35BTЮ XH75MBЮ XH60ЮBTЮ XH72HVKЮ XH82TЮMB; ЭП99		800—1000 1000—1100 1000—1200 1200—1300 1300
115 116 117 118	Жаропрочные и ока- линостойкие литей- ные сплавы (никеле- вые)	ВЖ36-Л2; АНВ-300; XH67BMТЮЛ		750—800
		ЖС6К; ЖСЗДК		850—1000
		BT1-00; BT1-0; BT-1-1; BT1; OT4-1		400—700
	Титановые сплавы	OT4; BT4; BT5; BT5-1; BT6; BT6C; BT16; BT18		700—1000

Код ОК	Наименование ОК	Марки (примеры)	$\sigma_{\text{в}}$, МПа, или НВ	Значение	
119	Титановые сплавы	BT3-1; BT6; BT8; BT9; BT14; BT16; BT20; OTЧ-2	$\sigma_{\text{в}}$	1000—1200	
120		BT3-1; BT8; BT15; BT22		1200—1500	
121	Высокопрочные ста- ли	30X2ГCН2ВМ; СП28; СП33; СП38		1600—1700	
122		42X2ГCНМ		1700—1950	
123		43XCНМВФА		1950—2100	
124	Чугун	СЧ 12; СЧ 15; СЧ 36	НВ	≲229	
125	Серый			≲255	
126				≲289	
127	Ковкий			КЧ 30; КЧ 335; КЧ 37; КЧ 45	≲163
128				КЧ 50; КЧ 56; КЧ 60	≲241
129				КЧ 63	≲269
130	Высокопрочный	ВЧ 42; ВЧ 45		≲255	
131		ВЧ 60		≲280	
132	Белый	Перлитный и хромистый	HRC _в	37—46	
133				47—51	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ

Ковкость характеризует способность нагретой стальной заготовки принимать деформацию. Ковкостью обладают все инструментальные стали. Однако те из них, которые имеют более низкую ковкость, требуют больших усилий деформации или меньшей скорости и большего времени деформирования, поэтому при прочих равных условиях дают больший процент брака (трещины, волосовины и пр.). Ковкость зависит от состава стали, ее структуры и свойств при температурековки; среди этих свойств выделяют вязкость α и число n_c оборотов при скручивании до разрушения образца. Ковкость зависит также от вида обработки давлением. Таким образом, в общем виде ковкость различных марок ИМ можно охарактеризовать лишь ориентировочно. В порядке ухудшения ковкости инструментальные стали приблизительно располагаются следующим образом: ИМ (см. табл. 2.4) 1; 5; 6; 7; 10; 8; 9; 11; 11М5Ф; 23; 15; 14; 16; 17; 19; 20; 25; 26; 27; 18; 28; 24; 13; 21; 29; 34; 33; 35; 36; 30; 22.

Примером, когда ковкость играет важную роль при выборе марки ИМ, являются сверла, изготавливаемые прокаткой. Для этого пригодны марки Р6АМ5, Р6АМ5Ф3, Р6М5К5 (ИМ 16, 19, 20) и др. Марки с более низкой, чем у ИМ 20, ковкостью требуют проверки, а марки с более низкой ковкостью, чем ИМ 13, для проката не рекомендуются.

Обрабатываемость резанием чаще всего характеризуют коэффициентом k_v , показывающим отношение скорости резания при обработке данной стали к скорости резания при обработке стали 45. В среднем для быстрорежущих сталей $k_v = 0,6$. В значительной мере обрабатываемость резанием сталей зависит от твердости НВ, прочности σ_b и от истинного предела прочности S_K (в отожженном состоянии). Для марок Р18, Р12, Р9, Р6АМ5 НВ ≤ 255 ; для Р9К5, Р6М5К5, Р9К10, Р12Ф3 НВ ≤ 269 ; для Р9М4К8, Р12Ф2К8М3, Р18Ф2К8М НВ ≤ 285 .

Сходное расположение имеют марки и по параметрам σ_b и S_K . Наиболее низкой обрабатываемостью обладают марки ИМ (см. табл. 2.4): 21, 22, 24, 29, 30, поэтому при резании их приходится значительно уменьшать режимы. Однако обработка вполне осуществима, и снижение режимов играет более существенную роль в серийном и массовом производстве инструмента.

Дисперсионно-твердеющие стали (ИМ 35—37), в отличие от всех остальных, трудно обрабатывать быстрорежущим инструментом из-за их высокой твердости (HRC_с 32—37) в отожженном состоянии. Их следует обрабатывать инструментами из твердого сплава, эльбора или керамики.

Шлифуемость быстрорежущих сталей может характеризоваться как отношение n объема сошлифованной стали к объему изношенного круга. Проведенный анализ имеющихся теоретических и опытных данных показал, что шлифуемость сталей, полученных обычным металлургическим переделом, можно с достаточной для практики точностью для большинства марок определить по их химическому составу. Если принять для стали Р18 значение $n = 1$, то для других марок n находится в зависимости от K :

K . .	7,8—18	7,5—7,8	6—7,5	3,5—6	1,7—3,5	0,2—1,7
n . .	0,9—1,0	0,7—0,85	0,6—0,7	0,45—0,6	0,3—0,45	0,2—0,3

$$\text{где } K = \frac{W + 1,5 Mo}{C(V + Nb)^{1,36}}.$$

Здесь указано содержание элементов (в % по массе): W — вольфрам; Мо — молибдена; V — ванадия; Nb — ниобия; С — углерода.

Например, для стали Р6М5Ф3 при ее среднем (ГОСТ 19265—73) химическом составе (W = 6,2; Мо = 5,75; С = 1,0; V = 2,5; Nb = 0) $K = 4,264$ и $n = 0,5$, т. е. шлифуемость хуже, чем у стали Р18, в 2 раза.

В табл. 5.1 даны значения n шлифуемости, рассчитанные по предложенному способу, и полученные экспериментально. Марки

5.1. Шлифуемость быстрорежущих сталей

n	Марка сталей	
	по расчету	по экспериментальным данным
0,9—1,0 0,7—0,85	P18; 10P18; P2M5; P6M5K5 P12; 10P6M5; P6M5; P18Ф2	P18; P6M5K8Ф2; 10P18; P2M5 P6M5; P12; P0M6K8Ф2; P6M5K5; 11M5Ф; 10P6M5
0,45—0,6	P9Ф; P12Ф2K8M3; P9M4K8Ф; P6M5K8Ф2; P6M3; P9K10; 11M5Ф	P9Ф; P6M3; P9M4K8Ф; P9K10; P9
0,3—0,45	P9K5; P12Ф3; P0M6K8Ф2; P6M5Ф3; P9; 11P3AM3Ф2	P18Ф2; P9K5; P12Ф3; P12Ф2K8M3; P6M5Ф3; 11P3AM3Ф2
0,2—0,3	P8M3Ф4; P14Ф4; 65X6M3Ф3; P5M4Ф4; P3M3Ф2Б; P9Ф5; P12Ф5M	P8M3Ф4; P14Ф4; P3M3Ф2Б; P12Ф5M; P5M4Ф4; 65X6M3Ф3; P9Ф5

расположены в порядке убывания шлифуемости; химический состав взят тот же, что и в экспериментальных данных. Шлифуемость сталей, полученных электрошлаковым переплавом и особенно порошковых, увеличивается в 1,2—2 раза (по n).

Марки с низкой шлифуемостью, при n менее 0,4—0,6, не рекомендуются использовать для инструмента, изготавливаемого вышлифовкой корундовыми кругами. При большом объеме шлифовальных и заточных работ преимущества при прочих равных условиях имеют марки с более высокой шлифуемостью. Следует учитывать также, что марки с низкой шлифуемостью требуют не только большего числа проходов и увеличения трудоемкости изготовления и переточек инструмента, но имеют и большую вероятность получения прижогов и снижения стойкости инструмента. Для таких марок при изготовлении и переточке следует использовать эльборовые круги.

Устойчивость к перегреву характеризуется изменением структуры и свойств сталей при повышении температуры нагрева под закалку по сравнению с оптимальным интервалом закалочных температур. Например, при повышении температуры нагрева на 20°C уменьшается у стали Р12 на 18 %, у Р6М5 — на 25 %, у Р9М4К8 — на 16 % и т. д. Повышение температуры нагрева увеличивает красностойкость и твердость сталей, но вызывает рост зерна с 12—11-го до 10—9-го балла, а при дальнейшем перегреве — даже до 8—7-го балла, что недопустимо — это вызывает значительное уменьшение $\sigma_{\text{н}}$ и особенно ударной вязкости $a_{\text{н}}$, т. е. охрупчивает сталь. Вольфрамовые стали Р18, Р12, Р9 считаются достаточно устойчивыми к перегреву. Молибденовые стали Р6М5, Р6М5Ф3, Р6М5К5, 10Р6М5, 10Р6М5К5 более чувствительны к перегреву и требуют тщательного контроля и соблюдения интервала закалочных температур. Увеличение температуры закалки с 1230 до 1260°C вызывает снижение $\sigma_{\text{н}}$ у стали Р6М5 с 2900 до 1900 МПа, т. е. на 34 % [6]. Стали с повышенной красностойкостью — Р9М4К8, Р8М3К6С, Р12Ф2К8М3, Р18Ф2К8М — имеют пониженную прочность $\sigma_{\text{н}}$ и пониженную вязкость $a_{\text{н}}$, поэтому перегрев и еще большее снижение этих свойств для таких марок весьма нежелательны.

Опасность перегрева имеется в тех случаях, когда отсутствует автоматический контроль и регулировка температур нагрева, а также при осуществлении одновременного нагрева под закалку партии разных инструментов из различных марок сталей. В этих случаях при выборе марок ИМ следует отдавать предпочтение маркам с большей устойчивостью к перегреву либо исключать перегрев.

Устойчивость к обезуглероживанию зависит от свойства стали изменять в поверхностном слое мартенситную структуру на ферритную со сниженным содержанием углерода; при этом возникают внутренние растягивающие напряжения, которые могут в дальнейшем, например при шлифовании, вызвать трещины и сколы. Снижается и стойкость инструмента. Обезуглероживание зависит от химического состава стали и технологии нагрева при отжиге и закалке. Для снижения обезуглероживания при отжиге и закалке необходимы печи с защитной атмосферой; при нагреве под закалку в хлорбариевой ванне обезуглероживание предупреждается введением MgF_2 как раскислителя.

В быстрорежущих сталях обезуглероживанию способствует Mo, а также Co при их содержании свыше 3—3,5 % (Р6М5, Р6М5Ф3, Р6М5К5, Р9К5, Р9М4К8, Р12Ф2К8М3).

Карбидная неоднородность характеризует величину и форму скоплений карбидов и равномерность их распределения. Она оценивается баллом B по шкале от 1 до 8. С увеличением B снижается $\sigma_{\text{н}}$ и особенно вязкость $a_{\text{н}}$ и, как следствие, стойкость инструмента, особенно при динамических нагрузках. Величина B зависит от технологии изготовления стали (наличия проката,

ковки с осадкой и вытяжкой и др.), от размера прутка и химического состава стали. Ориентировочно, при прочих равных условиях, в порядке уменьшения B следуют марки: P18Ф2К8М, P18К5Ф2, P12Ф2К8М3, P12Ф4К5, P18, P12Ф3, P12, P9К10, P9М4К8, P8М3К6С, 10P6М5К5, P9К5, P6М5К5, 10P6АМ5, P6АМ5Ф3, P6АМ5, P8, 11М5Ф, В11М7К23, В3М12К23. В поковке стали В11М7К23 диаметром 50 мм $B = 2 \div 3$ по сравнению с $B = 4$ для сталей P18, P12.

Карбидный балл снижается примерно на единицу у сталей, полученных электрошлаковым переплавом (P6АМ5-Ш, P6АМ5Ф3-Ш). Порошковые стали (например, P6АМ5Ф3МП) имеют балл $B < 1$, поэтому они особенно ценны для инструментов крупных размеров.

Поскольку неоднородность B зависит от многих причин (технология, марка, размеры), то на практике, в случае увеличения балла B сверх допустимого (обычно 3—5), необходимо либо применять проковку заготовок сталей, либо менять марки ИМ, выбирая те, которым свойствен меньший балл B или более высокая прочность и вязкость. Это марки P6АМ5, P8М3, 10P6М5, P12, а из сталей с повышенной красностойкостью — P6АМ5Ф3, P12Ф3, P6М5К5, 10P6М5К5. Для инструментов крупных размеров (свыше 80—100 мм) эффективно использование порошковых сталей.

Другие технологические свойства — такие, как свариваемость, закаливаемость, прокаливаемость, деформируемость при термообработке, здесь не рассматриваем, поскольку на практике при выборе марок ИМ они учитываются в более редких случаях.

Отметим еще одну характеристику сталей, имеющую весьма важное практическое значение, но недостаточно четко сформулированную в литературе, нормативах и стандартах, — стабильность свойств. Стабильность, т. е. диапазон изменения свойств стали при соблюдении в заданных пределах ее химсостава и технологии изготовления, для различных марок может сильно колебаться. На практике это отражается на разбросе стойкости инструмента. Например, шлифуемость стали P18 при изменении ее химического состава (в допустимых стандартом пределах), как показали опыты и расчеты по приведенной выше методике (см. расчет n), может колебаться лишь на 17 %, в то время как для стали P6АМ5 изменение шлифуемости n может составлять 165 %, т. е. увеличивается почти в 10 раз. Пока, из-за недостаточности данных, эту характеристику сталей трудно учитывать при выборе марок ИМ, хотя в ряде случаев, например, при повышенных требованиях к надежности, стабильность имеет существенное значение.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ГРУППЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ (ИМ) ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ

Вид РИ	Тип РИ, кон- структивные осо- бенности	Экономические		Группа ИМ	Тип произ- водства		
		Точность (кавалитет)	Шерохо- ватость <i>Rz</i> , мкм		Массо- вые	Серий- ное	Едини- чное
Резцы проходные и расточные	С продольной подачей	6—12	80—1 40—1 80—0,4 10—0,4 80—1	Тв. сплав Керамика Композит Алмаз Б. р. ст.	+	+	+
					+	+	(+)
					+	+	(+)
					+	+	—
					—	—	+
Резцы фасонные	С радиальной подачей С танген- циальной подачей С продольной подачей	8—12	80—20 80—20 80—10 80—10 80—20 80—20	Тв. сплав * Б. р. ст. Тв. сплав * Б. р. ст. Тв. сплав * Б. р. ст.	+	+	—
					+	+	(+)
					+	+	—
					+	+	—
					+	+	(+)
Зенкеры	Стандартной конструкции С МНП	8—12	80—10	Б. р. ст. Тв. сплав Тв. сплав	+	+	+
					+	+	(+)
					+	+	—
Развертки	Стандартные	6—11	40—1,25	Б. р. ст. Тв. сплав	+	+	+
					+	+	(+)
Резцы резьбовые	Стандартные	Средняя и грубая		Б. р. ст. Тв. сплав	—	+	+
					+	+	(+)
Гребенки резьбовые	Стандартные	Средняя и грубая	40—5	Б. р. ст. Тв. сплав	+	+	—
					+	+	—
Фрезы резьбовые гребенчатые	Стандартные Внутреннего касания	Средняя	80—20 40—10	Б. р. ст.	+	+	—
					+	+	—

* Для резцов с неширокой режущей кромкой (до 15—25 мм) предпочтительно не-
сложной формы.

Вид РИ	Тип РИ, кон- структивные осо- бенности	Экономические		Группа ИМ	Тип произ- водства		
		Точность (кавалитет)	Шерохо- ватость Rz, мкм		Массо- вое	Серий- ное	Едини- чное
Плашки	Стандартные	Грубая	80—20	Б. р. ст.	—	—	+
Резьбо- нарезные головки	Стандартные	Средняя	40—5	Б. р. ст.	+	+	—
Метчики	Профиль смешанный	Средняя Грубая	80—10	Б. р. ст. Тв. сплав	++	++	(+)
Протяжки	С режущими и калибрую- щими зубьями То же		20—2,5	Б. р. ст.	+	+	(+)
				Тв. сплав	+	+	—
	С выглажива- ющими зубьями То же		7—11	Б. р. ст.	+	+	(+)
			10—0,32	Тв. сплав	+	+	—
Прошивки	С выглажива- ющими зубьями	7—11	10—0,16	Б. р. ст. Тв. сплав	++	++	+—
Фрезы	Торцовые стандартные То же	7—14	80—10	Тв. сплав	+	+	+
			80—10	Б. р. ст.	—	—	+
	Торцовые с зачистными зубьями		20—1,25	Тв. сплав Б. р. ст.	+—	+—	++
	Торцовые специальные		7—11	Композит Алмаз	++	++	—

Вид РИ	Тип РИ, конструктивные особенности	Экономические		Группа ИМ	Тип производства		
		Точность (квалитет)	Шероховатость R_z , мкм		Массовое	Серийное	Единичное
Фрезы	Цилиндрические концевые	7—14	80—2,5	Б. р. ст.	+	+	+
	То же		80—10	Тв. сплав	+	+	—
	Фасонные, угловые			Б. р. ст.	+	+	+
	То же			Тв. сплав	+	+	—
Сверла	Спиральные	10—14	80—10	Б. р. ст.	+	+	+
	То же	10—14	80—10	Тв. сплав	+	+	(+)
	Ружейные	7—14	40—2,5	То же	+	+	(+)
	Сверлильные головки (БТА и др.)	9—14	80—10	»	+	+	—
	Кольцевые	11—14	80—20	»	+	+	—
	С МНП	11—14	80—10	Тв. сплав	+	+	—
	Трубчатые	7—11	10—1,25	Алмаз	+	+	(+)
Червячные фрезы	Обычные и прогрессивные	10—6	80—5	Б. р. ст. Тв. сплав	+	+	+
					+	(+)	—
Долбяки	Стандартные	10—6	80—5	Б. р. ст. Тв. сплав	+	+	+
					+	—	—
Шеверы	Стандартные	7—6	10—2,5	Б. р. ст. Тв. сплав	+	+	—
					+	—	—
Дисковые абразивные круги	Метод обката	7—5	5—1,25	—	—	+	+
	Метод копирования	9—6	5—1,25		+	+	—
Червячные абразивные круги	Метод обката	8—5	5—1,25		+	+	—

Обозначения: Б. р. ст. — быстрорежущая сталь; тв. сплав — твердый сплав; «+» — используется при данном типе производства; «—» — не используется; «(+)» — используется в специальных случаях: из-за невозможности обработки другими инструментами или другими инструментальными материалами; при возможности использования данного инструмента в мелкосерийном или единичном производстве для обработки различных деталей, и в других случаях.

**П Р И Л О Ж Е Н И Е 4. ГРУППЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ
МАТЕРИАЛОВ (ИМ) ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ
МАТЕРИАЛОВ (ОМ)**

Инструмент	Код ОМ (прил. 1)	ИМ
Резцы токарные (проходные, расточные)	1—76, 79—82, 86—87, 92—133 1—49, 51—74, 79—81, 86, 92—122, 124—131 10—19, 41—91, 124—133 3—16, 25, 73—78, 80—91, 121—133 1—40, 117—120	Тв. сплав Б. р. ст. Минералокерамика Композит Алмаз
Сверла спиральные	1—19, 20, 22, 26—33, 39—41, 71—72, 92—96, 101—112, 117—119, 124—131 3—4, 10—11, 14, 21, 23—25, 34—38, 46, 48—50, 55, 59—60, 63, 67—71, 72—91, 97— 100, 111—116, 119—123	Б. р. ст. Тв. сплав
Развертки	1—49, 51—72, 79, 92—96, 101—113, 117— 120, 124—129 10—11, 14, 16, 21, 23—25, 34—38, 42—50, 52—77, 79—82, 86—87, 98—100, 114—116, 121—123, 124—133	Б. р. ст. Тв. сплав
Фрезы торцовые	2—5, 6—16, 20—25, 27—40, 41—76, 79—82, 86, 92—108, 110—133 1—10, 12—19, 20, 22, 26—33, 39—40, 41—45, 51—53, 56, 58, 61—62, 64—67, 70—75, 79— 81, 86, 92—96, 106—107, 109—113, 117—119, 124—131 3—16, 73—78, 80—91, 121, 133	Тв. сплав Б. р. ст. Композит
Фрезы концевые	1—49, 51—74, 79, 80, 92—120, 124—131 3—5, 8—11, 14, 16, 21, 23—25, 34—38, 46, 48—50, 55, 59—60, 63, 68—71, 72—104, 117— 133	Б. р. ст. Тв. сплав
Резцы резьбовые	1—73, 79—80, 92—98, 101—113, 117—120 3—4, 8—11, 13—16, 21, 23—25, 34—38, 41— 71, 72—76, 79, 82, 86, 92—133	Б. р. ст. Тв. сплав
Метчики	1—49, 51—79, 92—121, 124—131 10—11, 35—37, 49, 50, 55, 63, 68, 69, 71—91, 97—100, 104, 110—116, 121—133	Б. р. ст. Тв. сплав
Фрезы червячные (для эвольвент- ных и других цилиндриче- ских колес; для червячных колес)	7—16, 25, 26, 29, 33, 38, 39, 52—56, 58—63, 65, 66, (72, 73, 79, 80) *, 92, 95, 96, 101, 105 124—126 9—11, 14—16, 25, 38, 53—56, 58—63, 65, 66, 72—77, 79—84, 92, 95, 96, 101, 105, 124—126	Б. р. ст. Тв. сплав

* При отсутствии необходимого твердосплавного инструмента или при заниженных скоростях резания.

Обозначения: Б. р. ст. — быстрорежущая сталь; тв. сплав — твердый сплав.

**П Р И Л О Ж Е Н И Е 5. ВЫБОР МАРОК ИМ
(СТАЛЕЙ) ДЛЯ РАЗВЕРТОК**

Условия		ИМ (см. табл. 2.4)											
		6	8	14	16	17	18	19	21	24	25	27	29
Код ОМ (прил. 1) (u_1)	1—9, 12—19	+	+	+	+	(+)	(+)	(+)	—	—	+	—	—
	10—11	+	+	+	+	+	+	+	—	—	+	—	—
	41—44, 51—53,	+	+	+	+	+	+	+	—	—	+	—	—
	56, 62, 64, 65												
	45—49, 54—55,	(+)	(+)	+	+	+	+	+	(+)	—	+	(+)	—
	57—61, 63, 66—71												
	72—75, 79—81,	—	—	(+)	(+)	+	(+)	+	+	+	+	+	+
	86—87, 50												
	92—93	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	—	+	—	—
	94—97	—	—	(+)	(+)	+	+	+	+	+	(+)	+	+
	98—100	—	—	—	(+)	+	+	+	+	+	—	+	+
	101—105	—	—	(+)	(+)	+	+	+	+	+	(+)	+	+
	106—109	—	—	—	(+)	+	+	+	+	+	(+)	+	+
	110—112	—	—	—	—	(+)	(+)	(+)	+	+	—	+	+
	113—114	—	—	—	—	—	—	—	(+)	(+)	—	(+)	(+)
	117—118	—	—	(+)	(+)	+	+	+	+	+	(+)	+	+
	119—120	—	—	—	—	(+)	(+)	(+)	(+)	+	—	+	+
	124, 127, 128	+	+	+	+	(+)	(+)	(+)	(+)	—	+	—	—
	125, 129, 130	—	(+)	+	+	+	+	+	(+)	—	+	—	—
	132—133	—	—	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+	(+)	+	+
Корка (u_2)	Есть	—	—	(+)	(+)	+	+	+	+	+	(+)	+	+
	Нет	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
v (u_3)	Пони- женная	+	+	+	+	+	(+)	+	—	(+)	+	(+)	—
	Норма- тивная	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Тип про- изводства (u_7)	Единиц- ное	+	+	+	+	(+)	(+)	(+)	—	—	(+)	—	—
	Серийное и массо- вое	—	—	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Надеж- ность (u_9)	Средняя	(+)	(+)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Повы- шенная	—	—	+	+	+	+	+	(+)	(+)	+	(+)	(+)
Изготов- ление (u_1)	Резание	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Вышли- фовывание	—	—	+	+	—	—	—	—	—	+	(+)	(+)
	Деформа- ция	+	+	+	+	+	(+)	+	(+)	(+)	+	(+)	—

Условия		ИМ (см. табл. 2.4)											
		6	8	14	16	17	18	19	21	24	25	27	29
Возможность перегрева	Есть Нет	— +	+	+	—	+	+	—	—	+	—	—	—
Возможность обезуглероживания	Есть Нет	— +	— +	+	—	+	(+) +	— +	— +	(+) +	— +	— +	— +
$D (\mu_{11})$	До 5 5—50 Св. 50 *	(+) + —	+	+	+	+	(+) + (+)	+	(+) + (+)	+	+	(+) + (+)	(+) + —

* Для цельных разверток; для сборных ограничений нет.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6. ВЫБОР МАРОК ИМ (ТВЕРДОГО СПЛАВА) ДЛЯ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ

Код ОМ (прил. 1)	ИМ (табл. 2.4)											
	40	41	42	44	46	50	51	52	54	55	56	57
1—9; 12—19	+	+	+	+	—	—	—	—	—	+	—	—
10—11	+	+	+	+	+	—	—	—	—	+	—	—
20—40	+	+	—	+	—	—	—	—	—	+	—	—
41—44; 51—53; 56;	—	—	—	—	—	+	+	+	+	—	—	+
62; 64; 65	—	—	—	—	—	+	+	+	+	—	+	—
45—49; 54—55;	—	—	—	—	—	+	+	+	+	—	+	—
57—61; 63; 66—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
71	—	—	+	+	—	+	—	—	—	—	—	—
92—94	—	—	+	+	—	+	—	—	—	—	—	—
95—97	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
98	—	—	—	—	—	+	—	—	—	—	—	—
99—100	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
101—104	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
109	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
110—112 *	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
113—114	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
115—116	—	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
117—120	+	—	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
121	—	—	+	—	—	+	—	—	—	—	—	—
122—123 ***	—	—	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—
124; 127	+	+	—	+	—	—	—	—	—	+	—	+
125; 128—130	+	+	+	+	+	—	—	—	—	+	—	—
126; 131—133	+	+	+	—	+	—	—	—	—	+	—	—

* При $t \leq 3$ мм и ширине фрезерования $B \leq 50$; при $t > 3$ — быстрорежущая сталь.

** При фрезеровании по корке; для фрезерования слябов из ВТ-0 более эффективна (при $t \leq 6+8$ мм) марка ВК10КС.

*** Используется также Т30К4 и ВКЗМ.

**П Р И Л О Ж Е Н И Е 7. ЧИСЛЕННЫЕ СООТНОШЕНИЯ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТОВ, °**

φ_1	$\varphi_{\text{поп}}$	λ_1	φ_0	$\varphi_{\text{прод}}$	φ_2	$\varphi_{\text{н. с}}$
90	0	0	0	0	0	0
		5	0	-5	-5	0
		10	0	-10	-10	0
		20	0	-20	-20	0
		30	0	-30	-30	0
		-5	0	5	5	0
		-10	0	10	10	0
		-20	0	20	20	0
		-30	0	30	30	0
	15	0	15	0	0	15
		5	15	-5	-4,8	14,9
		10	15	-10	-9,7	14,8
		20	15	-20	-19,4	14,1
		30	15	-30	-29,1	13,1
		-5	15	5	4,8	14,9
		-10	15	10	9,7	14,8
		-20	15	20	19,4	14,1
		-30	15	30	29,1	13,1
	25	0	25	0	0	25
		5	25	-5	-4,5	24,9
		10	25	-10	-9,1	24,7
		20	25	-20	-18,3	23,7
		30	25	-30	-27,6	22,0
		-5	25	5	4,5	24,9
		-10	25	10	9,1	24,7
		-20	25	20	18,3	23,7
		-30	25	30	27,6	22,0
	30	0	30	0	0	30
		5	30	-5	-4,3	29,9
		10	30	-10	-8,7	29,6
		20	30	-20	-17,5	28,5
		30	30	-30	-26,6	26,6
		-5	30	5	4,3	29,9
		-10	30	10	8,7	29,6
		-20	30	20	17,5	28,5
		-30	30	30	26,6	26,6
	45	0	45	0	0	45
		5	45	-5	-3,5	44,9
		10	45	-10	-7,1	44,6
		20	45	-20	-14,4	43,2
		30	45	-30	-22,2	40,9
		-5	45	5	3,5	44,9
		-10	45	10	7,4	44,6
		-20	45	20	14,4	43,2
		-30	45	30	22,2	40,9

φ_1	$\gamma_{\text{пол}}$	λ_1	γ_c	$\gamma_{\text{прод}}$	γ_2	$\gamma_{\text{н. с}}$
90	-15	0	-15	0	0	-15
		5	-15	-5	-4,8	-14,9
		10	-15	-10	-9,7	-14,8
		20	-15	-20	-19,4	-14,1
		30	-15	-30	-29,1	-13,1
		-5	-15	5	4,8	-14,9
		-10	-15	10	9,7	-14,8
		-20	-15	20	19,4	-14,1
		-30	-15	30	29,1	-13,1
	-25	0	-25	0	0	-25
		5	-25	-5	-4,5	-24,9
		10	-25	-10	-9,1	-24,7
		20	-25	-20	-18,3	-23,7
		30	-25	-30	-27,6	-22,0
		-5	-25	5	4,5	-24,9
		-10	-25	10	9,1	-24,7
		-20	-25	20	18,3	-23,7
		-30	-25	30	27,6	-21,0
	-30	0	-30	0	0	-30
		5	-30	-5	-4,3	-29,9
		10	-30	-10	-8,7	-29,6
		20	-30	-20	-17,5	-28,5
		30	-30	-30	-26,6	-26,6
		-5	-30	5	4,3	-29,9
		-10	-30	10	8,7	-29,6
		-20	-30	20	17,5	-28,5
		-30	-30	30	26,6	-26
	-45	0	-45	0	0	-45
		5	-45	-5	-3,5	-44,9
		10	-45	-10	-7,1	-44,6
		20	-45	-20	-14,4	-43,2
		30	-45	-30	-22,2	-40,9
		-5	-45	5	3,5	-44,9
		-10	-45	10	7,1	-44,6
		-20	-45	20	14,4	-43,2
		-30	-45	30	22,2	-40,9
70	0	0	0	0	0	0
		5	-1,7	-5,0	-5	-1,7
		10	-3,5	-10	-10	-3,4
		20	-7,5	-20	-20	-7,1
		30	-12,6	-30	-30	-11,2
		-5	1,7	5,0	5,0	1,7
		-10	3,5	10	10	3,4
		-20	7,5	20	20	7,1
		-30	12,6	30	30	11,2

Φ_1	$V_{\text{поп}}$	λ_1	V_c	$V_{\text{прод}}$	V_s	$V_{\text{н. с}}$
70	15	0	15,9	5,6	5,4	15,9
		5	14,3	0,6	0,6	14,3
		10	12,7	-4,4	-4,3	12,5
		20	8,0	-14,6	-14,1	8,4
		30	3,8	-24,9	-24,2	3,4
		-5	17,5	10,5	10,2	17,4
		-10	19,1	15,4	14,9	18,9
		-20	22,7	25,1	24,3	21,6
		-30	27,2	34,6	33,7	24,4
	25	0	26,4	9,6	8,7	26,4
		5	25,0	4,7	4,3	24,9
		10	23,6	-0,2	-0,2	23,3
		20	20,2	-10,4	-9,4	19,2
		30	15,7	-20,9	-19,1	14,0
		-5	27,8	14,5	13,1	27,7
		-10	29,2	19,2	17,5	28,9
		-20	32,3	28,6	26,3	30,9
		-30	36,1	37,7	35,0	32,8
	30	0	31,6	11,9	10,3	31,6
		5	30,3	7,0	6,1	30,2
		10	29,0	2,1	1,8	28,7
		20	26,0	-8,0	-6,9	24,8
		30	21,9	-18,5	-16,2	19,6
		-5	32,8	16,6	14,5	32,7
		-10	34,1	21,3	18,7	33,7
		-20	36,9	30,4	27,0	35,4
		-30	40,4	39,3	35,4	36,9
	45	0	46,8	20	14,4	46,8
		5	46,0	15,5	11,1	45,9
		10	45,1	10,9	7,8	44,8
		20	43,3	1,3	0,9	41,7
		30	40,7	-8,9	-6,3	37,2
		-5	47,6	24,4	17,8	47,5
		-10	48,4	28,6	21,1	48,0
		-20	50,3	36,9	28,0	48,7
		-30	52,6	44,9	35,2	49,1
	-15	0	-15,9	-5,6	-5,4	-15,9
		5	-17,5	-10,5	-10,1	-17,4
		10	-19,1	-15,4	-14,9	-18,9
		20	-22,7	-25,1	-24,3	-21,63
		30	-27,2	-34,6	-33,7	-27,42
		-5	-14,3	-0,6	-0,6	-14,27
		-10	-12,7	4,4	4,3	-12,49
		-20	-8,9	14,6	14,1	-8,40
		-30	-3,8	24,9	24,2	-3,38

φ_2	$\gamma_{\text{поп}}$	λ_2	γ_c	$\gamma_{\text{прод}}$	γ_2	$\gamma_{\text{н. с}}$
70	-25	0	-26,4	-9,6	-8,7	-26,4
		5	-27,8	-14,5	-13,1	-27,7
		10	-29,2	-19,2	-17,5	-28,9
		20	-32,3	-28,6	-26,3	-30,9
		30	-36,1	-37,7	-35,0	-32,8
		-5	-25,0	-4,7	-4,3	-24,9
		-10	-23,6	0,2	0,2	-23,3
		-20	-20,2	10,4	9,4	-19,2
		-30	-15,8	20,9	19,1	-14,0
	-30	0	-31,6	-11,9	-10,3	-31,6
		5	-32,8	-16,6	-14,5	-32,7
		10	-34,1	-21,3	-18,7	-33,7
		20	-36,9	-30,4	-27,0	-35,4
		30	-40,4	-39,3	-35,4	-36,9
		-5	-30,3	-7,0	-6,1	-30,2
		-10	-29,0	-2,1	-1,8	-28,7
		-20	-26,0	8,0	6,9	-24,8
		-30	-21,9	18,5	16,2	-19,6
	-45	0	-46,8	-20	-14,4	-46,8
		5	-46,6	-24,4	-17,8	-47,5
		10	-48,4	-28,6	-21,1	-48,0
		20	-50,3	-36,9	-28,0	-48,7
		30	-52,6	-44,9	-35,2	-49,1
		-5	-46,0	-15,5	-11,1	-45,9
		-10	-45,1	-10,9	-7,8	-44,8
		-20	-43,3	-1,3	-0,9	-41,7
		-30	-40,7	8,9	6,3	-37,2
60	0	0	0	0	0	0
		5	-2,5	-5	-5	-2,5
		10	-5,1	-10	-10	-5,04
		20	-10,8	-20	-20	-10,3
		30	-17,8	-30	-30	-16,1
		-5	2,5	5	5	2,50
		-10	5,1	10	10	5,04
		-20	10,8	20	20	10,3
		-30	17,8	30	30	16,1
	15	0	17,2	8,8	8,5	17,2
		5	14,9	3,9	3,7	14,8
		10	12,5	-1,1	-1,1	12,3
		20	7,1	-11,3	-10,9	6,7
		30	0,10	-21,7	-21,1	0,09
		-5	19,5	13,7	13,2	19,4
		-10	21,8	18,4	17,8	21,6
		-20	26,8	27,9	27,0	25,7
		-30	32,7	37,1	36,1	30,1

Φ_1	$V_{\text{ном}}$	λ_1	V_0	$V_{\text{прод}}$	V_0	$V_{\text{н. с}}$
60	25	0	28,3	15,1	13,7	28,3
		5	26,3	10,4	9,4	26,7
		10	24,3	5,5	5,0	24,0
		20	19,6	-4,4	-4,0	18,8
		30	13,5	-14,9	-13,6	12,22
		-5	30,2	16,7	18,0	30,2
		-10	32,2	24,2	22,2	31,9
		-20	36,4	33,0	30,5	35,2
		-30	41,4	41,6	38,8	38,4
	30	0	33,7	18,4	16,1	33,7
		5	31,9	13,9	12,1	31,9
		10	30,1	9,2	8,0	29,8
		20	26,0	-0,53	-0,46	24,9
		30	20,5	-10,9	-9,5	18,6
		-5	35,4	22,9	20,1	35,3
		-10	37,2	27,2	24,0	36,9
		-20	41,0	35,7	31,9	38,7
		-30	45,4	43,9	39,8	42,4
	45	0	49,1	30	22,2	49,1
		5	48,0	26,2	19,2	48,0
		10	49,9	22,3	16,2	46,6
		20	44,5	14,1	10,0	43,2
		30	41,4	5,1	3,6	38,5
		5	50,2	33,7	25,2	50,1
		-10	51,3	37,3	28,3	51,0
		-20	53,8	44,4	34,7	52,5
		-30	56,7	51,2	41,3	53,9
	-15	0	-17,2	-8,8	-8,5	-17,2
		5	-19,5	-13,6	-13,2	-19,4
		10	-21,8	-18,4	-17,8	-21,6
		20	-26,8	-27,9	-27,0	-25,8
		30	-32,7	-37,1	-36,1	-30,1
		-5	-14,9	-3,9	-3,7	-14,8
		-10	-12,5	1,1	1,1	-12,3
		-20	-7,1	11,3	10,9	-6,7
		-30	-0,1	21,7	21,1	-0,09
	-25	0	-28,3	-15,1	-13,7	-28,3
		5	-30,2	-19,7	-18,0	-30,2
		10	-32,2	-24,2	-22,2	-31,9
		20	-36,4	-33,0	-30,5	-35,2
		30	-41,4	-41,6	-38,8	-38,4
		-5	-26,3	-10,4	-9,4	-26,3
		-10	-24,3	-5,5	-5,0	-24,0
		-20	-19,6	4,4	4,0	-18,8
		-30	-13,5	14,9	13,6	-12,2

Φ_1	$V_{\text{поп}}$	λ_1	V_c	$V_{\text{прод}}$	V_s	$V_{\text{н. с}}$
60	-30	0	-33,7	-18,4	-16,1	-33,7
		5	-35,4	-22,9	-20,1	-35,3
		10	-37,2	-27,2	-24,0	-36,9
		20	-41,0	-35,7	-31,9	-39,7
		30	-45,4	-43,9	-39,8	-42,4
		-5	-31,9	-13,9	-12,1	-31,9
		-10	-30,1	-9,2	-8,0	-29,8
		-20	-26,0	0,53	0,5	-24,9
		-30	-20,5	10,9	9,5	-18,6
	-45	0	-49,1	-30	-22,2	-49,1
		5	-50,2	-33,7	-25,3	-50,1
		10	-51,3	-37,3	-28,3	-51,0
		20	-53,8	-44,4	-34,7	-52,5
		30	-56,7	-51,2	-41,3	-53,9
		-5	-48,0	-26,2	-19,2	-47,9
		-10	-46,9	-22,3	-16,2	-46,6
		-20	-44,5	-14,1	-10,0	-43,2
		-30	-41,4	-5,1	-3,6	-38,5
45	0	0	0	0	0	0
		5	3,60	-5,0	-5,0	-3,5
		10	-7,2	-10	-10	-7,1
		20	-14,9	-20	-20	-14,4
		30	-23,6	-30	-30	-22,2
		-5	3,6	5	5	3,5
		-10	7,2	10	10	7,1
		-20	14,9	20	20	14,4
		-30	23,6	30	30	22,2
	15	0	20,8	15,0	14,5	20,7
		5	17,6	10,3	9,9	17,6
		10	14,4	5,5	5,3	14,3
		20	7,2	-4,5	-4,3	7,0
		30	-1,6	-15,0	-14,5	-1,4
		-5	23,8	19,6	19,0	23,8
		-10	26,9	24,2	23,4	26,7
		-20	33,3	33,0	32,1	32,5
		-30	40,2	41,6	40,6	38,3
	25	0	33,4	25,0	22,9	33,4
		5	30,9	20,8	19,0	30,9
		10	28,3	16,6	15,1	28,1
		20	22,6	7,5	6,8	22,0
		30	15,4	-2,2	-2,0	14,5
		-5	35,9	29,1	26,7	35,8
		-10	38,3	33,0	30,5	38,1
		-20	43,4	40,7	37,9	42,6
		-30	49,0	48,1	45,3	47,1

Φ_1	$\nu_{\text{поп}}$	λ_1	ν_c	$\nu_{\text{прод}}$	ν_1	$\nu_{\text{н. с}}$
45	30	0	39,2	30	26,6	39,2
		5	37,0	26,2	23,1	37,0
		10	34,8	22,3	19,6	34,7
		20	30,0	14,1	12,2	29,3
		30	24,0	5,1	4,4	22,6
		—5	41,3	33,7	30,0	41,3
		—10	43,4	37,3	33,4	43,3
		—20	47,9	44,4	40,3	47,1
		—30	52,8	51,2	47,1	51,0
	45	0	54,7	45,0	35,3	54,7
		5	53,5	42,5	32,9	53,5
		10	52,4	40,0	30,7	52,2
		20	50,0	35,0	26,3	49,2
		30	47,4	30,0	22,2	45,6
		—5	55,9	47,5	37,7	55,9
		—10	57,1	50,0	40,1	57,0
		—20	59,9	55,0	45,3	59,1
		—30	63,0	60,0	50,8	61,4
	—15	0	—20,7	—15,0	—14,5	—20,8
		5	—23,8	—19,6	—19,0	—23,8
		10	—26,9	—24,1	—23,4	—26,7
		20	—33,2	—33,0	—32,1	—32,5
		30	—40,2	—41,6	—40,6	—38,3
		—5	—17,6	—10,3	—9,9	—17,6
		—10	—14,3	—5,5	—5,3	—14,3
		—20	—7,18	4,5	4,3	—7,0
		—30	1,55	15,0	14,5	1,4
	—25	0	—33,4	—25,0	—22,9	—33,4
		5	—35,9	—29,1	—26,7	—35,8
		10	—38,3	—33,0	—30,5	—38,1
		20	—43,4	—40,7	—37,9	—42,6
		30	—49,0	—48,1	—45,3	—47,1
		—5	—30,9	—20,8	—19,0	—30,9
		—10	—28,3	—16,6	—15,1	—28,1
		—20	—22,6	—7,5	—6,8	—22,0
		—30	—15,4	2,2	2,0	—14,5
	—30	0	—39,2	—30	—26,6	—39,2
		5	—41,4	—33,7	—30	—41,3
		10	—43,5	—37,3	—33,4	—43,3
		20	—47,9	—44,4	—40,3	—47,1
		30	—52,8	—51,2	—47,1	—51,0
		—5	—37,1	—26,2	—23,1	—37,0
		—10	—34,9	—22,3	—19,6	—34,7
		—20	—30,0	—14,1	—12,2	—29,3
		—30	—24,0	—5,1	—4,4	—22,6

φ_k	$\gamma_{пок}$	λ_k	γ_c	$\gamma_{прод}$	γ_n	$\gamma_{н.с}$
45	—45	0	—54,7	—45	—35,3	—54,7
		5	—55,9	—47,5	—37,7	—55,9
		10	—57,2	—50,0	—40,1	—57,0
		20	—55,9	—55,0	—45,3	—59,2
		30	—63,0	—60,0	—50,8	—61,4
		—5	—53,6	—42,5	—32,9	—53,5
		—10	—52,4	—40,0	—30,7	—52,2
		—20	—50,1	—35,0	—26,3	—49,2
		—30	—47,5	—30,0	—22,2	—45,6
30	0	0	0	0	0	0
		5	—4,3	—5	—5	—4,33
		10	—8,7	—10	—10	—8,7
		20	—17,7	—20	—20	—17,5
		30	—27,3	—30	—30	—26,6
		—5	4,3	5	5	4,3
		—10	8,7	10	10	8,7
		—20	17,7	20	20	17,5
		—30	27,3	30	30	26,6
	15	0	28,2	24,9	24,1	28,2
		5	24,8	20,7	20,1	24,8
		10	21,2	16,4	15,9	21,2
		20	13,6	7,4	7,15	13,4
		30	4,7	—2,4	—2,3	4,6
		—5	31,5	29,0	28,1	31,5
		—10	34,8	32,9	32,0	34,7
		—20	41,4	40,6	39,7	41,0
		—30	48,1	48,1	47,1	47,2
	25	0	43,0	38,9	36,2	43,0
		5	40,7	35,9	33,2	40,7
		10	38,3	32,8	30,3	38,2
		20	33,3	26,4	24,2	33,0
		30	27,8	19,6	17,9	27,0
		—5	45,3	41,9	39,2	45,3
		—10	47,6	44,9	42,0	47,5
		—20	52,4	50,7	47,9	52,0
		—30	57,3	56,5	53,8	56,5
	30	0	49,1	45,0	40,9	49,1
		5	47,3	42,5	38,4	47,2
		10	45,4	40,0	36,0	45,3
		20	41,7	35,0	31,2	41,3
		30	37,8	30,0	26,6	36,9
		—5	51,0	47,5	43,4	51,0
		—10	52,9	50,0	45,9	52,8
		—20	56,8	55,0	51,0	56,4
		—30	61,0	60,0	56,3	60,3

Φ_2	$\gamma_{\text{поп}}$	λ_1	γ_c	$\gamma_{\text{прод}}$	γ_e	$\gamma_{\text{н. с}}$
30	45	0	63,4	60,0	50,8	63,4
		5	62,6	58,8	49,4	62,6
		10	61,9	57,7	48,2	61,8
		20	60,6	55,9	46,3	60,3
		30	59,8	54,9	45,2	59,1
		—5	64,3	61,3	52,3	64,3
		—10	65,3	62,7	53,8	65,2
		—20	67,5	65,6	57,2	67,2
		—30	70,0	68,8	61,2	69,4
	—15	0	—28,2	—24,9	—24,1	—28,2
		5	—31,5	—29,0	—28,1	—31,5
		10	—34,8	—32,9	—32,0	—34,7
		20	—41,4	—40,6	—39,6	—41,0
		30	—48,1	—48,1	—47,1	—47,2
		—5	—24,8	—20,7	—20,1	—24,8
		—10	—21,2	—16,4	—15,9	—21,2
		—20	—13,6	—7,4	—7,1	—13,4
		—30	—4,7	2,4	2,3	—4,6
	—25	0	—43,0	—38,9	—36,2	—43,0
		5	—45,3	—41,9	—39,1	—45,3
		10	—47,6	—44,9	—42,1	—47,5
		20	—52,4	—50,7	—48,0	—52,0
		30	—57,3	—56,5	—53,8	—56,5
		—5	—40,7	—35,9	—33,2	—40,6
		—10	—38,3	—32,8	—30,3	—38,2
		—20	—33,3	—26,4	—24,3	—32,9
		—30	—27,8	—19,6	—17,9	—27,0
	—30	0	—49,1	—45,0	—40,9	—49,1
		5	—51,0	—47,5	—43,4	—50,9
		10	—52,9	—50,0	—45,9	—52,8
		20	—56,8	—55,0	—51,0	—56,4
		30	—61,0	—60,0	—56,3	—60,3
		—5	—47,3	—42,5	—38,4	—47,2
		—10	—45,4	—40,0	—36,0	—45,3
		—20	—41,7	—35,0	—31,2	—41,3
		—30	—37,8	—30,0	—26,6	—36,9
	—45	0	—63,4	—60,0	—50,8	—63,4
		5	—64,3	—61,3	—52,5	—64,3
		10	—65,3	—62,7	—53,8	—65,2
		20	—67,5	—62,6	—57,3	—67,2
		30	—70,0	—68,8	—61,2	—69,4
		—5	—62,6	—58,0	—49,4	—62,6
		—10	—61,9	—57,7	—48,2	—61,8
		—20	—60,6	—55,9	—41,3	—60,3
		—30	—59,8	—54,9	—45,9	—59,0

ПРИЛОЖЕНИЕ 8. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ ПРОФИЛЯ ФАСОННЫХ РЕЗЦОВ

Расчеты профиля приведенных ниже резцов выполнялись на ЭВМ по алгоритму (2.55)—(2.63) (п. 2.4.2.8; см. рис. 2.41). Исходные данные, необходимые для расчета, даны в соответствии со с. 110

Пример 1. Радиальный дисковый резец с установкой базовой точки I выше линии центров ($e \neq 0$).

Исходные данные: $a = p = q = 0$; $R_1 = 50$ мм; $\alpha = 16,3^\circ$; $\gamma = 5,7^\circ$; $\lambda = \sigma = 0$; $e = 1,5$ мм; $h = 15,53$ мм [рассчитано из (2.54)]; $\vartheta = \mu = 0$; $k = 6$ (количество узловых точек); $t_{14} = 0$; $r_1 = r_4 = 20$ мм; $r_2 = r_3 = r_5 = r_6 = 28$ мм; $z_{01} = 0$; $z_{02} = -10$; $z_{03} = -15$; $z_{04} = 6$; $z_{05} = 16$; $z_{06} = 20$; $\theta_{01} = \theta_{02} = \dots = \theta_{06} = 0$.

Результаты расчета (координаты $X_p Z_p$ профиля резца, см., например, рис. 2.34): $X_{p1} = X_{p4} = 0$; $X_{p2} = X_{p3} = X_{p5} = X_{p6} = 7,3906$ мм; $Z_{p1} = 0$; $Z_{p2} = -10$ мм; $Z_{p3} = -15$ мм; $Z_{p4} = 6$ мм; $Z_{p5} = 16$ мм; $Z_{p6} = 20$ мм.

Пример 2. Радиальный дисковый резец с наклонной передней поверхностью ($\lambda \neq 0$).

Исходные данные: $a = p = q = 0$; $R_1 = 60$ мм; $\alpha = 12^\circ$; $\gamma = 15^\circ$; $\lambda = -6,1176^\circ$ (направление наклона — как на рис. 2.40); $\sigma = 0$; $h = 12,475$ мм; $e = 0$; $\mu = \vartheta = 0$; $k = 4$; $t_{14} = 0$; $r_1 = r_2 = 20$ мм; $r_3 = r_4 = 28$ мм; $z_{01} = 0$; $z_{02} = -20$ мм; $z_{03} = -35$ мм; $z_{04} = 10$ мм; $\theta_{01} = \theta_{02} = \dots = \theta_{04} = 0$.

Результаты расчета: $X_{p1} = 0$; $X_{p2} = 7,7987$ мм; $X_{p3} = 8,1161$ мм; $X_{p4} = -0,2579$ мм; $Z_{p1} = 0$; $Z_{p2} = -20$ мм; $Z_{p3} = -35$ мм; $Z_{p4} = 10$ мм.

Пример 3. Радиальный призматический резец с разворотом на угол ϑ (см. рис. 2.38).

Исходные данные: $a = p = q = 0$; $R_1 = 0$ (так как резец призматический); $\alpha = 12^\circ$; $\gamma = 15^\circ$; $\lambda = \sigma = 0$; $h = e = 0$; $\vartheta = -15^\circ$; $\mu = 0$; $k = 5$; $r_1 = 22$ мм; $r_2 = r_3 = r_4 = r_5 = 30$ мм; $z_{01} = 0$; $z_{02} = 15$ мм; $z_{03} = 20$ мм; $z_{04} = 0$; $z_{05} = -5$ мм; $\theta_{01} = \theta_{02} = \dots = \theta_{05} = 0$.

Результаты расчета: $x_{N1} = 0$; $x_{N2} = 10,5689$ мм; $x_{N3} = 11,730$ мм; $x_{N4} = 7,0654$ мм; $x_{N5} = 5,8908$ мм; $z_{N1} = 0$; $z_{N2} = 12,4591$ мм; $z_{N3} = 17,2982$ мм; $z_{N4} = -2,0524$ мм; $z_{N5} = -6,8875$ мм.

Пример 4. Тангенциальный призматический резец (см. рис. 2.36).

Исходные данные: $a = p = 0$; $q \neq 0$; $R_1 = 0$; $\alpha = 20^\circ$; $\gamma = 5^\circ$; $\lambda = 20,070^\circ$ ($\lambda' = 20^\circ$); $\sigma = 0$; $h = e = 0$; $\mu = \vartheta = 0$; $k = 5$; $r_1 = 28,5$ мм; $r_2 = r_3 = r_4 = r_5 = 30$ мм; $z_{01} = 0$; $z_{02} = 12$ мм; $z_{03} = 17$ мм; $z_{04} = -12$ мм; $z_{05} = -17$ мм; $\theta_{01} = \theta_{02} = \dots = \theta_{05} = 0$.

Результаты расчета: $x_{N1} = 0$; $x_{N2} = 2,8642$ мм; $x_{N3} = 3,4889$ мм; $x_{N4} = -0,1349$ мм; $x_{N5} = -0,7597$ мм; $z_{N1} = 0$; $z_{N2} = 12$ мм; $z_{N3} = 17$ мм; $z_{N4} = -12$ мм; $z_{N5} = -17$ мм.

Пример 5. Резец для затылования специальной червячной фрезы. Фреза (см. рис. 2.37) имеет винтовые стружечные канавки и нулевой передний угол; ее профиль задан в осевой плоскости xz . Резец имеет стержневую форму и передний угол $\gamma \neq 0$ (отличается по γ , σ и μ от показанного на рис. 2.37). Резец развернут на угол μ вокруг оси x (см. рис. 2.39). Расчет дан для одной стороны профиля фрезы (правой по зубу). Исходные данные: $a = 10$ мм; $p = 10$ мм [рассчитываются по (2.65)]; $q = 0$; $R_1 = 0$; $\alpha = 20^\circ$; $\gamma = 9,9^\circ$; $\lambda = \sigma = 0$; $h = e = 0$; $\vartheta = 0$; $\mu = 8^\circ$; $k = 2$; $r_1 = 40$ мм; $r_2 = 49,5423$ мм; $z_{01} = 0$; $z_{02} = 6,52637$ мм.

Результаты расчета: $x_{N1} = 0$; $x_{N2} = 8,7997$ мм; $z_{N1} = 0$; $z_{N2} = 6,30437$ мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9. ПРОФИЛЬ ДИСКОВОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА ДЛЯ ЗАТЫЛОВАНИЯ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ, НАРЕЗАЮЩИХ КОЛЕСА НОВИКОВА

Профиль червячной фрезы задавался в ее нормальном сечении NN (рис. 5.1) с размерами по ГОСТ 16771—81 (рис. 5.2). Расчет профилей круга проводился на ЭВМ с использованием в качестве основных расчетных формул (2.71)—(2.74). Ось круга принималась развернутой в вертикальной плоскости на угол λ (рис. 2.42, рис. 5.3).

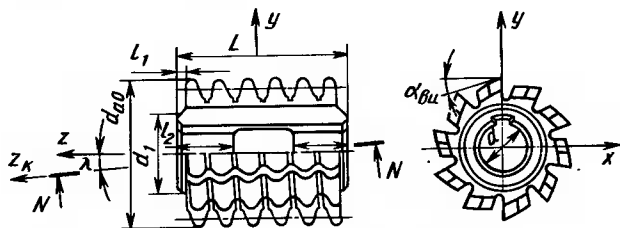


Рис. 5.1. Червячная фреза для колес передач Новикова

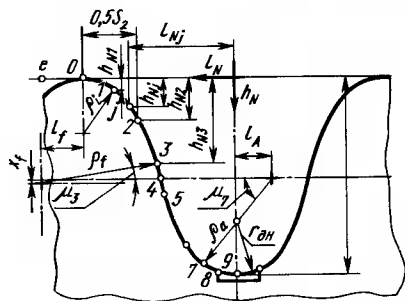


Рис. 5.2. Профиль фрезы

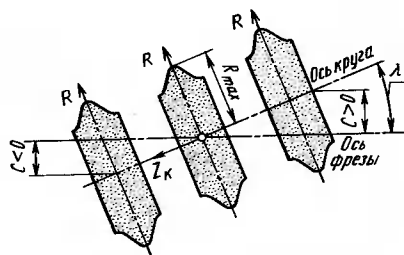


Рис. 5.3. Установка и размеры круга

5.2. Размеры фрезы и круга

Модуль m , мм	d_{a0} , мм	$r_{дн}$, мм	R_{max} , мм	λ , °
1,6	70	0,8375	37	1,40
3,15	90	1,6493	60	2,20
5	125	2,5962	60	2,55
6,3	125	3,2707	60	3,283
7,1	140	3,6862	60	3,30

На каждой стороне зуба профиль фрезы состоит из шести участков (см. рис. 5.2): окружности радиуса ρ_i (от точки O до точки I), окружностей радиусов ρ_f , ρ_a , $r_{дн}$ и прямолинейных участков 3—4 и 4—5. На участке 8—9 профиль по ГОСТ не задан (выбирается по технологическим соображениям). Для расчета круга на этом участке профиль задавался в виде окружности радиусом $r_{дн}$, сопряженной в точке 8 с окружностью ρ_a . Наружный диаметр фрезы d_{a0} , номинальный радиус круга R_{max} , угол разворота оси круга λ и радиус $r_{дн}$ профиля фрезы приведены в табл. 5.2. Координаты r , θ_0 , z_0 для каждой точки профиля фрезы при известных координатах $h_N l_N$:

$$\sin \theta_{a0} = 0,5 P_{n0} \sin \gamma_{m0} / r_{a0}; \quad r_{a0} = 0,5 d_{a0};$$

$$z_{0j} = l_{Nj} \cos \gamma_{m0}; \quad y_j = -l_{Nj} \sin \gamma_{m0};$$

$$x_j = z_{a0} \cos \theta_{a0} - h_{Nj}; \quad \theta_{0j} = \arctg(y_j/x_j);$$

$$r_j = x_j \sec \theta_{0j}.$$

Расстояние M между скрепляющимися осями круга и фрезы определялось так (см. рис. 2.42):

$$\sin \mu_{дн} = (l_a + l_7) / \rho_a; \quad h_9 = h_7 + r_{дн} (1 - \cos \mu_{дн});$$

$$r_9 = 0,5 d_{a0} \cos \theta_{a0} - h_9; \quad \rho = \sqrt{r_9^2 + a^2};$$

$$M = \sqrt{(R_{max} + \rho)^2 + (a - c)^2},$$

где c — величина установки центральной точки профиля круга выше (при $c > 0$) или ниже ($c < 0$) оси фрезы (см. рис. 5.3).

В приведенных ниже результатах расчетов профиль круга, т. е. координаты $Z_k R_k$ (табл. 5.3) точек его профиля, даны для случая, когда круг развернут на угол λ , равный углу γ_{m0} подъема витков фрезы и установлен центральной точкой на высоте линии центров, т. е. при $c = 0$ (см. рис. 5.3).

Б.3. Координаты $Z_K R_K$ профиля круга

Z_K , мм	R_K , мм	Z_K , мм	R_K , мм	Z_K , мм	R_K , мм
$m = 1,6$ мм				$m = 5,0$ мм	
3,0132	34,1915	—2,3867	34,1997	9,3539	49,9478
2,9132	34,1915	—2,4867	34,1915	9,1039	49,9490
2,8132	34,1915	—2,5867	34,1915	9,8539	49,9502
2,6132	34,1915	—2,7867	34,1915	8,3539	49,9527
2,5132	33,7694	—2,8867	34,1915	8,1039	49,9539
2,4132	33,7752	—2,9867	34,1915	7,8539	49,9551
2,3132	33,7937	$m = 3,15$ мм		7,6039	49,9662
2,2132	33,8256			7,3539	50,0009
2,1132	33,8681	5,9480	53,6468	7,1039	50,0508
2,0132	33,9278	5,6980	53,6481	6,8539	50,1454
1,9132	34,0080	5,4480	53,6490	6,6039	50,2612
1,8132	34,1049	5,1980	53,6507	6,3539	50,4105
1,7132	34,2222	4,9480	53,6519	6,1039	50,6022
1,6132	34,3403	4,6980	53,6694	5,8539	50,8223
1,5132	34,4972	4,4480	53,7246	5,6039	51,0673
1,4132	34,6863	4,1980	53,8231	5,3539	51,3420
1,3132	35,0064	3,9480	53,9743	5,1039	51,6531
1,1132	35,9807	3,6980	54,1861	4,8539	52,0099
1,0132	36,2208	3,4480	53,4390	4,6039	52,4303
0,9243	36,3796	3,1980	54,7454	4,3539	52,9442
0,8132	36,5207	2,1980	57,9764	4,1039	53,6666
0,7132	36,6284	1,9480	58,5425	3,8539	55,0080
0,6132	36,7345	1,6980	58,9295	3,6039	56,5077
0,5132	36,8236	1,4480	59,2292	3,3539	57,2260
0,4132	36,8857	1,1980	59,4713	3,1039	57,7346
0,3132	36,9319	0,9480	59,6963	2,8539	58,1400
0,2132	36,9642	0,6980	59,8336	2,6039	58,4797
0,1132	36,9836	0,4480	59,9212	2,3539	58,7726
0,0132	36,9909	0,1980	59,9676	2,1039	59,2288
—0,0867	36,9862	—0,0519	59,9769	1,8539	59,2552
—0,1867	36,9695	—0,3019	59,9493	1,6039	59,4559
—0,2867	36,9401	—0,5519	59,8832	1,3539	59,6146
—0,3867	36,8969	—0,8019	59,7728	1,1039	59,7461
—0,4867	36,8383	—1,0519	59,5774	0,8539	59,8417
—0,5867	36,7515	—1,3019	59,3612	0,6039	59,9100
—0,6867	36,6517	—1,5519	59,0973	0,3539	59,9531
—0,7867	36,5465	—1,8019	58,7667	0,1039	59,9724
—0,8867	36,4161	—2,0519	58,3241	—0,1460	59,9685
—0,9867	36,2601	—2,3019	57,5855	—0,3960	59,9413
—1,0867	36,0433	—3,0519	55,0178	—0,6460	59,8900
—1,1867	35,6874	—3,3019	54,6733	—0,8960	59,8128
—1,2667	35,0700	—3,5519	54,3909	—1,1460	59,7073
—1,3867	34,7386	—3,8019	54,0770	—1,3960	59,5691
—1,4867	34,5780	—4,0519	53,9629	—1,6460	59,3925
—1,6867	34,2658	—4,3019	53,8314	—1,8960	59,1865
—1,7867	34,1542	—4,5519	53,7486	—2,1460	58,9546
—1,8867	34,4476	—4,8019	53,7063	—2,3960	58,6918
—1,9867	34,3702	—5,0519	53,6997	—2,6460	58,3908
—2,0867	34,2970	—5,3019	53,7009	—2,8960	58,0305
—2,1867	34,2538	—5,5519	53,7021	—3,1460	57,6170
—2,2867	34,2200	—5,8019	53,7033	—3,3960	57,0803

$Z_K, \text{ мм}$	$R_K, \text{ мм}$	$Z_K, \text{ мм}$	$R_K, \text{ мм}$	$Z_K, \text{ мм}$	$R_K, \text{ мм}$
—3,6460	56,2810	2,8960	58,5333	8,1526	47,1191
—3,8960	54,6826	2,3960	59,0162	7,6526	47,6460
—4,1460	53,5762	1,8960	59,4100	7,1526	48,2734
—4,3960	53,0078	1,3960	59,6860	6,6526	49,0452
—4,6460	52,4354	0,8960	59,8620	6,1526	50,0626
—4,8960	52,0291	0,3960	59,9551	5,6526	51,7463
—5,1460	51,6825	—0,1039	59,9728	5,1526	54,8854
—5,6460	51,1106	—0,6039	59,9163	4,6526	56,3006
—5,8960	50,8705	—1,1039	59,7816	4,1526	57,2082
—6,1460	50,6546	—1,6039	59,5568	3,6526	57,9018
—6,3960	50,4671	—2,1039	59,2192	3,1526	58,4646
—6,6460	50,3210	—2,6039	58,7885	2,6526	58,9340
—6,8960	50,2085	—3,1039	58,2648	2,1526	59,3261
—7,1460	50,1254	—3,6039	57,6092	1,6526	59,6118
—7,3960	50,0689	—4,1039	56,7349	1,1526	59,8058
—7,6460	50,0370	—4,6039	55,3926	0,6526	59,9235
—7,8960	50,0284	—5,6039	50,9653	0,1526	59,9728
—8,1460	50,0295	—6,1039	49,9856	—0,3473	59,9563
—8,3960	50,0307	—6,6039	49,3753	—0,8473	59,8733
—8,6460	50,0319	—7,1039	48,8129	—1,3473	59,7186
—8,8960	50,0330	—7,6039	48,3430	—1,8473	59,4815
—9,1460	50,0341	—8,1039	47,9575	—2,3473	59,1422
$m = 6,3 \text{ мм}$		—8,6039	47,6924	—2,8473	58,7194
		—9,1039	47,5251	—3,3473	58,2178
		—9,6039	47,4402	—3,8473	57,6115
		—10,1039	47,4269	—4,3473	56,8507
		—10,6039	47,4294	—4,8473	55,8119
11,8960	47,3086	—11,1039	47,4320	—5,3473	53,8113
11,3960	47,3114	—11,6039	47,4345	—5,8473	51,0937
10,8960	47,3142	$m = 7,1 \text{ мм}$		—6,3473	49,7830
10,3960	47,3170			—6,8473	48,9450
9,8960	47,3198			—7,3473	48,1710
9,3960	47,3543			—7,8473	47,5792
8,8960	47,4656			—8,3473	47,0821
8,3960	47,6629	13,1526	45,7039	—8,8473	46,6555
7,8960	47,9658	12,6516	45,7065	—9,3473	46,3099
7,3960	48,3870	12,1526	45,7090	—9,8473	46,0709
6,8960	48,8902	11,6526	45,7116	—10,3473	45,9174
6,3860	49,4976	11,1526	45,7142	—10,8473	45,8381
5,8960	50,2580	10,6526	45,7456	—11,3473	45,8246
5,3960	51,2923	10,1526	45,8466	—11,8473	45,8270
4,3960	56,0557	9,6526	46,0241	—12,3473	45,8293
3,8960	57,1696	9,1526	46,2919	—12,8473	45,8316
3,3960	57,9378	8,6526	46,6689		

П Р И Л О Ж Е Н И Е 10. АЛГОРИТМЫ И ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПРОФИЛЯ ДИСКОВЫХ ФРЕЗ С ПОЛУКРУГЛЫМ ПРОФИЛЕМ

Фрезы предназначены для обработки прямых канавок полукруглого профиля и имеют нестандартные геометрические параметры: углы γ_n , λ_n . Алгоритм расчета профиля фрез по передней поверхности является общим для выпуклого и вогнутого профиля.

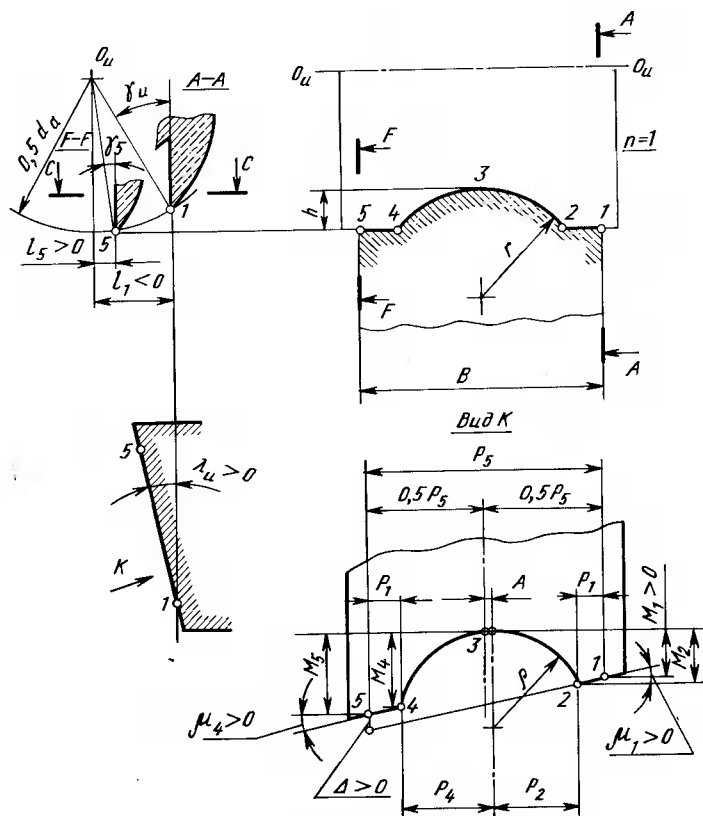


Рис. 5.4. Профиль дисковой фрезы (вогнутый)

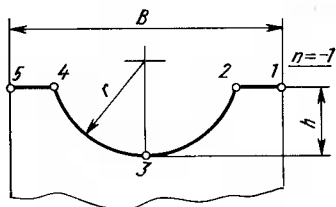


Рис. 5.5. Профиль детали

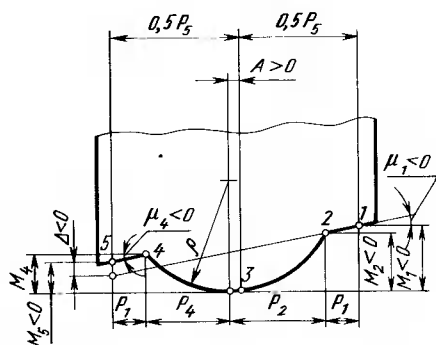


Рис. 5.6. Профиль дисковой фрезы (выпуклый)

Исходные данные: n — метка; для выпуклого профиля детали $n = 1$ (рис. 5.4) [для вогнутого профиля детали $n = -1$ (рис. 5.5)]; размеры профиля детали: r — радиус; h — высота; B — ширина; d_a — диаметр фрезы в точке 1, мм [при $n = 1$, d_a является наружным диаметром фрезы (см. рис. 5.4)]; γ_n — передний угол фрезы в точке 1, градусы; λ_n — угол наклона плоской передней грани фрезы, градусы.

Рассчитываются размеры профиля фрезы по передней грани (вид К, см. рис. 5.4 и рис. 5.6): M_1, M_2, M_4, M_5 — высотные размеры (в мм) профиля в точках 1, 2, 4, 5 [при $n = 1$ размеры M положительны (см. рис. 5.4); при $n = -1$ размеры M отрицательны (рис. 5.6)]; P_1, P_2, P_4, P_5 — продольные размеры (в мм) профиля фрезы в точках соответственно 1, 2, 4 и 5 (см. рис. 5.4 и 5.6); μ_1, μ_4 — угол наклона профиля кромки соответственно на участке 1—2 и на участке 4—5, градусы; ρ — радиус заменяющей окружности на участке 2—4 профиля, мм; A — расстояние (в мм) от максимальной по высоте точки профиля кромки до точки 3 кромки, образующей соответственно точку 3 профиля детали; Δ — смещение по высоте (в мм) участка 1—2 относительно участка 4—5; b_1 — расстояние (в мм) от оси фрезы до линии передней грани в торцовом сечении фрезы, проходящем через точку 1 кромки (см. рис. 5.4); b_5 — расстояние (в мм) от оси фрезы до линии передней грани в торцовом сечении фрезы, проходящем через точку 5 кромки; γ_5 — передний угол в торцовом сечении фрезы в точке 5 кромки.

Алгоритм расчета:

$$\left. \begin{aligned} R &= 0,5d_a; \\ l &= \sqrt{h(2r-h)}; \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

$$\left. \begin{aligned} i &= 1; R_1 = R; b_1 = R_1 \sin \gamma_n; \\ i &= 2; R_2 = R; l_2 = 0,5B - l; \\ i &= 3; R_3 = R - nh; l_3 = 0,5B; \\ i &= 4; R_4 = R; l_4 = 0,5B + l; \\ i &= 5; R_5 = R; l_5 = B; \end{aligned} \right\} \quad (5.2)$$

$$E = \sqrt{R_3^2 - b_3^2}; \quad b_3 = b_1 - b_3 \operatorname{tg} \lambda_n; \quad (5.3)$$

$$\left. \begin{aligned} b_i &= b_1 - l_i \operatorname{tg} \lambda_n, \\ \text{где } l_i &\text{ — из (5.2)} \\ H_i &= \sqrt{R_i^2 - b_i^2} - E; \end{aligned} \right\} \quad (5.4)$$

где b_i, H_i рассчитываются при каждом $i = 2 \div 5$.

$$q = \sec \lambda;$$

$$\operatorname{tg} \mu_1 = (H_2 - H_1)/ql_2; \quad (5.5)$$

$$\operatorname{tg} \mu_4 = (H_5 - H_4)/ql_2;$$

$$\Delta = ql_5 \operatorname{tg} \mu_1 + H_1 - H_5;$$

$$f = lq;$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = (H_4 - H_2)/2f; \quad c = f \sec \varepsilon;$$

$$g = 0,5 (H_2 + H_4); \quad (5.6)$$

$$n' = \frac{c^2 - g^2}{2g} \sec \varepsilon;$$

$$\rho = \sqrt{n'^2 + c^2}; \quad A = n' \sin \varepsilon;$$

$$S = \rho - \sqrt{\rho^2 - A^2};$$

$$P_1 = l_2 q;$$

$$P_2 = f - nA; \quad (5.7)$$

$$P_4 = f + nA;$$

$$P_5 = ql_5;$$

$$M_i = H_i + nS; \quad (5.8)$$

$$B \text{ (5.8); } i = 1; 2; 4; 5;$$

$$\sin \gamma_5 = b_5/R. \quad (5.9)$$

Примеры расчета. Пример 1 (выпуклый профиль детали). Исходные данные (см. рис. 5.4): $n = 1$; $r = 10$ мм; $h = 10$ мм; $B = 30$ мм; $d_a = 100$ мм; $\gamma_n = 10^\circ$; $\lambda_n = 15^\circ$.

Результаты расчета: $M_1 = 9,5131$; $M_2 = 9,7307$ мм; $M_4 = 10,2334$ мм; $M_5 = 10,2686$ мм; $P_1 = 5,1764$ мм; $P_2 = 10,3435$ мм; $P_4 = 10,3620$ мм; $P_5 = 31,0583$ мм; $\mu_1 = 2,406^\circ$; $\mu_4 = 0,39^\circ$; $\rho = 10,363$ мм; $A = 0,0092$ мм; $\Delta = 0,5497$ мм; $b_1 = 8,68824$ мм; $b_5 = 0,6439$ мм; $\gamma_5 = 0,738^\circ$.

Пример 2 (вогнутый профиль детали). Исходные данные (см. рис. 5.5): $n = -1$; $r = 10$ мм; $h = 10$ мм; $B = 30$ мм; $d_a = 100$ мм; $\gamma_n = 5^\circ$; $\lambda_n = 20^\circ$.

Результаты расчета (см. рис. 5.6): $M_1 = -10,1801$ мм; $M_2 = -10,0543$ мм; $M_4 = -10,2152$ мм; $M_5 = -10,4223$ мм; $P_1 = 5,3209$ мм; $P_2 = 10,6457$ мм; $P_4 = 10,6378$ мм; $P_5 = 31,9253$ мм; $\mu_1 = 1,355^\circ$; $\mu_4 = -2,229^\circ$; $\rho = 10,6548$ мм; $A = 0,0039$ мм; $\Delta = 0,997$ мм; $b_1 = 4,3578$ мм; $b_5 = -6,5613$ мм; $\gamma_5 = -7,54^\circ$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 11. РАСЧЕТ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОФИЛЯ ДИСКОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ АРХИМЕДОВЫХ ЧЕРВЯКОВ

Пример 1 (обратная задача профилирования).

Заданы размеры червяка (см. рис. 2.47): наружный радиус $r_a = 28$ мм; осевой шаг $P_x = 24,21$ мм; высота профиля в осевом сечении $h = 10,0$ мм; половина ширины дна впадины $l = -1,3$ (для левой стороны профиля витка).

Червяк обрабатывается дисковой фрезой с наружным радиусом $R = 30$ мм с углом профиля $\eta = 19,787^\circ$. Профиль фрезы прямолинеен; оси фрезы и червяка скрещиваются под углом $\lambda = 5,7^\circ$.

Определить угол $\alpha_{ocL(R)}$ профиля червяка и его криволинейность f в средней точке профиля, получающегося в результате обработки (см. рис. 2.48).

В данном случае обратная задача профилирования решается из (2.77)—(2.84); в (2.79) следует принять $\beta = \eta = 19,787^\circ$. В результате расчета получаем: $\alpha_{ocL} = 19,018^\circ$; $f = -0,0296$ мм (выпуклый профиль); $\alpha_{ocR} = -19,018^\circ$; $f = 0,0296$ мм (выпуклость), т. е. профиль для левой и правой сторон одинаков по углу, форме и величине стрелы выпуклости; различие по углу профиля между фрезой и червяком составляет: $19,787 - 19,018 \approx 0,77^\circ$.

Пример 2 (прямая задача). Размеры фрезы и червяка те же, что и в примере 1. Профиль червяка задан: $\alpha_L = |\alpha_R| = 20^\circ$. Угол разворота оси фрезы $\lambda = 9,51^\circ$. Найти угол профиля фрезы (η).

Решение данной задачи по алгоритму (2.77)—(2.86) дает следующие результаты: из (2.79) имеем $\beta = 19,746^\circ$; из (2.84) — $\alpha_{ocL} = 19,778^\circ$.

Если принять $\Delta\alpha = 0,1^\circ$, то условие (2.85) не выдерживается: $|19,778 - 20| = 0,222^\circ > 0,1^\circ$, поэтому в соответствии с (2.86) расчет повторяется с скорректированным углом профиля фрезы: при $\eta = 19,966^\circ$ $\alpha_{ocL} = 19,9995^\circ \approx 20^\circ$, т. е. найденный угол η обеспечивает с высокой точностью получение заданного угла $\alpha_{ocL(R)}$ профиля червяка.

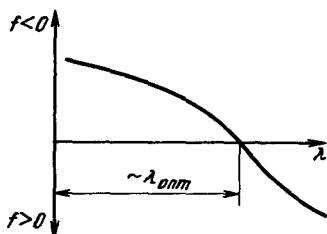
Пример 3 (обратная задача с оптимизацией установки инструмента). Размеры фрезы и червяка те же, что и в примере 1.

1. Фреза имеет угол профиля $\eta = 19,787^\circ$. Определить возможность получения данной фрезой угла профиля червяка $\alpha_{ocL(R)} = 20,5^\circ$ за счет подбора соответствующего угла λ установки фрезы.

В данном случае требуется, чтобы разница $(\alpha_{ocL(R)} - \eta)$ составляла $20,5 - 19,787 = 0,722^\circ$. Определим зависимость $(\alpha_{oc} - \eta)$ от угла λ . Для этого выполним расчеты (2.77)—(2.84) при различных углах λ . Результаты расчетов даны ниже.

$\lambda,^\circ$	1,9	5,71	9,51	13,31	17,12
$(\alpha_{oc} - \eta),^\circ$	-1,39	-0,71	0,034	0,860	0,71

Рис. 5.7. Характер зависимости f от λ



Графически указанную зависимость можно представить в виде сложной кривой, как и зависимость $\eta - \lambda$. С достаточной точностью угол λ , при котором обеспечивается разница ($\alpha_{oc} - \lambda$) = 0,722°, можно найти методом интерполяции с учетом данных таблицы: $\lambda = 9,51 + \frac{13,31 - 9,51}{0,860 - 0,034} 0,722 = 12,83^\circ$.

Пример 4 (прямая задача с оптимизацией установки инструмента). Червяк шлифуется по боковым сторонам профиля дисковым кругом с прямолинейным (коническим) профилем. Найти такую установку (по углу λ) круга, при которой стрела f выпуклости (вогнутости) круга была бы минимальной (см. рис. 2.48).

Наружный радиус R круга — 30 мм; размеры червяка — те же, что в примере 1, его углы профиля $\alpha_{ocL} = |\alpha_{ocR}| = 20^\circ$ (см. рис. 2.47).

По алгоритму (2.77)–(2.86) выполним расчет профиля круга при различных углах λ (разворота его оси). Результаты расчетов даны в табл. 5.4, где β — угол профиля круга, рассчитанный из (2.79); f_1 и α_{oc1} — размеры профиля, получающегося при обработке кругом с углом профиля β ; η — угол профиля круга, рассчитанный из (2.81)–(2.86) после коррекции (2.86) профиля круга; f и α_{oc} — размеры профиля червяка, получающегося после обработки кругом с углом профиля η (см. рис. 2.48).

Из данных табл. 5.4 можно сделать вывод, что при малых углах λ профиль червяка получается выпуклым ($f = -31$ мкм при $\lambda = 1,9^\circ$). По мере увеличения λ выпуклость уменьшается, а в дальнейшем переходит в вогнутость ($f = 43$ мкм при $\lambda = 17,12^\circ$). Указанная зависимость f от λ в виде графика показана на рис. 5.7. По графику или путем интерполяции можно найти $\lambda = \lambda_{opt}$, при котором $f \approx 0$ (см. рис. 5.7). В данном случае $f \approx 0$ при $\lambda_{opt} = 12,36^\circ$.

5.4. Размеры профиля при различных λ

$\lambda, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	$f_1, \text{ мкм}$	$\alpha_{oc1L}, ^\circ$	$\eta, ^\circ$	$f, \text{ мкм}$	$\alpha_{ocL}, ^\circ$
1,9	19,91	—33	18,36	21,54	—31	20,1
5,71	19,79	—30	19,02	20,76	—28	20,05
9,51	19,75	—17	19,78	19,97	—16	20
13,31	19,79	7	20,62	19,18	6	20,04
17,12	19,91	41	21,46	19,45	43	20,15

**П Р И Л О Ж Е Н И Е 12. ПРОФИЛЬ ОСНОВНЫХ
ЧЕРВЯКОВ ФРЕЗ ДЛЯ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ КОЛЕС
МОДУЛЯ 1—4 мм**

m, мм	d _{а0} , мм	z ₁₀	$\alpha_{х0ч}$			r _{в0} , мм	f _ч , мкм
			градусы	минуты	секунды		
1	65	1	20	0	11	1,37236	0,011
1	70	1	20	0	10	1,37255	0,009
1	75	1	20	0	9	1,37271	0,007
1	80	1	20	0	8	1,37283	0,006
1	85	1	20	0	7	1,37293	0,005
1	90	1	20	0	7	1,37301	0,004
1	95	1	20	0	6	1,37309	0,004
1	100	1	20	0	6	1,37315	0,003
1	65	2	20	0	36	2,73683	0,04
1	70	2	20	0	31	2,73833	0,034
1	75	2	20	0	27	2,73953	0,028
1	80	2	20	0	24	2,74051	0,023
1	85	2	20	0	22	2,74131	0,019
1	90	2	20	0	20	2,74198	0,015
1	95	2	20	0	18	2,74255	0,0135
1	100	2	20	0	16	2,74303	0,012
1	65	3	20	1	18	4,08572	0,096
1	70	3	20	1	07	4,090707	0,076
1	75	3	20	0	59	4,094713	0,062
1	80	3	20	0	52	4,097977	0,050
1	85	3	20	0	46	4,10067	0,042
1	90	3	20	0	41	4,10292	0,035
1	95	3	20	0	37	4,10482	0,030
1	100	3	20	0	34	4,10644	0,026
1	65	4	20	02	17	5,41178	0,17
1	70	4	20	01	58	5,42339	0,14
1	75	4	20	01	43	5,43274	0,11
1	80	4	20	01	30	5,44037	0,09
1	85	4	20	01	20	5,44668	0,07
1	90	4	20	01	11	5,45196	0,06
1	95	4	20	01	04	5,45641	0,05
1	100	4	20	00	58	5,46021	0,04
1,5	65	1	20	00	22	2,05589	0,06
1,5	70	1	20	00	19	2,05656	0,05
1,5	75	1	20	00	17	2,05710	0,04
1,5	80	1	20	00	15	2,05753	0,03
1,5	85	1	20	00	14	2,05783	0,025
1,5	90	1	20	00	12	2,05819	0,002
1,5	95	1	20	00	11	2,05844	0,02
1,5	100	1	20	00	10	2,05865	0,02
1,5	65	2	20	01	20	4,08428	0,23
1,5	70	2	20	01	09	4,08956	0,18
1,5	75	2	20	01	00	4,09378	0,15
1,5	80	2	20	00	53	4,09722	0,12
1,5	85	2	20	00	47	4,10004	0,10
1,5	90	2	20	00	42	4,10240	0,08
1,5	95	2	20	00	38	4,10437	0,07
1,5	100	2	20	00	34	4,10606	0,06
1,5	65	3	20	02	58	6,05945	0,52

m, мм	d ₀₀ , мм	z ₁₈	α_{x0}			r _{в0} , мм	f _ц , мм
			градусы	минуты	секунды		
1,5	70	3	20	02	33	6,07675	0,41
1,5	75	3	20	02	13	6,090637	0,33
1,5	80	3	20	01	56	6,10196	0,27
1,5	85	3	20	01	43	6,11130	0,22
1,5	90	3	20	01	32	6,11910	0,18
1,5	95	3	20	01	22	6,12567	0,16
1,5	100	3	20	01	14	6,13126	0,13
2,0	65	1	20	00	38	2,73594	0,19
2,0	70	1	20	00	33	2,73762	0,15
2,0	75	1	20	00	29	2,73896	0,12
2,0	80	1	20	00	25	2,74004	0,10
2,0	85	1	20	00	23	2,74093	0,08
2,0	90	1	20	00	20	2,74166	0,07
2,0	95	1	20	00	19	2,74228	0,06
2,0	100	1	20	00	17	2,74280	0,05
2,0	65	2	20	02	25	5,40489	0,77
2,0	70	2	20	02	04	5,41791	0,61
2,0	75	2	20	01	48	5,42831	0,49
2,0	80	2	20	01	35	5,43674	0,39
2,0	85	2	20	01	24	5,44367	0,32
2,0	90	2	20	01	14	5,44943	0,27
2,0	95	2	20	01	07	5,45428	0,23
2,0	100	2	20	01	00	5,45839	0,19
2,0	65	3	20	05	24	7,94773	1,74
2,0	70	3	20	04	38	7,98931	1,37
2,0	75	3	20	04	00	8,02277	1,09
2,0	80	3	20	03	30	8,05006	0,89
2,0	85	3	20	03	06	8,07262	0,73
2,0	90	3	20	02	45	8,09145	0,61
2,0	95	3	20	02	28	8,10733	0,51
2,0	100	3	20	02	13	8,12085	0,44
2,5	65	1	20	0	59	3,41100	0,5
2,5	70	1	20	0	51	3,41448	0,4
2,5	75	1	20	0	44	3,41722	0,3
2,5	80	1	20	0	39	3,41944	0,3
2,5	85	1	20	0	35	3,42125	0,21
2,5	90	1	20	0	31	3,42274	0,17
2,5	95	1	20	0	28	3,42400	0,15
2,5	100	1	20	0	25	3,42505	0,12
2,5	65	2	20	03	50	6,68812	2,01
2,5	70	2	20	03	17	6,71440	1,6
2,5	75	2	20	02	51	6,73537	1,25
2,5	80	2	20	02	29	6,75237	1,0
2,5	85	2	20	02	12	6,76633	0,8
2,5	90	2	20	01	57	6,77793	0,7
2,5	95	2	20	01	45	6,78767	0,6
2,5	100	2	20	01	35	6,79592	0,5
2,5	65	3	20	08	37	9,72218	4,55
2,5	70	3	20	07	22	9,80343	3,55
2,5	75	3	20	06	23	9,86906	2,8
2,5	80	3	20	05	35	9,92277	2,3

m, мм	d ₂₀ , мм	z ₁₀	$\alpha_{\times 0^{\circ}}$			r _{в0} , мм	f _ч , мкм
			градусы	минуты	секунды		
2,5	85	3	20	04	55	9,96723	1,9
2,5	90	3	20	04	22	10,00443	1,6
2,5	95	3	20	03	54	10,03583	1,3
2,5	100	3	20	03	30	10,06258	1,1
3,0	65	1	20	01	25	4,07940	1,1
3,0	70	1	20	01	13	4,08572	0,9
3,0	75	1	20	01	04	4,09071	0,7
3,0	80	1	20	00	56	4,09471	0,6
3,0	85	1	20	00	50	4,09798	0,5
3,0	90	1	20	00	44	4,10067	0,4
3,0	95	1	20	00	40	4,10292	0,3
3,0	100	1	20	00	36	4,10482	0,3
3,0	65	2	20	05	34	7,92307	4,5
3,0	70	2	20	04	47	7,96969	3,5
3,0	75	2	20	04	09	8,00691	2,8
3,0	80	2	20	03	38	8,03709	2,2
3,0	85	2	20	03	12	8,06186	1,8
3,0	90	2	20	02	51	8,08244	1,5
3,0	95	2	20	02	33	8,09972	1,3
3,0	100	2	20	02	17	8,11436	1,1
3,0	65	3	20	12	35	11,35776	10,1
3,0	70	3	20	10	47	11,49638	7,9
3,0	75	3	20	09	21	11,60899	6,22
3,0	80	3	20	08	10	11,70153	5,0
3,0	85	3	20	07	12	11,77840	4,1
3,0	90	3	20	06	23	11,84287	3,4
3,0	95	3	20	05	42	11,89743	2,8
3,0	100	3	20	05	07	11,94397	2,4
3,5	65	1	20	01	55	4,73920	2,2
3,5	70	1	20	01	40	4,74977	1,7
3,5	75	1	20	01	27	4,75808	1,4
3,5	80	1	20	01	16	4,76474	1,1
3,5	85	1	20	01	08	4,77016	0,9
3,5	90	1	20	01	00	4,77462	0,7
3,5	95	1	20	00	54	4,77833	0,6
3,5	100	1	20	00	49	4,78146	0,5
3,5	65	2	20	07	36	9,098848	8,9
3,5	70	2	20	06	33	9,17433	6,9
3,5	75	2	20	05	42	9,23471	5,4
3,5	80	2	20	04	60	9,28369	4,3
3,5	85	2	20	04	24	9,32393	3,5
3,5	90	2	20	03	55	9,35737	2,9
3,5	95	2	20	03	90	9,38543	2,4
3,5	100	2	20	03	09	9,40921	2,1
3,5	65	3	20	17	13	12,8346	20,3
3,5	70	3	20	14	49	13,0491	15,6
3,5	75	3	20	12	52	13,2246	12,3
3,5	80	3	20	11	16	13,36969	9,8
3,5	85	3	20	09	56	13,49074	8,0
3,5	90	3	20	08	49	13,59262	6,6
3,5	95	3	20	07	52	13,67909	5,5

m, мм	d_{a0} , мм	z_{10}	$\alpha_{x0\varphi}$			$r_{в0}$, мм	f_{φ} , мм
			градусы	минуты	секунды		
3,5	100	3	20	07	04	13,75302	4,6
4,0	65	1	20	02	29	5,38830	4,1
4,0	70	1	20	02	09	5,40489	3,1
4,0	75	1	20	01	53	5,41791	2,5
4,0	80	1	20	01	40	5,42831	2,0
4,0	85	1	20	01	28	5,43674	1,6
4,0	90	1	20	01	19	5,44367	1,3
4,0	95	1	20	01	11	5,44943	1,1
4,0	100	1	20	01	04	5,45428	0,9
4,0	65	2	20	09	51	10,20500	16,4
4,0	70	2	20	08	33	10,31910	12,6
4,0	75	2	20	07	28	10,41060	9,9
4,0	80	2	20	06	33	10,48495	7,9
4,0	85	2	20	05	48	10,54612	6,4
4,0	90	2	20	05	09	10,59698	5,2
4,0	95	2	20	04	37	10,63969	4,4
4,0	100	2	20	04	09	10,67588	3,7
4,0	65	3	20	22	17	14,13895	37,6
4,0	70	3	20	19	21	14,4472	28,7
4,0	75	3	20	16	53	14,7016	22,4
4,0	80	3	20	14	49	14,9133	17,9
4,0	85	3	20	13	06	15,09086	14,4
4,0	90	3	20	11	38	15,24103	11,9
4,0	95	3	20	10	24	15,36894	9,9
4,0	100	3	20	09	21	15,47865	8,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 13. АЛГОРИТМ И ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА УГЛА НАКЛОНА ЗУБЬЕВ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ

Червячные фрезы для эвольвентных и червячных колес при изготовлении часто контролируются в осевом сечении (см. рис. 3.16). При этом наиболее простой способ базирования шаблона, используемого для предварительного или даже окончательного контроля, — по наружному диаметру фрезы в ее осевом сечении (см. п. 4.2.7). Такой способ контроля требует точного определения угла ψ наклона зубьев фрезы, так как несоответствие фактического угла ψ_{ϕ} расчетному (заданному на чертеже) углу ψ_p приведет к ошибке углов профиля фрезы α_{x0L} и α_{x0R} , равной разнице $\psi_{\phi} - \psi_p$.

Расчетная величина угла ψ определяется по известной формуле [22, 23]

$$\operatorname{tg} \psi_p = kz_0/P_z. \quad (5.10)$$

Фактический угол ψ_{ϕ} может, особенно для многозаходных фрез, существенно отличаться от ψ_p . Значение ψ_{ϕ} зависит от формы затылующего инструмента (резец, дисковый круг, чашечный круг)

и от установки этого инструмента в процессе затылования. Наиболее часто для окончательного затылования вершин зубьев используется цилиндрический круг, развернутый на угол λ , равный углу подъема $\gamma_{\text{тв}}$ витков фрезы и установленный своей средней точкой примерно на высоте линии центров (т. е. при $c = 0$; см. рис. 5.3).

Приведем алгоритм расчета угла ψ_{ϕ} для случая затылования периферией цилиндрического круга. Алгоритм получен на основании точного определения линии касания круга и вершин зубьев фрезы из условия (2.10) (см. п. 2.2.2).

Должны быть известны (см. п. 3.3.5): d_{a0} , z_{10} , P_{x0} , P_{z0} , k , z_0 , а также наружный радиус круга $R_{\text{кр}}$ и его установочные параметры c и λ .

$$\begin{aligned} p &= \frac{P_{x0} z_{10}}{2\pi}; \quad p_{\text{н}} = \frac{P_{z0}}{2\pi}; \\ \omega &= p + p_{\text{н}}; \quad r_{a0} = 0,5 d_{a0}; \\ u &= \frac{k z_0}{2\pi}; \quad a = u \frac{\omega}{p_{\text{н}}}; \quad g = a + c; \end{aligned} \quad (5.11)$$

$$\theta = \frac{P_{x0}}{\omega}; \quad \mu = \arctg \frac{r_{a0}}{a};$$

$$\begin{aligned} \rho &= \sqrt{r_{a0}^2 + a^2}; \\ E &= (R_{\text{кр}} + \rho); \quad L = \sqrt{E^2 - g^2}; \\ v &= \arctg \frac{L}{a + eg}; \quad \omega = v - \mu; \\ M &= L - a\omega. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v &= \arctg \frac{g}{M \cos \lambda + \rho \sin \lambda}; \\ x_{\text{м}} &= M - R_{\text{кр}} \cos v; \\ y_{\text{м}} &= c - R_{\text{кр}} \sin v \cos \lambda; \\ r &= \sqrt{x_{\text{м}}^2 + y_{\text{м}}^2}; \quad \xi = -\arctg \frac{y_{\text{м}}}{x_{\text{м}}}. \end{aligned} \quad (5.12)$$

$$\begin{aligned} M_1 &= M - a\theta; \\ v_1 &= \arctg [g/(M_1 \cos \lambda + \rho \sin \lambda)]; \\ x_{\text{м1}} &= M_1 - R_{\text{кр}} \cos v_1; \\ y_{\text{м1}} &= c - R_{\text{кр}} \sin v_1 \cos \lambda; \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$\begin{aligned} r_1 &= \sqrt{x_{\text{м1}}^2 + y_{\text{м1}}^2}; \quad \xi_1 = \arctg (y_{\text{м1}}/x_{\text{м1}}). \\ \varphi &= \theta - \xi_1 + \xi; \\ \Delta &= R_{\text{кр}} \sin \lambda (\sin v - \sin v_1); \\ \psi_{\phi} &= \arctg \left[\frac{r - r_1}{\omega \varphi} \left(1 - \frac{\Delta}{\varphi p_{\text{н}}} \right) \right]. \end{aligned} \quad (5.14)$$

Пример расчета. Фреза для червячных колес, проектируемая на базе архимедова червяка, $m = 12$ мм:

$d_{a0} = 160$ мм; $z_{10} = 6$; $P_{x0} = 37,6991$ мм; $P_{z0} = 760$ мм; $k = 14$ мм; $z_0 = 8$; $R_{кр} = 50$ мм; $c = 0$; $\lambda = 28,6106^\circ$.

Из (5.11): $p = 36$; $p_k = 120,9577$; $a = 23,130608$; $\theta = 0,24018$ рад; $\mu = 73,8737^\circ$; $\nu = 80,0055^\circ$; $L = 131,2542$ мм; $M = 128,7788$.

Из (5.12): $\vartheta = 10,0667^\circ$; $r = 79,9177$ мм; $\xi = 5,5092^\circ$.

Из (5.13): $M_1 = 123,2232$; $\vartheta_1 = 10,4497^\circ$; $r_1 = 74,4791$; $\xi_1 = 6,1363^\circ$.

Из (5.14): $\varphi = 0,2292$ рад; $\Delta = -0,1575$; $\psi_\phi = 8^\circ 38' 36''$.

Из (5.10): $\psi_p = 8^\circ 23' 00''$.

Таким образом, разница расчетного и фактического углов ψ составляет свыше $15'$, что приведет к погрешности базирования шаблона и соответственно погрешности профиля фрезы свыше $0,1$ мм. Такая величина намного превышает допуск на профиль фрезы и поэтому недопустима.

Приведенный пример показывает, что для многозаходных фрез при обычной установке затылующего круга ($c = 0$; $\lambda = \gamma_{m0}$) расчет ψ из (5.10) может оказаться слишком неточным, поэтому, особенно при автоматизированном проектировании, следует использовать алгоритм (5.11)—(5.14).

Можно также использовать специальную установку круга, при которой разница углов ψ_p и ψ_ϕ резко снижается. Анализ показал, что в большинстве случаев для этого круг на затыловочном станке следует установить выше линии центров на оптимальную величину c_0 , определяемую как

$$c_0 \simeq \frac{R_{кр}}{d_{a0}} \frac{kz_0 (P_{x10} + P_{z0})}{\pi P_{z0}}. \quad (5.15)$$

Например, для приведенных выше размеров фрезы и круга и при установке круга на величину $c_0 = 14,45$ мм величина ψ_ϕ , рассчитанная из (5.11)—(5.14), имеет значение: $\psi_\phi = 8^\circ 22' 40''$. В этом случае разница углов ψ_ϕ и ψ_p составляет всего лишь $20''$, т. е. погрешность уменьшается более чем в 40 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация проектно-конструкторских работ и технической подготовки производства в машиностроении/Под ред. О. И. Семенкова. Минск. Высшая школа, 1976; Т. 1. 352 с.; 1977; Т. 2. 334 с.
2. Автоматизированное проектирование металлорежущего инструмента/В. А. Гречишников, Г. Н. Кирсанов, А. В. Катаев и др. М.: Мосстанкин, 1984. 109 с.
3. Автоматизированные системы технологической подготовки производства в машиностроении/Под ред. Г. К. Горанского. М.: Машиностроение, 1976. 240 с.
4. Баженов М. Ф., Байчмаи С. Г., Карпачев Д. Г. Твердые сплавы: Справочник. М.: Металлургия, 1978. 184 с.
5. Введение в технику работы с таблицами решений: Пер. с нем./В. Фрайтаг, В. Годе, Х. Якоби и др. М.: Энергия, 1979. 88 с.
6. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. М.: Металлургия, 1983. 527 с.
7. Горанский Г. К., Бендерова Э. И. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. М.: Машиностроение, 1981. 456 с.
8. Грановский Г. И. Кинематика резания. М.: Машгиз, 1948. 200 с.
9. Дабагян А. В. Оптимальное проектирование машин и сложных устройств. М.: Машиностроение, 1979. 280 с.
10. Колядин А. В., Ординарцев И. А., Сенькин Е. Н. Оптимизация конструкции ступенчатых фрез//Станки и инструмент, 1983, № 8. С. 27—29.
11. Лашнев С. И., Юликов М. И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. М.: Машиностроение, 1975. 391 с.
12. Лашнев С. И., Юликов М. И. Проектирование режущей части инструмента с применением ЭВМ. М.: Машиностроение, 1980. 208 с.
13. Леонтьев В. А. Реализация математических моделей на ЭВМ (статистические и оптимизационные проблемы). М.: Энергия, 1981. 176 с.
14. Методы поиска новых технических решений/Под ред. А. И. Половинкина. Йошкар-Ола: Марийск. книжн. изд-во, 1976. 192 с.
15. Норенков И. П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. М.: Высшая школа, 1986. 304 с.
16. Общотраслевые руководящие методические материалы по созданию систем автоматизированного проектирования (САПР). М.: Статистика, 1980. 119 с.
17. Ординарцев И. А., Филиппов Г. В. Автоматизация производства режущего инструмента. Л.: Машиностроение, 1972. 264 с.
18. Основные положения и рекомендации по проектированию и изготовлению металлорежущего инструмента и условиях единичного и мелкосерийного производства/В. А. Гречишников, В. Ф. Орлов, Ю. Е. Петухов и др. М.: НИИТ, 1984. 41 с.
19. Палей М. И. Технология производства металлорежущих инструментов. М.: Машиностроение, 1982. 256 с.
20. Применение ЭВМ в технологической подготовке серийного производства/С. П. Митрофанов и др. М.: Машиностроение, 1981. 278 с.

21. Резание металлов/Г. И. Грановский, П. П. Грудов, В. А. Кривоухов и др. М.: Машгиз, 1954. 472 с.
22. Родии П. Р. Металлорежущие инструменты. Киев: Вища школа, 1974. 399 с.
23. Семенченко И. И., Матюшин В. М., Сахаров Г. Н. Проектирование металлорежущих инструментов. М.: Машгиз, 1963. 949 с.
24. Технология изготовления режущего инструмента/Барсов А. И. и др. М.: Машиностроение, 1979. 136 с.
25. Типаж металлорежущего инструмента на 1981—1985 гг. М.: НИИмаш, 1980. 445 с.
26. Филиппов Г. В. Режущий инструмент. Л.: Машиностроение, 1981. 392 с.
27. Холл А. Опыт методологии для системотехники/Пер. с англ. М.: Сов. радио, 1975. 448 с.
28. Цветков В. Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. Минск: Наука и техника, 1979. 261 с.
29. Цепков А. В. Профилирование заточенных инструментов. М.: Машиностроение, 1979. 150 с.
30. Чернов Л. Б. Основы методологии проектирования машин. М.: Машиностроение, 1978. 148 с.
31. Эшби У. Росс. Введение в кибернетику. М.: Изд-во ин. лит., 1959. 432 с.
32. Юликов М. И. Автоматизация проектирования режущего инструмента. М.: ВЗМИ, 1982. 94 с.
33. Ярмош Н. А. Информационное обеспечение процессов проектирования. Минск: Наука и техника, 1975. 262 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	8
 1. Общие положения проектирования технических систем	
1.1. Характеристики технических систем	5
1.2. Блочнo-иерархический принцип расчленения сложных систем и процесса их проектирования	6
1.3. Классификация объектов проектирования и их параметров	7
1.4. Схема процесса проектирования в пределах данного этапа (уровня)	10
1.5. Особенности решения задач синтеза	10
1.6. Особенности решения задач анализа	13
1.7. Оптимизация решений при проектировании технических объектов	13
 2. Система проектирования режущего инструмента	
2.1. Общая характеристика СПРИ	17
2.2. Кинематика формообразования — основа образования видов и профилирования РИ	24
2.2.1. Кинематика формообразования — основа образования видов РИ	24
2.2.2. Кинематика формообразования — основа профилирования РИ	40
2.3. Кинематика срезания припуска — основа образования типов РИ	48
2.4. Основные закономерности конструирования РИ	58
2.4.1. Выбор схемы конструкции РИ	59
2.4.2. Расчетная часть третьего этапа системы проектирования РИ	60
2.4.2.1. Исходные данные (блок 1)	60
2.4.2.2. Расчет дополнительных исходных данных (блок 2)	61
2.4.2.3. Выбор инструментальных материалов (блок 3)	61
2.4.2.4. Выбор геометрических параметров режущей части инструментов (блоки 4, см. рис. 1.1)	77
2.4.2.5. Определение размеров рабочей части инструмента, числа и размеров зубьев и стружечных канавок (блоки 5—7)	87
2.4.2.6. Определение размеров механизма крепления режущей части (блок 8)	100
2.4.2.7. Определение параметров механизма регулирования режущей части (блок 9)	102
2.4.2.8. Профилирование РИ (блок 10)	104
2.4.2.9. Определение параметров схемы срезания припуска и геометрических параметров в процессе резания (блоки 11 и 12)	125
2.4.2.10. Определение размеров крепежно-присоединительной части (блок 13)	125
2.4.2.11. Определение размеров центрирующе-направляющей части инструмента (блок 14)	128

2.4.2.12. Определение недостающих размеров (блок 15), назначение допусков и технических условий (блок 16)	130
2.4.2.13. Обработка конструкции РИ на технологичность	131

3. Автоматизация проектирования РИ

3.1. Организация работ по автоматизации проектирования и расчет РИ	132
3.2. Построение алгоритмов автоматизированного расчета РИ	139
3.2.1. Алгоритмы и их свойства	139
3.2.2. Способы изложения алгоритмов	139
3.2.3. Два метода определения параметров и характеристик конструкций РИ	143
3.2.4. Информационное обеспечение САПРИ	146
3.2.5. Программное и техническое обеспечение САПРИ	148
3.2.6. Ввод в действие САПРИ	149
3.3. Расчет отдельных видов РИ с использованием ЭВМ	150
3.3.1. Поиск типоразмера РИ	151
3.3.2. Выбор и оптимизация геометрических параметров зенкера	157
3.3.3. Расчет радиальных фасонных резцов	162
3.3.4. Расчет протяжек	173
3.3.4.1. Особенности работы и классификация протяжек	173
3.3.4.2. Расчет режущей части круглой протяжки с групповой схемой срезания припуска (блоки 5—7 СПРИ, рис. 1.1)	175
3.3.5. Расчет червячных фрез для нарезания эвольвентных цилиндрических колес	183
3.3.5.1. Исходные данные	183
3.3.5.2. Выбор марки инструментального материала (ИМ)	184
3.3.5.3. Выбор геометрических параметров	189
3.3.5.4. Профилирование червячных фрез	194

4. Современное производство режущего инструмента

4.1. Особенности технологии производства РИ	202
4.2. Технологическая характеристика основных этапов изготовления РИ	204
4.2.1. Этапы изготовления	204
4.2.2. Методы получения заготовок	205
4.2.3. Сварка, пайка, склеивание	206
4.2.4. Основные формообразующие операции	212
4.2.5. Термическая и химико-термическая обработка	212
4.2.6. Затачивание	213
4.2.7. Контроль параметров	215
4.3. Характеристика маршрутно-операционных технологических процессов некоторых видов РИ	223
4.4. Автоматизация технологической подготовки производства РИ	238
4.5. Основные направления развития технологии изготовления РИ	245

5. Приложения

Приложение 1. Коды обрабатываемых материалов (ОМ)	252
Приложение 2. Технологические свойства быстрорежущих сталей	256
Приложение 3. Группы инструментальных материалов (ИМ) для различных условий обработки	261
Приложение 4. Группы инструментальных материалов (ИМ) для различных обрабатываемых материалов (ОМ)	264
Приложение 5. Выбор марок ИМ (сталей) для разверток	265
Приложение 6. Выбор марок ИМ (твердого сплава) для торцовых фрез	266
Приложение 7. Численные соотношения геометрических параметров инструментов,	267
Приложение 8. Примеры расчетов с использованием ЭВМ профиля фасонных резцов	276
	295

Приложение 9. Профиль дискового шлифовального круга для затылования червячных фрез, нарезающих колеса Новикова	277
Приложение 10. Алгоритмы и примеры расчета профиля дисковых фрез с полукруглым профилем	280
Приложение 11. Расчет и оптимизация профиля дискового инструмента для обработки архимедовых червяков	284
Приложение 12. Профиль основных червяков фрез для эвольвентных колес модуля 1—4 мм	286
Приложение 13. Алгоритм и примеры расчета угла наклона зубьев червячной фрезы	289
Список литературы	292

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

**Михаил Иванович ЮЛИКОВ, Борис Иванович ГОРЕБУНОВ,
Николай Викторович КОЛЕСОВ**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Редактор *Г. Н. Лыкова*

Художественный редактор *С. С. Водич*

Переплет художника *К. К. Федорова*

Технический редактор *Т. И. Андреева*

Корректоры: *О. Ю. Садыкова, Л. Я. Шабашова*

ИБ № 4652

Сдано в набор 16.02.87. Подписано в печать 21.05.87. Т-04679.
Формат 60×90¹/₁₆. Бумага офсетная № 2. Гарнитура литературная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,5. Усл. кр.-отт. 18,5. Уч.-изд. л. 20,05.
Тираж 10000 экз. Заказ 44. Цена 1 р. 30 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машинностроение»,
107076, Москва, Стромынский пер., 4

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
193144, г. Ленинград, ул. Монсеенко, 10.
