

Министерство образования и науки Российской Федерации

Алтайский государственный технический  
университет им. И.И.Ползунова



## **НАУКА И МОЛОДЕЖЬ**

3-я Всероссийская научно-техническая конференция  
студентов, аспирантов и молодых ученых

### **СЕКЦИЯ**

**ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ  
ПРОИЗВОДСТВ**

### **ПОДСЕКЦИЯ**

**ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Барнаул – 2006

ББК 784.584(2 Рос 537)638.1

3-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Наука и молодежь". Секция «Технологии и оборудование автоматизированных производств». Подсекция «Технология автоматизированных производств». / Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова. – Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2006. – 25 с.

В сборнике представлены работы научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, проходившей в апреле 2006 г.

Организационный комитет конференции:

Максименко А.А., проректор по НИР – председатель, Марков А.М., зам. проректора по НИР – зам. председателя, Арзамарсова А.А. инженер Центра НИРС и молодых учёных – секретарь оргкомитета, Татаркин Е.Ю., заведующий кафедрой «Общая технология машиностроения» АлтГТУ – руководитель секции, Балашов А.В. – редактор.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АВТОКОЛЕБАНИЙ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ

Леонов С. Л. - к. т. н., профессор,  
Захарова Ю. Д. - магистрант

Одним из источников развития машиностроительной промышленности является применение высокопроизводительных способов обработки деталей. Таким процессом обработки металлов резанием является протягивание, особенно эффективное в условиях массового и крупносерийного производства.

Протягивание применяют в машиностроении при обработке резанием различных материалов. При этом обеспечивается стабильное получение поверхностей деталей с высокой точностью (7 – 6 квалитет) и малой шероховатостью ( $R_a = 1,25 \div 2,5$  мкм), поэтому протягивание почти во всех случаях применяется на окончательных чистовых операциях.

Протягиванием обрабатывают отверстия, длина которых может превышать диаметр до 100 раз.

В процессе протягивания возможно изменение и контроль лишь скорости резания. Все остальные параметры работы (подача, угол наклона режущей кромки и т. д.) определяются конструкцией протяжки.

При некоторых значениях геометрии инструмента и режима резания в технологической системе могут возникать вибрации – периодические колебательные движения. Вибрации, в основном, оказывают негативное воздействие на процесс резания: снижается стойкость инструмента и долговечность оборудования, ухудшается качество обрабатываемой поверхности.

Существуют вибрации двух типов: вынужденные колебания, вызываемые периодически действующими внешними силами, и автоколебания, которые не зависят от действия внешних сил. Эти автоколебания ограничивают допустимые режимы резания, снижают качество изделий, а порой приводят к выкрашиванию режущих кромок инструмента. Основным источником возникновения автоколебаний является зависимость силы резания от фактической скорости.

Уравнение движения протяжки представляет собой нелинейное дифференциальное уравнение второго порядка:

$$m \ddot{z} + G \dot{z} + Cz = P(v_{\phi}),$$

где:  $m$  – приведенная масса заготовки;  $G$  – демпфирование;  $C$  – жесткость технологической системы;  $v$  – номинальная скорость резания;  $\dot{z}$  – относительная скорость резания;  $P(v_{\phi})$  – функция, характеризующая изменение силы резания от фактической скорости резания;  $v_{\phi} = v - \dot{z}$  – фактическая скорость резания.

Действительно, проведенные Зоревым Н.Н. опыты [1] показывают ярко выраженную зависимость силы резания, в частности главной (касательной) составляющей силы резания  $P_z$ , от скорости резания  $v$ . Данные получены для различных значений параметров режим резания и геометрии инструмента.



Рис. 1 - Изменение составляющей силы резания  $P_z$  в зависимости от скорости резания  $v$ .

После аппроксимации кривой по методу наименьших квадратов была получена формула силы в зависимости от скорости резания.

$$P_z = 0.307 \cdot (\pi \cdot D)^{0.852} \left( \frac{a \cdot V \cdot k_1 + b \cdot k_2}{V^2 + f \cdot V \cdot k_5 + g \cdot k_6} + \frac{c \cdot k_3}{V} + d \cdot k_4 \right) (1.099 - 0.00166 \cdot \varphi);$$

где:

$$a = 1998.6 \cdot S^{-0.172}$$

$$k_1 = 1.0756 \cdot e^{-0.00729 \cdot \gamma}$$

$$b = -43092 \cdot S^{-0.5179}$$

$$k_2 = 0.937 \cdot e^{0.00649 \cdot \gamma}$$

$$c = 2601.3 \cdot S^{0.8343}$$

$$k_3 = 1.7054 \cdot e^{-0.0534 \cdot \gamma}$$

$$d = 596.87 \cdot S^{0.9812}$$

$$k_4 = 1.066 \cdot e^{-0.00639 \cdot \gamma}$$

$$f = -33.5 \cdot S^{-0.95}$$

$$k_5 = 0.583 \cdot e^{0.054 \cdot \gamma}$$

$$g = 354 \cdot S^{-1.98}$$

$$k_6 = 0.3816 \cdot e^{0.09634 \cdot \gamma}$$

$v$  – скорость резания;  $\pi \cdot D$  - диаметр обрабатываемой поверхности;  $\gamma$  - передний угол протяжки;  $\varphi$  - главный угол в плане;  $S$  – подача на зуб.

Автоколебания могут возникать на падающей ветви силы резания. При этом чем больше наклон кривой, тем выше риск возникновения автоколебаний.

На рис. 1 показаны возможные зоны появления автоколебаний, при этом левая зона соответствует скоростям при протягивании. Фактически критерием появления автоколебаний является условие:  $G < -P'(v)$ .

На данный момент в стадии разработки находится программное обеспечение для расчета автоколебаний.

1. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. М.: Машгиз, 1956. – 348 с.

2. Протяжки для обработки отверстий / Д. К. Маргулис, М. М. Тверской, В. Н. Ашихмин и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 232с.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Щербаков Н.П. - к.т.н., профессор,  
Антонова Е.Е. - магистрант

В настоящее время процесс проектирования режущего инструмента (РИ) является сложной, трудоемкой задачей. Одним из решений этой проблемы является автоматизация проектирования РИ. 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.

Разработку методов проектирования ведут в направлении совершенствования аналитического способа как одного из главнейших методов эффективного использования ЭВМ.

Задача проектирования РИ многовариантна. Быстродействие автоматизированного проектирования позволяет рассматривать все варианты задачи и выбирать из них лучший по некоторому критерию оптимальности.

Рыночные отношения вынуждают производителя по-иному взглянуть на процесс технологической подготовки производства нового изделия. В частности, необходимо снижать себестоимость продукции при сохранении ее качества и гибко реагировать на изменение потребительского спроса. Одним из способов решения этих задач на машиностроительных предприятиях является применение автоматизированных систем

проектирования РИ, которые ведут к повышению качества изготавливаемых изделий, снижению себестоимости и сроков проектирования.

В настоящее время в качестве систем автоматизированного проектирования применяют ТехноПро, СПРУТ-ТЕХНОЛОГИЯ и др.

Система ТехноПро предоставляет пользователям средства для автоматизации проектирования операционной технологии изготовления РИ, охватывая все типы технологических операций. Проектирование может осуществляться в диалоговом, полуавтоматическом или автоматическом режимах. Созданный техпроцесс сохраняется в файле и представляет собой электронный документ, который можно помещать в архив, пересылать по сети, редактировать и т.п. В основе методологии проектирования техпроцесса лежит принцип обучения системы на примерах технологий, уже отлаженных на конкретном производстве. Эта работа осуществляется при участии опытного технолога. Логическая модель техпроцесса строится на основе типовых операций и переходов, выбираемых из поставляемой с системой базы данных. Логика выбора возможной операции, режимов, инструмента и т.п. задается в редакторе условий. Наполняемая таким образом база конкретных технологических процессов, характерных для данного производства, аккумулирует многолетний опыт технологической подготовки производства, накопленный на предприятии. При использовании ранее созданных моделей каждый последующий техпроцесс проектируется существенно проще и быстрее.

По разработанным техпроцессам T-FLEX/ТехноПро формирует требуемые технологические документы: операционные карты, ведомости оснастки и др. Модуль ТехноПро полностью интегрирован с T-FLEX CAD. Модель, созданная в T-FLEX CAD, предоставляет данные о своей геометрии модулю ТехноПро, а сама эта модель отображается в окне операционного эскиза. Изменения, внесенные конструктором в модель, приводят к автоматической коррекции технологии с использованием созданной технологом логической модели техпроцесса.

При необходимости модуль может снабжаться базами данных с нормативами трудоемкости, режимами обработки и нормами расхода материала. В этом случае предоставляется возможность формировать ведомости расхода материалов и определять трудоемкость как по всему изделию, так и по отдельным узлам и сборочным единицам.

Система СПРУТ-ТЕХНОЛОГИЯ удовлетворяет ряду требований, позволяющих эффективно проектировать РИ :

- обладает полным функциональным набором средств компьютеризации инженерной деятельности;
- обеспечивает минимальные затраты времени на освоение и, при создании прикладного программного обеспечения, освобождает от программирования на системных языках (с сохранением той же функциональной мощности);
- обеспечивает автоматическое протоколирование (кодогенерацию) процесса проектирования, что позволяет накапливать знания, полученные в процессе обучения и объединять в дальнейшем имеющиеся наработки.
- дает возможность наглядной визуализации в процессе одновременного решения задач из различных областей: математики, теоретической механики, инженерной графики и т.п.;
- имеет детально разработанное методическое обеспечение по применению для различных прикладных проблем.

В результате применения данных систем при проектировании РИ значительно повышается производительность труда, уменьшается трудоемкость, достигается ощутимый экономический эффект.

В качестве перспектив развития автоматизированных систем проектирования РИ можно выделить следующие: повышение степени автоматизации проектирования, использование искусственного интеллекта, систем нейронных сетей при проектировании РИ.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ ГРУППОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Щербаков Н.П. – к.т.н., профессор,  
Белов А.Б. – магистрант

В настоящее время существуют различные подходы к автоматизации проектирования технологических процессов, например: генерация проектных решений, проектирование на базе комплексной детали (групповой технологии), диалоговое проектирование с поиском типовых решений и др. Каждый из подходов имеет свои преимущества и недостатки, поэтому актуальной становится задача выбора подхода, оптимального для конкретной области применения.

Для инструментального производства характерны огромная номенклатура изделий, отработанная классификация и высокая технологическая общность процессов изготовления внутри каждого класса. Поэтому оптимальным подходом здесь является автоматизация проектирования на основе групповой технологии. Реализация групповой обработки предполагает унификацию технологических проектных решений, что позволяет значительно сократить номенклатуру дорогостоящей оснастки и инструмента, осуществить специализацию рабочих мест и, соответственно, удешевить производство.

Разработка группового технологического процесса предполагает наличие группы деталей, для которой можно построить обобщенный маршрут обработки, включающий в определенной последовательности все операции, необходимые для обработки любой детали группы. При реализации автоматизированного проектирования рабочего технологического процесса можно исключать любое число операций и переходов из групповой технологии, но добавлять нельзя. Эти особенности существенно ограничивают область применения метода группового проектирования. Однако в системе предусмотрено решение, на основе принципов проектирования экспертных систем, которое позволяет вводить новые данные в базу знаний и затем использовать систему правил в виде продукции для выбора технологических проектных решений. Это дает возможность пользователю удалять или добавлять по своему усмотрению новые правила, учитывающие различные конструкционные особенности детали, и расширять, таким образом, область применения групповой технологии.

Все признаки, характеризующие деталь, необходимо разделить на классы:

1) признаки, определяющие группу (класс) детали. Применительно к инструментальному производству к этим признакам можно отнести:

- наименование инструмента (фреза концевая, сверло центровочное);
- наименование группы инструмента (фреза, резец, зенкер и др. инструменты);
- наименование подгруппы (инструмент сборный, монолитный, с твердосплавными пластинами и др.);

2) признаки, уточняющие особенности конструкции деталей внутри одной группы:

- признаки, определяющие выбор необходимой операции;
- признаки, определяющие выбор необходимого перехода;

Таким образом, применение принципов проектирования экспертных систем дает возможность пользователю редактировать правила, учитывающие различные конструкционные особенности детали, и расширять область применения групповой технологии.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МАГНИТНО- АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Фёдоров В.А. – к.т.н., доцент,  
Иконников А.М. – к.т.н., старший преподаватель,  
Столбов В.А. – магистрант

В машиностроении широко используются высокопроизводительные процессы изготовления деталей различными способами штамповки. В качестве инструментов для осуществления этих процессов используются пуансоны и матрицы. При этом качество рабочей поверхности формообразующего инструмента играет существенную роль в надежности его работы, что вызывает необходимость повышения качества рабочих поверхностей инструментов.

Качество рабочих поверхностей инструментов во многом определяется состоянием поверхностного слоя. Для формообразующего инструмента, к которому предъявляются повышенные требования по прочности и износостойкости, являются важными такие характеристики поверхности как шероховатость, отсутствие микротрещин, микротвердость, коррозионная стойкость. Основные свойства поверхности формируются в процессе её изготовления и, особенно, на отделочных операциях, которым в технологических процессах необходимо уделять особое внимание. Всё возрастающие требования к надежности инструментов вызвали необходимость совершенствования технологического процесса их изготовления, на базе применения новых отделочных методов обработки. Наиболее эффективными способами для обработки инструментов с фасонной поверхностью рабочей части являются методы, основанные на использовании эластичной связки или незакрепленного абразива.

Для решения приведенных выше проблем был разработан метод магнитно-абразивной обработки (МАО). Данный метод сочетает достоинства обработки свободным и закреплённым абразивом. Само понятие «магнитно-абразивная обработка» объединяет большую совокупность способов абразивного резания, использующих магнитное поле непосредственно в зоне обработки. МАО представляет собой – механический или механохимический съём металла и его окислов с поверхности обрабатываемой детали, а также сглаживание микронеровностей путем их пластического деформирования зёрнами магнитно-абразивного порошка.

К настоящему времени на способы МАО и устройства для их воспроизведения выдано более 250 патентов на изобретения и авторских свидетельств [1].

Все приспособления для МАО можно классифицировать по ряду конструктивных признаков.

Таблица 1 Морфологическая таблица конструктивных признаков магнитных индукторов

Конструктивные признаки	Альтернативные варианты			
<i>Тип источника магнитного поля</i>	Устройства на постоянных магнитах	Устройства на электромагнитах	_____	_____
<i>Характер тока</i>	Постоянного тока	Переменного тока	_____	_____
<i>Вид главного движения</i>	Вращение	Осцилляция	Вращение и осцилляция	Поступательное
<i>Форма индуктора</i>	Цилиндрические	Призматические	Специальные	_____
<i>Форма рабочей поверхности</i>	Плоская	Цилиндрическая	Фасонная	Трансформируемая
<i>Степень универсальности</i>	Специальные	Специализированные	Универсальные	_____
<i>Тип обрабатываемых поверхностей</i>	Наружные поверхности вращения	Внутренние поверхности вращения	Плоскости и линейчатые фасонные поверхности	Трёхмерные фасонные поверхности

Эти признаки позволяют классифицировать практически любое устройство для магнитно-абразивной обработки.

Электромагнитные индукторы нашли широкое применение при магнитно-абразивном полировании. Их основным достоинством считаются удобство управления средним значением индукции в рабочих зазорах путем регулирования тока в намагничивающих катушках. С помощью электромагнитов удается создавать поля с  $B=0,8 \div 1,4$  Тл в рабочих зонах с большим межполюсным расстоянием.

Электромагнитные индукторы удобны с точки зрения размагничивания рабочей зоны. Для изготовления электромагнитных индукторов не требуется дорогих и дефицитных материалов. К их недостаткам относятся большие размеры и масса намагничивающих катушек и индукторов в целом, затрудненная доступность к рабочей зоне, необходимость в отдельном блоке питания и управления индуктором, в герметизации катушек от попадания смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Для вращения индукторов необходимы скользящие электроконтакты, которые быстро изнашиваются и требуют частого ремонта. Близкое расположение полюсов электромагнитов приводит к появлению больших магнитных потоков рассеивания. Из-за этого бывает затруднено или невозможно полирование труднодоступных поверхностей и немагнитных материалов.

Таким образом, электромагнитные индукторы имеют ряд недостатков, проявления которых можно избежать за счет применения индукторов на постоянных магнитах. Выделим из общей морфологической таблицы признаки свойственные индукторам на постоянных магнитах.

Таблица 2 Морфологическая таблица конструктивных признаков индукторов на постоянных магнитах

Конструктивные признаки	Альтернативные варианты			
<i>Вид главного движения</i>	Вращение	Осцилляция	Вращение и осцилляция	Поступательное
<i>Форма индуктора</i>	Цилиндрические	Призматические	Специальные	
<i>Форма рабочей поверхности</i>	Плоская	Цилиндрическая	Фасонная	Трансформируемая
<i>Степень универсальности</i>	Специальные	Специализированные	Универсальные	
<i>Тип обрабатываемых поверхностей</i>	Наружные поверхности вращения	Внутренние поверхности вращения	Плоскости и линейчатые фасонные поверхности	Трехмерные фасонные поверхности

Использование постоянных магнитов для создания магнитного поля в рабочих зазорах позволяет отказаться от электрических схем питания индукторов, уменьшить вероятность остановки процесса полирования в связи с выходом из строя электрических аппаратов или электрического пробоя намагничивающих катушек. Отпадает необходимость в тщательной герметизации индуктора от попадания СОЖ. Из-за отсутствия намагничивающих катушек резко уменьшаются габаритные размеры и масса индуктора, что влечёт за собой множество конструктивных преимуществ.

На основе приведённой классификации можно легко описать конструкцию устройства для МАО на постоянных магнитах в контексте предъявляемых к нему требований. Например, устройство с повышенной степенью универсальности, согласно приведенной классификации, должно позволять проводить обработку наружных и внутренних поверхностей вращения, плоскостей и линейчатых фасонных поверхностей, а также трехмерных фасонных поверхностей. Вид главного движения предпочтителен вращательный, как наиболее простой в реализации. Форма рабочей поверхности индуктора должна иметь возможность трансформации для обработки поверхностей различного профиля. Таким образом, главным требованием к данному типу устройств является их универсальность.



Таким образом, можно сделать вывод, что одними из основных направлений по разработке устройств для МАО являются: повышение универсальности, использование простых методов реализации рабочего движения, обеспечение возможности обработки поверхностей различных геометрических форм.

1. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. – Л.: Машиностроение . Ленингр. Отделение, 1986.-176 с.

2. Пат. 2220836 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В 24 В 31/112. Устройство для магнитно-абразивной обработки/ Федоров В.А., Ситников А.А., Татаркин Е.Ю., Иконников А.М., Балашов А.В., Коневский И.Ф.; заявитель и патентнообладатель Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. - №2002110718/02; заявл. 2002.04.22; опубл. 2004.01.10

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОНЕРОВНОСТЕЙ ПРИ ТОЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Леонов С.Л. - к.т.н., профессор,  
Некрасов В.Н. - аспирант,  
Черданцев А.О. - студент

Качество поверхности является одним из важнейших факторов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства деталей машин и приборов. Наиболее существенным для практических целей является установление зависимости между параметрами конкретного технологического процесса обработки и показателями качества обработанной поверхности. С повышением уровня автоматизации процессов проектирования и изготовления в современном машиностроении все более широко применяются расчетно-аналитические методы определения и прогнозирования показателей качества изготовления деталей машин [1].

Математическую модель формирования топографии поверхности при торцевом фрезеровании можно представить в виде «черного ящика».

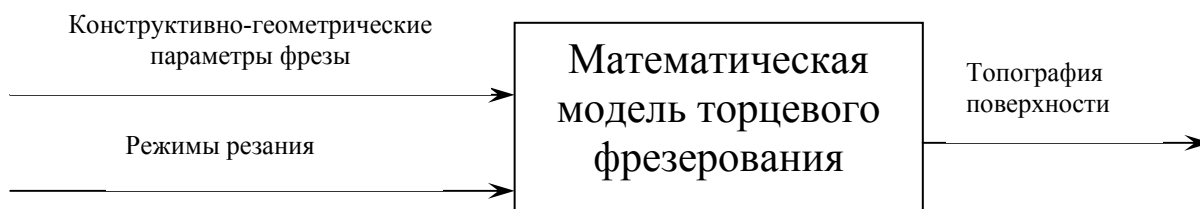


Рисунок 1. Модель в виде черного ящика

Под конструктивно геометрическими параметрами понимаются: диаметр фрезы, количество зубьев и профиль зуба в осевой плоскости.

Под режимами резания понимаются:

$n$  – частота вращения фрезы (об/мин);

$S_m$  – минутная подача (мм/об);

$t$  – глубина фрезерования (мм).

Математическую модель торцевого фрезерования можно разделить на составные части: модель инструмента, модель обрабатываемой поверхности и модель процесса резания.

В данной методике расчета топографии принята декартова система координат с осями LCY. Плоскость LC перпендикулярна оси вращения фрезы, ось L направлена параллельно движению подачи в сторону относительного движения инструмента относительно заготовки, ось C перпендикулярна оси L, ось Y перпендикулярна осям C и L (Рисунок 2).

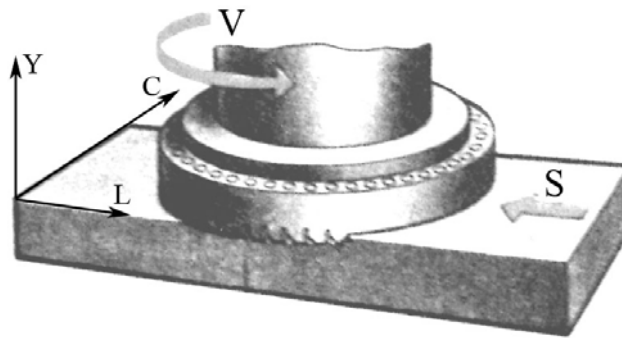


Рисунок 2. Система координат LCU

Математическая модель инструмента. Предлагаемая модель использует фрезу с равномерно распределенными по окружности зубьями с интервалом  $(360/N)^\circ$ . Фреза имеет следующие конструктивно-геометрические параметры:

- диаметр  $D$ ;
- количество зубьев  $N$ ;
- профиль зуба в осевой плоскости;

Под диаметром фрезы в дальнейшем будет пониматься удвоенное расстояние от оси вращения фрезы до самой нижней точки зуба фрезы в момент начала обработки. Под профилем зуба в осевой плоскости будет пониматься круговая проекция режущих кромок на плоскость, проходящую через ось вращения фрезы и самую нижнюю точку рассматриваемого зуба.

Предполагается, что все зубья фрезы имеют одинаковые геометрические параметры и соответственно одинаковые профили в осевых плоскостях (рисунок 3).

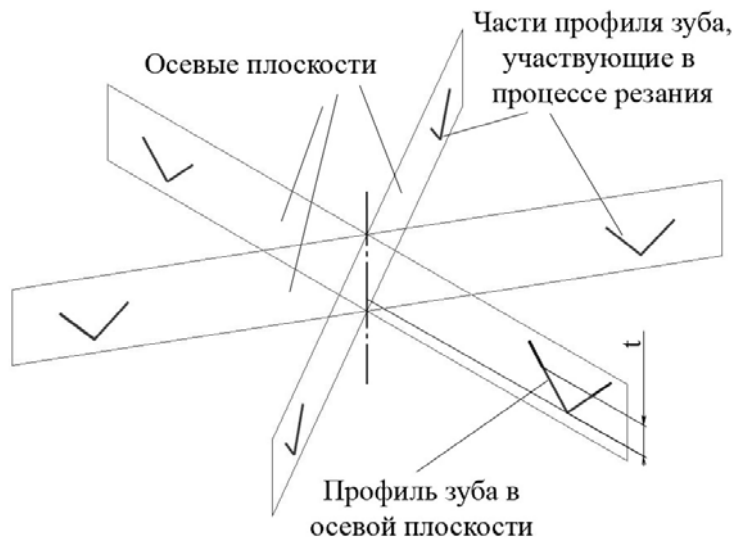


Рисунок 3. Модель фрезы

При описании профиля зуба удобно пользоваться двухмерной локальной системой координат  $ZX-ZY$  расположенной в осевой плоскости этого зуба (рисунок 4).

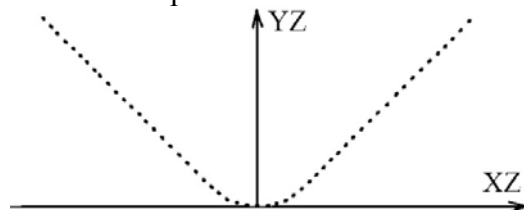


Рисунок 4. Локальная система координат YZ-ZX

В данной координатной плоскости задаётся набор точек описывающих профиль зуба. По набору точек строится сплайн функция.

Математическая модель обрабатываемой поверхности. Обрабатываемую поверхность, а точнее рассчитываемый участок удобно представить в виде сетки (рисунок 5).

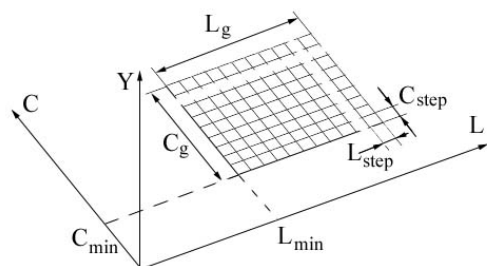


Рисунок 5. Модель обработанной поверхности.

Координаты  $L$  и  $C$  узлов сетки постоянны, а координата  $Y$  вычисляется при расчете топографии. Сетка задается при помощи следующих параметров:

- координаты базового узла сетки  $L_{\min}$  и  $C_{\min}$ , (мм);
- длина  $L_g$  и ширина  $C_g$  контролируемого участка, (мм);
- шаг сетки  $L_{\text{step}}$  и  $C_{\text{step}}$  вдоль осей  $L$  и  $C$  соответственно, (мм).

Модель процесса резания. Топография обработанной поверхности получается путем вырезания профиля зуба с учетом кинематики его движения, из исходного тела заготовки. При моделировании выполняется последовательный расчет параллельных профилограмм, расположенных вдоль одной из осей  $L$  или  $C$ . Имея набор рассчитанных профилограмм, не составляет труда сформировать топографию обработанной поверхности. Расчет отдельной профилограммы выполняется по следующему алгоритму:

1. Рассчитываем моменты времени начала и завершения формирования профиля.
2. Перебирая постепенно моменты времени с некоторым шагом, находим момент времени когда профиль зуба начинает взаимодействовать с профилограммой.
3. Перебирая далее, рассчитываем точки пересечения профиля зуба и профилограммы, до тех пор пока профиль зуба не перестанет пересекать профилограмму.
4. Геометрически вычитаем контур, очерченный рассчитанными точками из исходного профиля.
5. Возвращаемся к пункту 2 до тех пор, пока не достигнут конечный момент времени.

- На основе полученной топографии можно рассчитать все параметры качества обработанной поверхности.

- Подобный подход к моделированию топографии можно расширить на другие виды обработки металлов резанием.

- Описанная математическая модель может использоваться в научных исследованиях и учебном процессе.

1. Литовченко П.И., Кундрак Я., Шарамко С.А. Программное обеспечение аналитического расчета параметров шероховатости поверхности, обработанной точением или растачиванием. Республиканский межведомственный научно-технический сборник Резание и инструмент. Харьков, 1989., с. 53-55.

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОРЕЛЬЕФА ПРИ ШЛИФОВАНИИ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Ситников А. А. - д.т.н., профессор,  
Мостовая Я. Г. - аспирант

Для получения требуемого качества поверхности и размеров детали после напыления необходима последующая обработка. Для окончательной обработки деталей с износостойкими покрытиями широко используется шлифование. Особенностью процесса

шлифования керамических покрытий является то, что съем металла осуществляется в процессе развития микротрещин из дефектов его структуры:

- в процессе трещинообразования участвуют макродефекты (поры напыленного покрытия), линия роста микротрещины проходит от поры к поре. Образуется развитый рельеф, состоящий из поверхностей расслоения частиц покрытия и хрупкого разрушения при развитии микротрещин из пор покрытия;

- в процессе трещинообразования участвуют микродефекты (малые включения, дефектах кристаллической решетки), поверхность формируется вблизи от траектории движения зерен инструмента с образованием плоских площадок с субмикрорельефом. Плоские участки с субмикрорельефом образуются вследствие непосредственного срезания материала зерном шлифовального круга.

Следовательно, съем металла при обработке газотермических покрытий превышает глубину резания вследствие распространения трещины в глубину покрытия.

Траектория развития трещины зависит от характера распределения максимальных напряжений, возникающих в обрабатываемом материале при шлифовании. Каждая пора напыленного износостойкого покрытия является концентратором напряжений. Поэтому линия роста микротрещины с большей вероятностью проходит от поры к поре. Плоские участки с субмикрорельефом образуются при непосредственном срезании материала зерном шлифовального круга. При увеличении глубины резания преобладает процесс развития микротрещин и относительная величина плоских участков снижается, что подтверждается экспериментальными исследованиями.

Для проектирования операции шлифования детали с покрытием необходимо назначить режимы резания и выбрать инструмент, которые должны обеспечить получение требуемых параметров качества. Сложность заключается в том, что в литературе мало рекомендаций по выбору режимов резания и характеристик инструмента. Имитационное моделирование позволяет прогнозировать качество обработки детали на выбранных режимах резания и характеристиках инструмента, меняя эти исходные данные, можно узнать обеспечивают ли они технические требования.

В основе имитационной модели формирования микрорельефа поверхности детали при шлифовании керамических покрытий лежит имитационный подход, который заключается в следующем:

- съем металла (формирование стружки) происходит за счет взаимодействия абразивных зерен с поверхностью покрытия;

- профиль обработанной поверхности детали формируется за счет наложения профилей абразивных зерен с учетом хрупкого разрушения поверхностного слоя покрытия;

- координаты режущих зерен и их профиль являются случайными параметрами, которые зависят от геометрии зоны контакта, режимов резания и характеристики инструмента.

Вначале для моделирования задается исходный профиль заготовки. Порам покрытия присваиваются случайные координаты. На исходную поверхность заготовки накладываются профили абразивных зерен, с учетом их случайных параметров, положения по поверхности инструмента и случайной глубины резания. Для формирования микрорельефа происходит перебор координат пор в покрытии по критерию:

$$\min(\sqrt{(x_i - x_{i,0})^2 + (y_i - y_{i,0})^2} + \alpha y_i).$$

В соответствии с этим строится траектория развития микротрещин. В данной модели считается, что поры распределяются в покрытии по равномерному закону, зерна шлифовального круга распределяются по поверхности инструмента по равномерному закону, по глубине по нормальному закону, распределение размера зерна происходит по нормальному закону. Распределение радиусов вершин зерен  $\rho$  изменяется в диапазоне от  $\rho_{\min}$  до  $\rho_{\max}$ , глубина резания каждым зерном изменяется в пределах от 0 до  $t$ .

Фактическая глубина резания определяется из уравнения баланса перемещений в технологической системе. Количество зерен, участвующих в процессе обработки, рассчитывается исходя из объема круга, в котором эти зерна находятся:

Исходными данными для расчета являются: физико-механические свойства материала: твердость, пористость, когезионная прочность; геометрические параметры инструмента и заготовки; характеристика инструмента: зернистость, номер структуры; режимы резания: частота вращения шлифовального круга, подача, частота вращения заготовки.

В результате имитационного моделирования получается профилограмма поверхности детали, по которой определяются параметры шероховатости и величина съема металла. Модель позволяет проделать многократный расчет профилограммы поверхности обработанной детали с покрытием и сформировать рекомендации по проектированию операции шлифования деталей с покрытиями.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СВЕРХВЫСОКОСКОРОСТНОГО ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Некрасов В.Н. - аспирант

До недавнего времени одной из основных причин ограничения скорости резания и производительности обработки был режущий инструмент [1]. Однако в ходе исследований и регулярных открытий в этой области выяснилось, что сдерживающий фактор, связанный с ограниченными возможностями инструмента в сравнении с оборудованием, преодолевается. Стали доступны скорости резания в десятки раз превышающие классические скорости резания [2]. Сверхвысокоскоростное фрезерование базируется на сокращении количества тепла, возникающего при обработке резанием, которое ослабляет инструмент. При обычной обработке с возрастанием скорости резания и уменьшением толщины стружки повышается температура обрабатываемой заготовки, стружки и инструмента. Но если увеличить скорость резания в 10-15 раз, то температура режущих кромок изменяется незначительно. Причина этого заключается в том, что скорость резания превышает скорость теплопроводности обрабатываемого материала. Фреза "опережает" распространение тепла: основная доля тепла, образующегося в зоне контакта, отводится со стружкой, а в основной металл заготовки и фрезы фактически не поступает. За счет этого значительно увеличивается стойкость инструмента. Исследования, проведенные во время сверхвысокоскоростной обработки с правильно подобранными параметрами, показали, что 75% произведенного тепла отводится со стружкой, 20% - через инструмент и 5% - через обрабатываемую деталь [3].

В основе принципа высокоскоростной обработки лежит теория немецкого исследователя Саломона, гласящая, что при высоких скоростях резания температура на режущей кромке ниже, чем при обычных скоростях. Тем не менее, технология высокоскоростной обработки подразумевает не просто повышение скорости резания, а пересмотр всей концепции обработки. Высокоскоростная обработка предполагает не просто повышение частоты вращения шпинделя, а именно увеличение скорости резания, в том числе при тех же частотах вращения за счет увеличения диаметра инструмента. При обработке, например, закаленных сталей скорости резания и подачи часто превышают общепринятые в 10-15 раз. Таким образом, основные отличия высокоскоростной обработки от обычной заключаются в:

- увеличении скорости резания;
- увеличении подачи;
- уменьшении сечения стружки;
- сокращении до минимума температуры на режущей кромке;
- уменьшении усилий резания;
- уменьшении износа инструмента.

Потенциал сверхвысокоскоростной обработки определяется следующими ее особенностями:

- большой удельный съем материала в единицу времени;

- высокое качество обработки;
- уменьшение усилий резания, за счет этого возможность обработки тонкостенных деталей;
- уменьшение образования заусенцев;
- меньшее нарушение целостности верхних слоев материала.

Станочное оборудование, обеспечивающее частоту вращения 30..40 тыс. об/мин, получило распространение лишь последние пять лет. Ввиду новизны, сверхвысокоскоростное резание, достигающее скорости движения режущей кромки 2000 – 5000 м/мин, изучено мало.

Кроме производительности, повышение качества обработанной поверхности также является одной из первоочередных задач технологии машиностроения. Качество поверхности является одним из важнейших факторов, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства деталей машин и приборов. Триботехнические свойства поверхностей в основном определяются ее параметрами шероховатости в различных сечениях. Поэтому наиболее существенным для практических целей является установление зависимости между параметрами конкретного технологического процесса обработки и показателями шероховатости обработанной поверхности на ее различных участках.

Действующие стандарты по определению и заданию шероховатости существенно ограничивают прогнозирование свойств обработанных поверхностей. В этом плане перспективным является переход от методов профилографирования к прогнозированию топографии поверхностей в процессе и по окончании обработки. Широкие возможности для получения поверхностей с заданными топографическими свойствами имеет процесс фрезерования, характеризующийся высокой производительностью, универсальностью и точностью. При фрезеровании различают два основных движения: вращение фрезы вокруг своей оси – главное движение и перемещение заготовки относительно фрезы – движение подачи. Сложение этих двух движений дает циклоидальную кривую. При резании по такой траектории шероховатость на разных участках обработанной поверхности получается неодинакова. Значит, оценка шероховатости по одной профилограмме оказывается недостаточной.

В соответствии с вышеизложенным, появляется необходимость решить следующие задачи:

- комплексное изучение физических явлений, протекающих на сверхвысоких скоростях и их технологических возможностей;
- формирование рекомендации, регламентирующие оценку параметров микро топографических свойств поверхности и методики их контроля;
- разработка модели формирования поверхности при торцевом фрезеровании, учитывающую геометрию инструмента и режим резания и позволяющую оценить ее шероховатость поверхности в различных сечениях, а также микро топографические свойства.

1. Яковлев Г.Н. Применение сверхвысоких скоростей резания при обработке металлов. – «Вестник металлопромышленности», 1940, № 4-5.
2. Официальный сайт фирмы Sandvik: [www.coromant.sandvik.com/ru](http://www.coromant.sandvik.com/ru).
3. Westphal H. Bearbeitung schwerzerspanbarer Werkstoffe. // Moderne Zerspannungswerkzeuge in optimierten Prozessketten, Schmalkalden, 2002

#### ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Хоменко В.А. - д.т.н., профессор,  
 Леонов С.Л. - к.т.н., профессор,  
 Некрасов В.Н. - аспирант,  
 Черданцев А.О. - студент

Техническая проблема повышения производительности и качества процессов обработки резанием в условиях гибкого автоматизированного производства связана с решением ряда научных задач [1, 2]. Среди них – математическое моделирование формообразования и

резания; формализация и алгоритмизация проектирования инструментов и технологии; математическое обеспечение автоматизированных систем конструкторской, технологической, инструментальной подготовки производства, а также систем и станков с ЧПУ; развитие теории и методики управления формообразованием и конструированием; прогнозирование, синтез и разработка новых поверхностей, режущих инструментов и способов обработки[3].

Одним из важных вопросов среди этих задач, является проектирование инструмента, удовлетворяющего условиям получения поверхности с заданными свойствами и качеством, параметрами используемого оборудования, типа производства и др[4].

При проектировании торцовых фрез, наиболее важными параметрами являются конструктивно-геометрические. А именно: диаметр фрезы, количество зубьев, геометрия зубьев инструмента и материал режущей части. Каждый из них, так или иначе, влияет на параметры качества обработанной поверхности, мощность резания, производительность. При решении такой задачи проектировщику, зачастую приходится пользоваться справочными таблицами, эмпирическими формулами, собственным опытом, возможности которых ограничены.

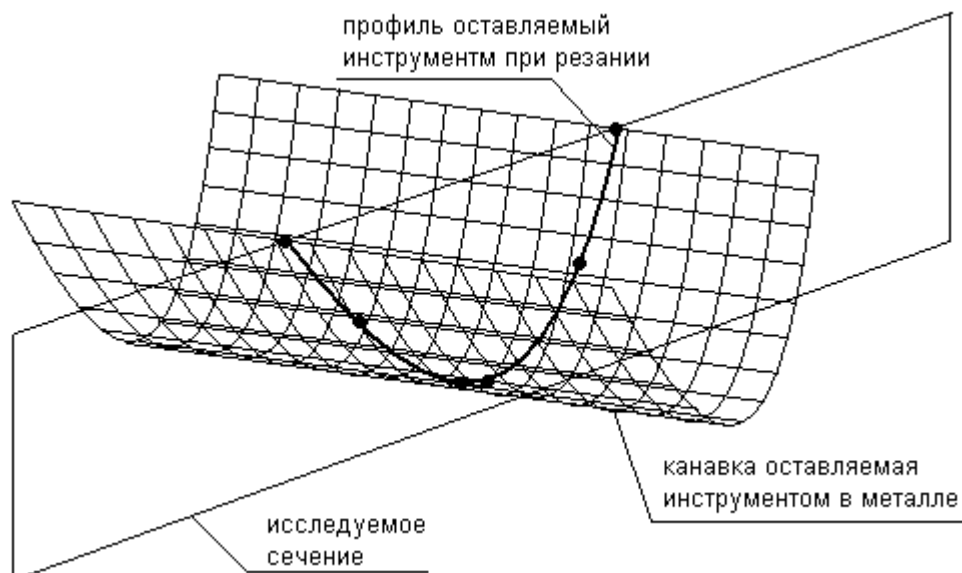


Рисунок 1. Использование имитационного подхода при моделировании резания.

Для быстрого и эффективного проектирования торцовых фрез предлагается использование разработанной модели, позволяющей оценить качество обработанной поверхности при различных параметрах инструмента и режима резания. Модель реализована в виде программы для ЭВМ и обладает неограниченной свободой выбора параметров инструмента и режима резания. При моделировании процесса фрезерования использовался имитационный подход. Он позволяет при относительно простом математическом аппарате модели достаточно точно рассчитывать параметры качества обработанной поверхности. Имитационный подход заключается в следующем. Зуб режущего инструмента, при резании, внедряясь в металл, оставляет за собой прорезанную канавку (Рисунок 1), профиль сечения которой, проведенный перпендикулярно к направлению движения зуба в текущий момент времени, соответствует профилю зуба. Это означает, что при расчете профилограммы обработанной поверхности, необходимо в заданных местах, вырезать из исходного профиля заготовки профиль зуба с учетом его кинематики движения при резании. Кинематику движения зуба необходимо учитывать, так как при торцевом фрезеровании зуб совершает движение по сложной циклоидальной траектории. И при пересечении траектории зуба и исследуемой профилограммы, профиль канавки искажается. При моделировании,

параллельные профилограммы рассчитываются с малым шагом друг от друга. Шаг один из задаваемых параметров моделирования. Затем из них формируется поверхность отражающая микротопографию обработанной поверхности (Рисунок 2), которая выводится на экран в графическом виде. По рассчитанной поверхности можно узнать параметр  $R_a$  в любом сечении, параллельном оси подачи заготовки. В силу особенностей процесса торцевого фрезерования, шероховатость на разных участках обработанной поверхности не одинакова, поэтому в качестве альтернативных параметров качества поверхности введены объемные: среднее квадратичное отклонение поверхности  $R_a'$ ; максимальное отклонение поверхности  $R'max$ ; относительная площадь поверхности на заданном уровне  $tr'$ .

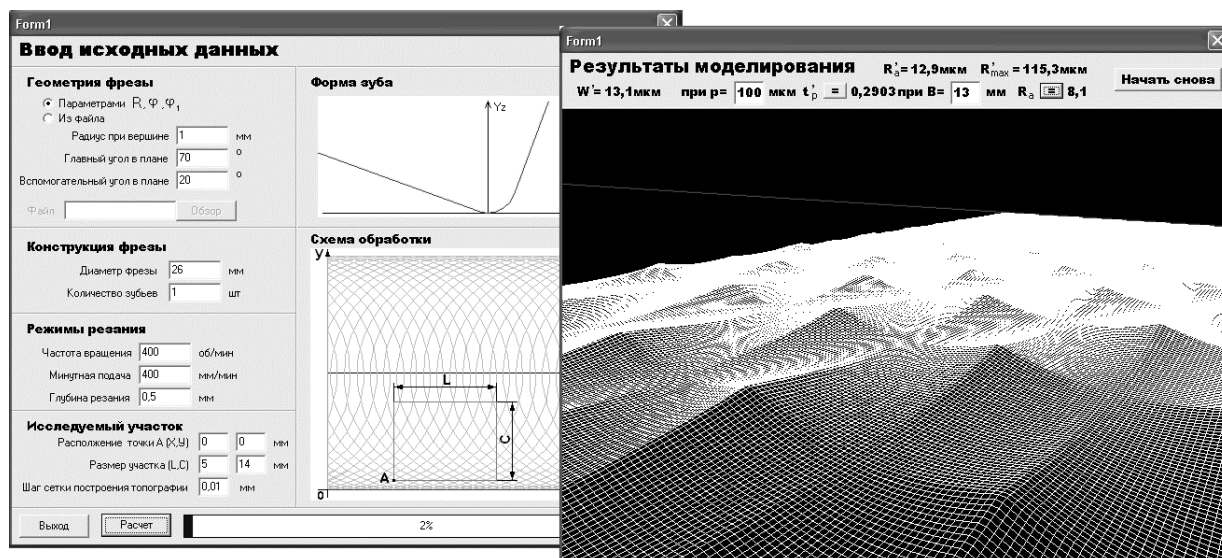


Рисунок 2. Экранные формы ввода данных и вывода результата расчета.

Предлагаемая модель:

- позволяет эффективно выбирать конструктивно-геометрические параметры путем подбора;
- может использоваться для проверки принятых проектных решений;
- дает возможность оценить шероховатость поверхности при заданных параметрах инструмента и режима резания.

1. Б.А. Перепелица, П.И. Литовченко, В.И. Французов, В.И. Урбанович Обобщение и формализующие возможности многопараметрических отображений в теории формообразования и проектирование режущих инструментов. Республиканский междуведомственный научно-технический сборник Резание и инструмент. Харьков, 1985.
2. Г.А. Прошин, Ю.П. Симоненко. Совмещение черновой и чистовой обработок при торцевом фрезеровании. Республиканский междуведомственный научно-технический сборник Резание и инструмент. Харьков, 1990.
3. Краткий справочник конструктора: Справочник – Л: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1983. – 464 с.
4. Кувшинский В.В. Фрезерование. М., «Машиностроение», 1977. 240 с.

#### АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Щербаков Н.П. – к.т.н., профессор,  
Черных А.Н. – магистрант

В настоящее время из-за роста номенклатуры выпускаемых изделий время технологической подготовки производства (ТПП) стало соизмеримо со временем нахождения изделия в производстве, что негативно сказывается на производительности.



Одним из путей решения возникшей проблемы является полная или частичная автоматизация ТПП. Одной из задач решаемых ТПП является инструментальное обеспечение технологических процессов в машиностроении. Для сокращения времени проектирования технологии изготовления режущего инструмента целесообразно применять системы автоматизированного проектирования (САПР), но только при экономическом обосновании данного внедрения, потому что такие системы имеют высокую стоимость и не каждое предприятие может себе это позволить.

Применительно к проектированию технологии изготовления режущего инструмента такие системы позволяют повысить производительность в 3 – 20 раз за счет сокращения времени проектирования и использования библиотек готовых технологических процессов (ТП). А также повысить качество принимаемого решения за счет оптимизации спроектированных вариантов технологических процессов по некоторому критерию оптимальности.

Автоматизация проектирования технологии изготовления режущего инструмента может вестись как на базе единичных ТП, так и на базе унифицированных (групповых и типовых) ТП. Проектирование единичных ТП ведется методом синтеза при помощи таблиц соответствия, а на базе унифицированных – методом анализа, путем доработки типового ТП до рабочего. При использовании метода анализа ведется конструкторско-технологическая классификация и каждому инструменту присваивается код, по которому происходит поиск типового ТП.

Использование ЭВМ для проектирования технологии изготовления режущего инструмента дает значительное увеличение производительности проектирования, сокращение времени ТПП, возрастание качества принимаемых решений, возможность проработки нескольких вариантов технологии изготовления инструмента. Таким образом применение ЭВМ дает ощутимый экономический и технический эффект.

Перспектива развития проектирования технологии изготовления режущего инструмента связана с появлением таких систем, которые будут обеспечивать весь путь проектирования от ввода исходных данных до получения готового инструмента.

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Хоменко В.А. - д.т.н., профессор,  
Черных А.Н. – магистрант,  
Осипов Ю.К. – аспирант

Одним из показателей качества прессовых соединений свертных втулок с корпусами является точность обработанного отверстия, на которое влияет множество различных факторов, в том числе, и форма рабочего профиля деформирующего инструмента. При обработке свертных втулок пластическим деформированием основной проблемой является определение расчетных предельных размеров дорнов, обеспечивающих получение размеров деталей в поле допуска на их изготовление.

С целью повышения эффективности расчета исполнительных размеров дорна ( $d_{дор}$  – диаметр дорна,  $b$  – ширина ленточки,  $\alpha$  – угол заборного конуса) (рис. 1) в среде Microsoft Excel разработана система «Расчет дорна». Указанная система состоит из базы данных, включающей в себя сведения о физико-механических свойствах материала втулки (модуль упругости  $E$ , коэффициент Пуансона  $\mu$ , сопротивление пластической деформации при растяжении  $\sigma$ ) (рис. 2) и рабочей программы. Языком программирования в среде Microsoft Excel является Visual Basic for Application (VBA), при этом используется структурированный язык запросов SQL.

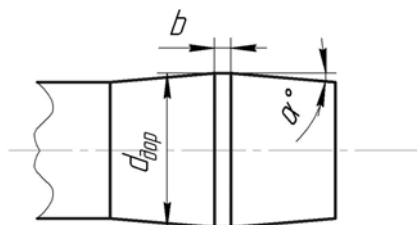


Рисунок 1 – исполнительные размеры дорна

Microsoft Excel - расчёт дорна

А	В	С	Д	Е	Г	Н
1	Количество материалов:	1				
2						
3	Порядковый номер	Материал	Е	μ	σ	
4	1	Сталь 45	200000	0,33	32	

Рисунок 2 – Физико-механические свойства материала

Процедура расчета исполнительных размеров инструмента включает:

- ввод исходных данных, включающих: диаметр отверстия в корпусе D, диаметр втулки до обработки  $d_3$ , диаметр втулки после обработки d (все размеры задаются в виде номинальный размер, допуск на размер  $\delta$ , верхнее отклонение Es);

Microsoft Excel - расчёт дорна

А	В	С	Д	Е
1	Диаметр отверстия корпуса	D	24	
2		$\delta D$	0,052	
3		EsD	0,052	
4	Диаметр отверстия втулки до обработки	$d_3$	21	
5		$\delta d_3$	0,252	
6		Es $d_3$	0,552	
7	Диаметр отверстия втулки после обработки	d	22	
8		$\delta d$	0,033	
9		Es d	0,053	

Рисунок 3 – Ввод исходных данных

- выбор материала втулки из предлагаемых вариантов;

10	Материал втулки	Сталь 45			
11	Модуль упругости	Сталь 45	E	200000	
12	Коэффициент Пуассона	Бронза БрОЦ 4-4-2,5	μ	0,33	
13	Сопротивление пластической деформации при растяжении	Латунь	σ	32	
14		Сталь 30			

Рисунок 4 – Выбор материала втулки

- расчет исполнительных размеров инструмента, включающих диаметр дорна  $d_{дор}$ , ширину ленточки b, угол заборного конуса  $\alpha$ .

24				
25	Максимальный диаметр дорна	$d_{дорmax}$	22,0545	
26	Минимальный диаметр дорна	$d_{дорmin}$	22,0215	
27				
28				
29	Ширина ленточки	b	1,6437	
30				
31	Угол заборного конуса	$\alpha$	5,75780771	
32				
33				

Рисунок 5 – Расчет исполнительных размеров

Особенности системы:

- выполнение программы в среде Microsoft Excel сделало программу более доступной (чем, например в среде FoxPro и др.) для пользователя, так как Microsoft Excel является приложением Microsoft Office, установленного практически на каждом PC;
- программа работает в ОС Windows, что более удобно для пользователя, чем при работе с приложениями MS DOS;
- визуальное оформление программы в удобной диалоговой форме делает её простой и доступной в эксплуатации.

Представленная система разработана в помощь конструктору по проектированию инструмента. Она позволяет сократить время расчета исполнительных размеров при проектировании дорна.

#### КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫБОРА ИНСТРУМЕНТА И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ШТАМПОВ

Аскалонова Т.А. - к.т.н., доцент,  
Яковлев С.В. - магистрант

Пространственно-сложные поверхности (ПСП) штампов, используемых в машиностроении, имеют высокие требования по качеству поверхности. В настоящее время основным способом их получения является обработка резанием – фрезерование.

Недостатком данного способа обработки является его трудоемкость: на изготовление одного штампа средних размеров уходит до 12-15 часов. Во многом это связано со спецификой объемного фрезерования – при обработке ПСП существует множество возможных траекторий движения инструмента. На кафедре «Технология автоматизированных производств» Алтайского государственного технического университета им. И.И.Ползунова разработана программа «Contur» для автоматизированного проектирования траектории движения инструмента при черновой обработке, когда снимается основной объем металла. Слабое место этой программы – предлагаемые виды траекторий не обеспечивают полного удаления металла.

Решением проблемы является оптимизация выбора радиуса фрезы для полученной траектории. Оптимизация проходила на примере обработки молотового штампа для изготовления крюка. В среде Компас 3D были воссозданы сечения, для каждого из которых с помощью программы «Contur» получали траекторию обработки. Среди исходных данных были значения радиуса фрезы. После проектирования траектории программа выдает объем удаленного материала. Для каждого сечения был найден оптимальный радиус инструмента по критерию объема удаленного материала.

При чистовом фрезеровании было рассмотрено сечение остаточного гребешка.

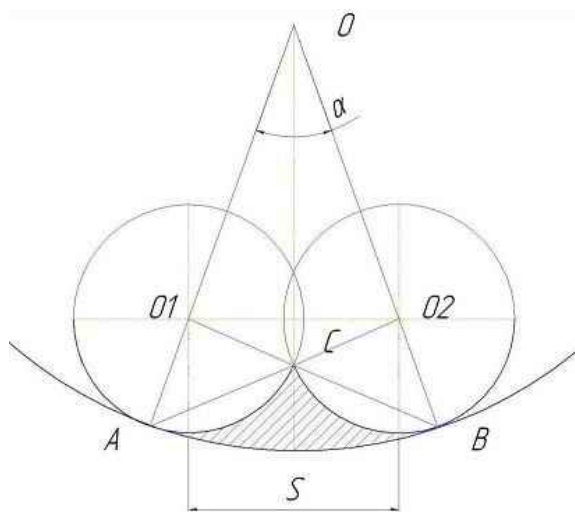


Рисунок 1 – Схема фрезерования сферической фрезой

В данном случае  $R=O_1A=O_1B$  – радиус кривизны обрабатываемой поверхности,  $r=O_1A=O_1B$  – радиус сферы инструмента,  $S=O_1O_2$  – периодическая подача. При таком виде обработки возникает остаточный гребешок, который являет область АСВ. Площадь этой области можно найти по полученной формуле

$$S_{сп.} = \frac{\pi R^2}{180} \cdot \arcsin\left(\frac{S}{2 \cdot (R-r)}\right) - \frac{\pi \cdot r^2}{180} \cdot \left( \arcsin\left(\frac{S}{2 \cdot (R-r)}\right) + \arcsin\left(\frac{S}{2r}\right) \right) - (R-r) \cdot r \cdot \sin\left( \arcsin\left(\frac{S}{2 \cdot (R-r)}\right) + \arcsin\left(\frac{S}{2r}\right) \right)$$

Приняв значения радиуса кривизны обрабатываемой поверхности и радиуса фрезы постоянными и равными соответственно 200 и 8 мм, получим зависимость площади сечения остаточного гребешка от строчечной подачи, представленную на рис. 2.

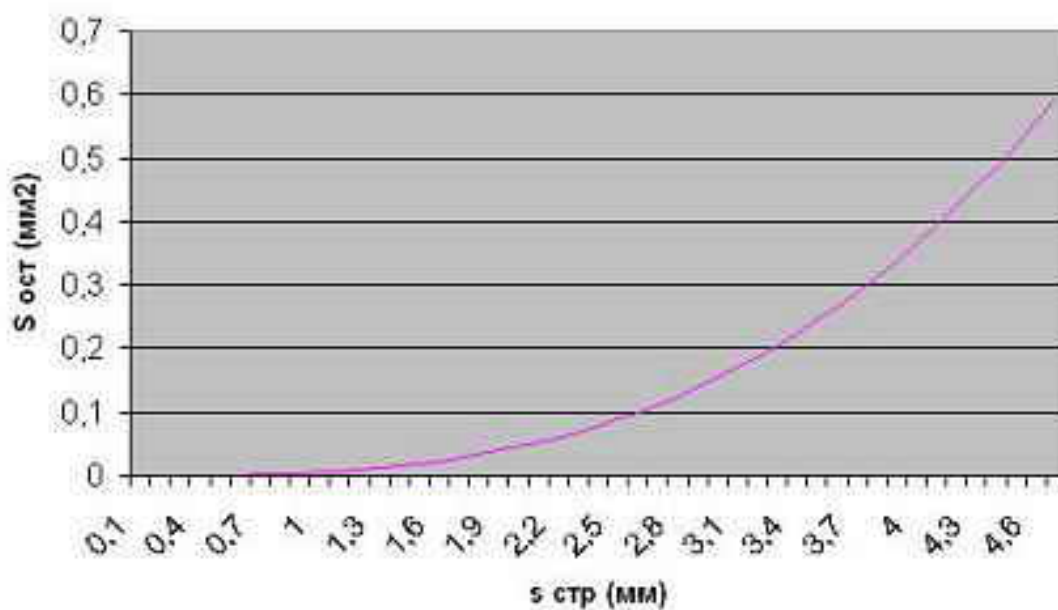


Рисунок 2 – График зависимости площади остаточного гребешка  $S_{ост}$  от строчечной подачи  $s_{стр}$  при  $R=200$  мм,  $r=8$  мм

Варьируя величиной строчечной подачи можно управлять обеспечением качества обрабатываемой поверхности.

Проведя оптимизацию по выбору инструмента и назначению режимов обработки, производительность фрезерования ПСП штампов повышается в 1,5 раза по сравнению с применяемыми на производстве технологиями.

1. Яковлев С.В., Аскалонова Т.А. Выбор программного обеспечения для трехмерного твердотельного моделирования штампа/ Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям развития науки и техники. – Барнаул, 2005.

2. Пономарев Б.Б. Оптимизация стратегии фрезерования сложных поверхностей. Изд-во Иркутского государственного технического университета. Иркутск, 2003.

#### РАСЧЕТ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Щербаков Н.П. – к.т.н., профессор,  
Яров А.А. – магистрант,

Начало 21 века охарактеризовалось высоким темпом развитием машиностроительных производств, результатом чего стало увеличение номенклатуры выпускаемых изделий, а

особенно рост требований к качеству продукции. Увеличение номенклатуры производимых изделий ставит в жесткие рамки время проектирования технологического процесса (ТП), как самого изделия, так и изготовления режущего инструмента. Обеспечение темпов роста промышленности - важная задача, решаемая на уровне технологической подготовки производства. Одной из проблем решаемых технологической подготовкой производства (ТПП) является инструментальное обеспечение технологических процессов в машиностроении. Многообразие выпускаемой продукции привело к усложнению формообразующих операций и, следовательно, к необходимости появления большого количества инструментов разнообразных типоразмеров. В данный момент проектирование инструмента стало занимать большой объем времени, соизмеримый со временем разработки технологического процесса изготовления детали в целом. Одним из путей решения возникшей проблемы является полная или частичная автоматизация ТПП, в частности проектирование режущего инструмента с использованием ЭВМ.

Автоматизированное проектирование режущего инструмента может осуществляться на различных уровнях – от поиска требуемого типоразмера инструмента до осуществления новых конструктивных решений с использованием ЭВМ в режиме диалога. Сложность автоматизированного проектирования вызвано рядом причин: разной трудоемкостью расчетов различных видов режущего инструмента, в том числе стандартного или специального; различным типам производства и параметрами используемых ЭВМ; изменяющимися и быстро растущими возможностями компьютеров.

Расчет отдельных видов инструмента ведется по известным алгоритмам, которые легко поддаются программированию на ЭВМ. На современном этапе с помощью ЭВМ может быть рассчитано: набор геометрических параметров режущей части, инструментальный материал, элементы конструкции и крепления инструмента, а также весь жизненный цикл изготавливаемого изделия.

Использование ЭВМ для расчета различного режущего инструмента дает значительное увеличение производительности проектирования, сокращение времени ТПП, возрастание качества принимаемых решений, возможность проработки нескольких вариантов конструкции инструмента и технологии их изготовления. Таким образом применение ЭВМ дает ощутимый экономический и технический эффект.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН ЗАВЫШЕНИЯ И ЗАУЖЕНИЯ НА СТОРОНУ ВЫСОТНЫХ ЗУБЬЕВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ С ПРОГРЕССИВНОЙ СХЕМОЙ РЕЗАНИЯ

Черданцев П. О. - аспирант

Хоменко В. А. - д. т. н., профессор

На современном этапе развития зуборезного инструмента наиболее перспективным путём повышения стойкости червячных фрез является применение конструкций, обеспечивающих раздельное стружкообразование на вершинной и боковых режущих кромках, в частности, червячные фрезы с прогрессивной схемой резания.

При обычной схеме резания каждый зуб, прорезающий впадину колеса, работает двумя или тремя кромками, срезая Г- или П-образные слои, то есть работает в условиях несвободного резания. Для червячных фрез характерен износ по задним поверхностям боковых кромок, превышающий износ по задней поверхности вершинной кромки вследствие совместной усадки стружек разной толщины, и образование значительной лунки износа на передней поверхности вблизи уголка выходной режущей кромки вследствие схода стыка стружек.

При работе фрезами с прогрессивной схемой условия резания приближаются к условиям свободного резания благодаря разделению стружки, снимаемой вершинной и боковыми режущими кромками за счёт чередования через один зубьев нормального и завышенного профиля. При этом уменьшается деформация срезаемых слоёв металла (прежде всего на боковых режущих кромках), изменяется направление схода стружки. Стойкость червячных

фрез с прогрессивной схемой резания в 1,5 – 2 раза (а иногда до 4 – 5 раз) выше, чем стойкость фрез стандартной конструкции.

Однако результаты исследований [1], а также производственные наблюдения, сделанные на ОАО ПО «АМЗ» (Барнаул), указывают, что высотные зубья червячных фрез с прогрессивной схемой резания изнашиваются по задней поверхности больше, чем зубья с нормальным профилем. Для объяснения этого явления было осуществлено графическое моделирование процесса формирования впадины зубчатого колеса (в торцевой плоскости) червячной фрезой с прогрессивной схемой резания в среде КОМПАС-ГРАФИК 7+.

Полагали, что обрабатывается колесо модуля  $m=3,5$  мм с числом зубьев 36 червячной фрезой с числом реек 10. При этом сделаны следующие допущения и предположения: не учитывалась подача червячной фрезы вдоль заготовки; первым в работу вступал высотный зуб; ось симметрии одного из зубьев совпадает с осью симметрии заготовки. Величины завышения  $e_1=0,2$  мм и заужения на сторону  $e_2=0,15$  мм высотных зубьев назначены согласно существующим рекомендациям [1]. Результаты моделирования представлены на рисунке 1; здесь тёмные участки снимались высотными зубьями, а светлые – профилирующими.

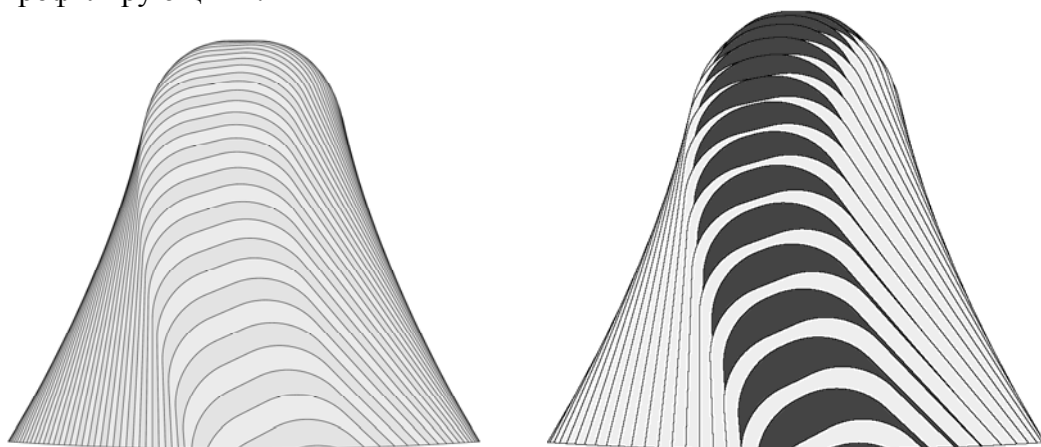


Рисунок 1 – Схемы формирования впадины колеса червячной фрезой с обычной (слева) и прогрессивной (справа) схемами резания

На основании проведённого моделирования можно сделать следующие выводы. Во-первых, профилирующие зубья работают в лучших условиях, чем высотные. Несмотря на то, что они снимают П-образные слои (имеются в виду зубья первых двух витков, наиболее нагруженных), стружка по периметру имеет почти одинаковую толщину, либо её толщина меньше на вершинной кромке зуба. Таким образом, отклонение стружки в сторону выходной кромки незначительно, зубья работают при относительно невысоких деформациях срезаемых слоёв, несмотря на то, что снимают более толстые слои по сравнению со стандартными фрезами, следовательно, относительно невелика и деформация слоя под поверхностью резания. Высотные же зубья срезают Г-образные слои, причём стружка на вершинной кромке имеет значительно бóльшую толщину по сравнению со стружкой на входной кромке. Следовательно, на последней будут относительно большие деформации сдвига и, возможно, смятия, что и приводит к бóльшему, чем на профильных зубьях, износу.

Во-вторых, можно сделать предположение, что величины  $e_1$  и  $e_2$ , указанные выше, несколько занижены. На эту мысль наводит и тот факт, что рекомендуемые величины завышения и заужения на сторону приводятся по группам модулей, в частности, для рассматриваемого случая для группы  $m=2...4$  мм [1]. Очевидно, что одни и те же заужения и завышения будут в различной степени влиять на повышение стойкости: для модуля  $m=2$  мм – в большей степени, для  $m=3,5$  мм – в меньшей.

Следует более дифференцированно относиться к назначению этих параметров, тем самым можно создать более благоприятные условия резания. Известно [1], что оптимальная

величина завышения должна быть больше максимальной толщины слоя, срезаемого вершинной кромкой зуба обычной фрезы, а оптимальная величина заужения зубьев на сторону – больше максимальной толщины слоя, срезаемого боковыми кромками (а именно – входной). Так как результаты проведённого нами графического моделирования процесса формирования впадины зубчатого колеса указывают на некоторую некорректность существующей методики назначения этих параметров, то они должны определяться для каждого конкретного случая аналитически.

С этой целью была разработана математическая модель. При этом были сделаны следующие допущения: максимальная толщина срезаемого вершинной кромкой слоя измеряется по нормали проходящей через точку сопряжения радиусного и прямолинейного участков вершиной кромки  $i - 1$  зуба до прямолинейного участка следа вершинной кромки  $i$ -го зуба, соответственно вторым и первым вступающих в работу; максимальная толщина срезаемого боковыми кромками слоя измеряется по нормали опущенной из точки сопряжения радиусного и прямолинейного участков следа входной боковой кромки  $i$ -го зуба на прямолинейный участок входной боковой кромки  $(i - 1)$ -го зуба; не учитывается подача червячной фрезы вдоль заготовки; ось симметрии одного из зубьев совпадает с осью симметрии заготовки.

Математическая модель имеет следующий вид (1) для максимальной толщины слоя, срезаемого вершинной кромкой, и (2) максимальной толщины слоя, срезаемого входной боковой кромкой:

$$a_b = \frac{((i-1) \cdot \Delta + \lambda) \cdot \sin \xi + r_f}{\cos \xi} - r_f; \quad (1)$$

$$a_6 = \frac{|y_T - y_F - k(x_T - x_F)|}{\sqrt{k^2 + 1}}. \quad (2)$$

Здесь  $r_f$  – радиус окружности впадин;  $\Delta$  – величина конструктивной подачи;  $i$  – число резцов, осуществляемых от начала врезания до межосевого перпендикуляра фреза-заготовка;  $\xi$  – угол поворота заготовки между двумя последовательными врезаниями;  $\lambda$ ,  $k$ ,  $y_T$ ,  $y_F$ ,  $x_T$ ,  $x_F$  – вспомогательные параметры. Указанные величины могут быть определены по нижеприведённым формулам; параметры нарезаемого колеса и червячной фрезы считаются известными:

$$\Delta = \frac{P_{n0}}{z_0}; \quad \xi = \frac{2\pi}{z \cdot z_0};$$

$$\lambda = \frac{S_{n0}}{2} - h_{a0} \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{\rho_{a0} \cdot (1 - \sin \alpha_0)}{\cos \alpha_0}; \quad i = \frac{\sqrt{r_a^2 - r_f^2} - \lambda}{\Delta};$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_T = (i-1) \cdot \Delta - \frac{S_{n0}}{2}; \\ y_T = r_f + h_a; \end{array} \right.$$

$$k = -\operatorname{ctg} \alpha_0;$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_F = x_D \cdot \cos \xi - y_D \cdot \sin \xi; \\ y_F = x_D \cdot \sin \xi + y_D \cdot \cos \xi; \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_D = i \cdot \Delta - \frac{S_{n0}}{2} + h_{a0} \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 - \delta \cdot \cos \alpha_0; \\ y_D = r_f + \delta \cdot \cos \alpha_0. \end{array} \right.$$

Таким образом, величины коррекции профиля высотного зуба находятся в зависимости от числа зубьев нарезаемого колеса, его модуля и числа реек червячной фрезы, то есть должны рассчитываться аналитически в каждом конкретном случае.

1. Медведицков С. Н. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами. М.: Машиностроение, 1981. – 104 с., ил.

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Куранов А. В. - аспирант  
Ситников А. А. - д.т.н., профессор

Современный уровень развития машиностроения характеризуется высокими требованиями к эксплуатационным свойствам деталей: жаропрочности, коррозионной стойкости, износостойкости. Обеспечить указанные свойства можно напылением износостойких покрытий.

Рассмотрим процесс формирования микрорельефа керамического покрытия в плоскости резания. Основным фактором, определяющим данный процесс, является сочетание явлений микрорезания-скалывания материала и объемного разрушения поверхности. Глубина распространения трещин может превышать глубину резания, а возникновение трещин определяется с одной стороны структурой поверхностного слоя покрытия, а с другой-режимами обработки. Данный механизм и должен быть положен в основу математической модели.

Существует несколько типов математических моделей процессов механической обработки. Наибольшее распространение в технологии машиностроения и теории резания материалов нашли эмпирические зависимости. При их построении на основе экспериментальных данных с помощью математического аппарата аппроксимации функций строят эмпирические формулы, которые с удовлетворительной для практики точностью позволяют рассчитывать основные параметры и показатели процессов механической обработки. При этом получаемые зависимости могут и не отражать структуры моделируемой системы. Подобный подход носит название метода “черного ящика”.

Создание моделей этого класса связано с проведением большого объема экспериментальных работ. Кроме того, получаемые зависимости справедливы только для диапазона, в котором проводились экспериментальные исследования. Для расширения этого диапазона применяются методы подобия, а для сокращения их количества – методы планирования экспериментов. При всех указанных недостатках эмпирические модели позволяют получить необходимую точность моделирования при достаточной простоте расчетных зависимостей.

Другим подходом для построения моделей являются теоретические исследования процессов. Основным достоинством этого подхода является высокая универсальность модели, для достижения которой, однако, часто приходится жертвовать простотой зависимостей.

Построение теоретических моделей, очевидно, является предпочтительным. Только на основе теоретического, а не эмпирического описания можно разработать зависимости, пригодные для прогнозирования и проектирования. Фактически эмпирические модели являются интерполяционными, т.е. позволяющими проводить расчеты внутри исследуемого диапазона. Для прогноза вне него они не пригодны. Модели, построенные на основе теоретического анализа, позволяют производить экстраполяцию, если аналогичный диапазон ограничений не заложен при их создании.

Следует отметить, что создание теоретических моделей часто сдерживается отсутствием необходимого описания подпроцессов и подсистем. В этом случае обычно идут на компромисс, т.е. дополняют теоретическую модель эмпирическими зависимостями процессов, теоретическое описание которых на данном этапе невозможно или слишком трудоемко.

Существует и еще один класс моделей – имитационные. При их построении не требуется проведение сложных теоретических исследований или большого объема экспериментальных работ. Развитие этого класса моделей стало возможным благодаря



широкому распространению и внедрению вычислительной техники. В ЭВМ закладывается описание механизма процесса. Имитируя этот процесс, ЭВМ осуществляет его моделирование. Естественно, что имитационные модели основываются на экспериментальных данных. Однако объем экспериментов для их построения значительно меньше, чем при разработке эмпирических зависимостей, так как требуется не столько получение численных значений каких либо параметров процесса, сколько выяснение и описание механизма происходящих явлений.

Рассмотрим с этих позиций обработку покрытия, при которой преобладают явления объемного разрушения поверхностного слоя. В данном случае для построения такой модели необходимо создать механизм имитации напряженного состояния покрытия.

Исходя из перечисленных выше особенностей газотермических покрытий и видов математических моделей видно, что для моделирования процесса точения достаточно смоделировать напряжённое состояние покрытия. Наиболее хорошо это можно сделать при помощи продукта ANSYS.

Экспериментальные исследования механизма формирования поверхностного слоя при обработке покрытий позволяют утверждать, что съём нанесенного покрытия имеет существенные особенности по сравнению с обработкой металлов. Для подтверждения гипотезы о преобладающем характере хрупкого разрушения вследствие возникновения микротрещин в покрытии при съеме требуется проведение дополнительных исследований. Точную экспериментальную проверку этого явления реализовать крайне сложно. Физическое моделирование также может иметь существенную погрешность. Достоинством математического моделирования является то, что доказательство задачи необходимо осуществить лишь в принципе, а точные значения съёма и параметров шероховатости обработанной поверхности в данном случае определять не обязательно.

Возможность распространения трещин в глубь покрытия при его обработки или возможность превышения съема материала над величиной глубины резания можно проверить, изучая напряженное состояние в поверхностном слое материала, возникающее при его обработке.

Распределения напряжения в различных материалах часто исследуется методом конечных элементов. Широкое распространение он получил и при исследовании напряжений возникающих при резании материалов. Суть метода конечных элементов заключается в рассмотрении ограниченной области материала и разбиение её на подобласти простой конфигурации. Однако с целью уменьшения объема вычислений на ЭВМ при моделировании целесообразно внести ряд допущений.

Первое из них связано со сведением объемной задачи к плоской; покрытие моделируется пластиной с порами в виде ромбов. При этом воздействие силы имитируется в точке сопряжения резца с пластиной

Характер нагружения принимается статистическим. Физико-механические параметры материала покрытия возможно учесть при подготовке исходных данных: модуля упругости коэффициента Пуассона и прочих.

В результате имитационного моделирования разработана математическая модель учитывающая особенности процесса формообразования при точении газотермических покрытий. В модели учитываются влияние скорости резания, подачи, геометрии инструмента, физико-механические свойства покрытия. Таким образом меняя исходные данные, такие как режимы резания, материал покрытия и другие, есть возможность узнать обеспечивают ли они требуемые параметры качества поверхности.