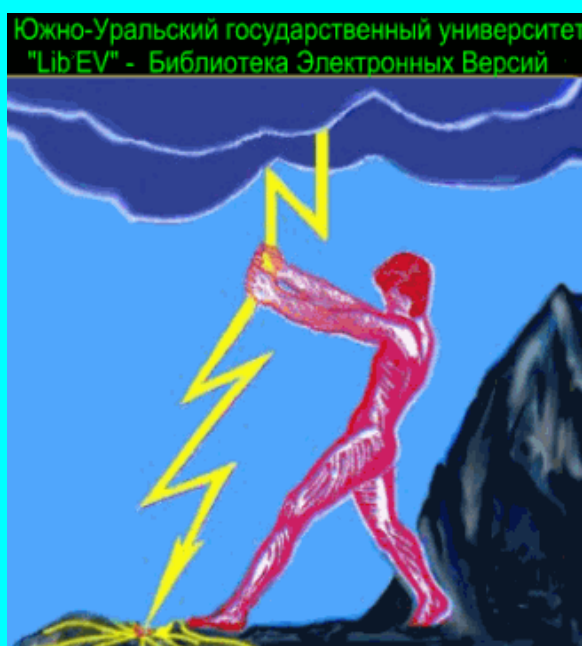


Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Южно-Уральский государственный университет

621.9  
П785

## **ПРОГРЕССИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Тематический сборник научных трудов  
Компьютерная версия



Челябинск  
2006

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Южно-Уральский государственный университет

621.9  
П785

# Прогрессивные технологии в машиностроении

Тематический сборник научных трудов  
Компьютерная версия

Издание второе, переработанное

Челябинск  
2006

УДК 621.9 + 621.002.2

Прогрессивные технологии в машиностроении: Тематический сборник научных трудов. Компьютерная версия. — 2-е изд., перер. — Челябинск: ЮУрГУ, 2006. — 225 с.

© Прогрессивные технологии в машиностроении: Тематический сборник научных трудов. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005 — 225 с.

ISBN 5-696-03180-3

© Издательство ЮУрГУ, 2005.

В сборнике изложены результаты научных исследований, выполненных преподавателями, инженерами, аспирантами и студентами кафедр “Технология машиностроения” и “Металлорежущие станки и инструмент” Южно-Уральского государственного университета в 2004–2005 гг.

Рассматриваются проблемные вопросы технологии обработки деталей из различных конструкционных материалов лезвийными и абразивными инструментами, работающими с удалением и без удаления стружки. Это — вопросы получения заданного качества поверхностей и требуемой точности обработки, оптимизации и управления процессами резания, проектирования инструментов и оснастки, использования станков с ЧПУ и ЭВМ для технологической подготовки производства и другие.

Сборник предназначен для инженерно-технических работников предприятий машиностроения, проектно-технологических организаций, научных работников и студентов, обучающихся по машиностроительным специальностям.

Ил. 133, табл. 25, список лит. — 125 назв.

Редакционная коллегия:

В.И. Гузеев (отв. редактор), Ю.И. Мясников,  
И.Я. Мирнов, (отв. редактор), П.Г. Мазеин, В.Ю. Шамин.

Рецензенты: Г.Г. Созыкин, И.В. Тетенев.

## СОДЕРЖАНИЕ

Щуров И.А. Решение траекторных задач при обработке на фрезерных станках с ЧПУ на основе дискретного твердотельного моделирования	6
Щуров И.А., Аверьянов В.В. Расчет деформаций концевых фрез от сил резания	11
Болдырев И.С., Щуров И.А. Дискретная модель метчиков с учетом их износа	14
Болдырев И.С. Дискретная твердотельная модель метчиков с учетом погрешностей их изготовления на основе операций отношения	18
Болдырев И.С. Математическая модель метчиков с учетом погрешностей их изготовления на основе операций с множествами	26
Щурова А.В. Расчет параметров срезаемых слоев и высоты теоретических неровностей при лезвийной обработке на основе дискретного твердотельного моделирования	31
Гатитулин М.Н., Портнягин В.И. Ротационные режущие инструменты	36
Гатитулин М.Н., Мазеин П.Г. Технологические возможности торцовых планетарных инструментов	42
Корчмарь Ф.Я., Расторгуев И.Л., Сарайкин А.М. Разработка способа нанесения шлифовального зерна на сетчатую основу полировального инструмента	48
Пестов С.П., Мазеин П.Г. Особенности формирования размерных цепей при обработке отверстий на станках с ЧПУ	52
Крупина Н.П., Гаврилов Ю.В. Применение решетчатых диаграмм для анализа зацепления зубчатых колес	56
Сметанин С.Д., Шаламов В.Г. Взаимосвязь координат расчетных точек профиля винтовой поверхности в различных секущих плоскостях	59
Панов С.С., Мазеин П.Г. Минигабаритный фрезерный станок модели MF70-1Ф4 с компьютерным управлением	67
П.Г. Мазеин П.Г., А.В. Шереметьев А.В. Устройства гибкого производственного модуля на базе сверлильно-фрезерного станка	71
Шаламов А.В. Моделирование дробеструйной обработки методом конечных элементов	76
Гузеев В.И., Дерябин И.П., Миронова И.Н. Исследование точности обработки отверстий ружейными сверлами	82
Гузеев В.И., Дерябин И.П. Прогнозирование параметров точности при проектировании технологических процессов	87
Батуев В.А., Гузеев И.В. Расчет составляющих сил резания при сверлении	92
Батуев В.В. Обеспечение производительности при чистовом фрезеровании пространственно-сложных поверхностей в условиях заданной точности	94
Переверзев П.П. Особенности визуального моделирования бизнес-процессов вуза в рамках внедрения системы менеджмента качества на основе процессного подхода в понимании серии стандартов ISO 9000:2000	97

Мясников Ю.И., Карпенко Г.И. Переналаживаемые приспособления-спутники в структуре современного производства . . . . .	102
Исаков Д.В. Формирование рельефа рабочей поверхности шлифовального круга . . . . .	106
Исаков Д.В., Дьяконов А.А., Ардашев Д.В.. Экспериментально-расчетный метод определения средней площади контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью заготовки . . . . .	111
Николаенко А.А. Точность обработки при плоском глубинном шлифовании . . . . .	114
Сырейщиков А.А., Сырейщикова Н.В. Методика оценки качества абразивного инструмента по показателю рельефа рабочего слоя . . . . .	119
Пугач Е.В., Пугач П.Г., Шамин В.Ю. Рабочие символы кодирования для автоматизированного расчета и построения размерных схем . . . . .	124
Пугач Е.В., Пугач П.Г., Шамин В.Ю. Особенности автоматизированного построения конструкторских и технологических размерных схем на плоскости . . . . .	131
Гладков А.С., Шамин В.Ю. Обновление пакета прикладных программ «Электронная библиотека» . . . . .	134
Гладков А.С., Шамин В.Ю. Программный продукт «Призма» . . . . .	136
Козлов А.В., Бобылев А.В. Изготовление крутоизогнутых отводов из нержавеющей стали . . . . .	137
Норин П.А., Осипов А.М., Архипова Е.В. Эластичность открытой сварочной дуги . . . . .	142
Фадюшин С.А., Плачкова В.А. Особенности шлифования труднообрабатываемых сплавов . . . . .	143
Кошин А.А., Пашнев В.А. Анализ напряженного состояния трехслойных металл-композитных систем при шлифовании . . . . .	149
Афанасьев А. М., Кошин А. А. Унификация основных единиц проектирования для подсистемы нормирования . . . . .	157
Афанасьев А. М., Кошин А. А. Использование принципа командных строк для подсистемы автоматизированного нормирования . . . . .	161
Кошин А.А., Сазонова Н.С. Организация нормативной базы общемашиностроительной компьютерной системы нормирования технологических процессов . . . . .	168
А.А. Кошин, Н.С. Сазонова. Организация вспомогательной базы Общемашиностроительной компьютерной системы нормирования технологических процессов . . . . .	173
Кошин А.А., Сазонова Н.С. Графический интерфейс общемашиностроительной компьютерной системы нормирования технологических процессов . . . . .	177
Кошин А.А., Самохин М.А. Расчетная коррекция режимов резания в зависимости от твердости обрабатываемого материала . . . . .	183
Кошин А.А., Самохин М.А. Влияние дефектного слоя на токарную обработку деталей в ремонтных технологических процессах . . . . .	187
Кошин А.А., Дьяконов А.А. Функциональная зависимость износа абразивных кругов разной характеристики от времени и режимов обработки	190

Геренштейн А.В., Кошин А.А., Дьяконов А.А. Полиэкспоненциальная регрессия в моделях износа абразивного инструмента . . . . .	196
Кошин А.А., Ардашев Д.В., Дьяконов А.А. Пульсирующий характер сил резания при шлифовании . . . . .	199
Мясников Ю.И., Пушкарев А.В. Проектирующие мастера как способ визуального проектирования СП . . . . .	206
Пушкарев А.В., Мясников Ю.И. Алгоритмизация расчета диаметра цилиндра при компьютерном проектировании станочных приспособлений	211

# РЕШЕНИЕ ТРАЕКТОРНЫХ ЗАДАЧ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.А. Щуров

Как известно, задачи обработки на фрезерных станках с числовым программным управлением (ЧПУ) сводятся к определению траектории движения выбранного инструмента при обработке заданной детали, а также расчету поверхности детали, получаемой при обработке данным инструментом по указанной траектории. Перечисленные задачи в настоящее время решаются на основе методов аналитической геометрии. Такой подход имеет определенные недостатки и, прежде всего, неустойчивость решений при моделировании поверхностей сложной формы. При таком подходе трудно полноценно учитывать влияние износа инструмента и деформаций элементов технологической системы на точность получаемой поверхности детали. Предлагаемые ниже схемы решения, основанные на дискретном твердотельном моделировании, позволяют преодолеть указанные недостатки. Заметим, что некоторые вопросы обработки на станках с ЧПУ (двухкоординатная обработка) были уже рассмотрены в известных работах [1, 2].

**1. Расчет траектории движения инструмента при обработке на фрезерном станке с ЧПУ.** Расчет в данном случае, очевидно, начинается с расчета множества рецепторов тела (ТД) или поверхности (ПД) получаемой детали на основе описанных ранее схем с использованием суммы множеств:

$$ТД = \sum_{i=1}^n ТД_i; \quad ПД = \sum_{i=1}^n ПД_i, \quad (1)$$

где  $ТД_i$  и  $ПД_i$  — множества рецепторов  $i$ -го тела и  $i$ -й поверхности, составляющих, наряду с остальными  $(n-1)$  телами и поверхностями получаемую деталь.

Аналогичным образом определяются множества тела или поверхности инструмента (ТИ, ПИ). Отметим, что для расчета траектории достаточно множеств поверхностей и детали и инструмента, расчет множеств рецепторов тел может быть необходим лишь как промежуточный этап для расчета поверхностей по известной формуле [3]. В качестве расчетной поверхности инструмента может быть его исходная инструментальная поверхность (ИИП) или реальная поверхность, аналогичная той, что была нами ранее получена для случая метчиков и других резьбообразующих инструментов, а также фрез [4].

Последний случай, очевидно, требует учета главного движения резания инструмента, что существенно увеличивает объем вычислений, однако является более полноценным и дает больше возможностей по учету различных технологических факторов. Использование ИИП в качестве расчетной поверхности является общепринятым в настоящее время. Для расчета множества рецепторов такой поверхности достаточно зависимостей, приведенных нами ранее.

Расчет траектории движения инструмента производится из условия отсутствия среза инструментом поверхности детали:

$$\text{ПД} \cap \text{ПИ} = \emptyset. \quad (2)$$

Координаты узловых точек рецепторов приведенных множеств рассчитываются в одной и той же системе координат, например, системе детали. Таким образом, вся задача определения траектории здесь по существу сводится к выбору стратегии обработки детали и расчету изменения управляющих координат при невыполнении условия (2). Например, в случае трехосевой обработки детали при использовании стратегии “ЗИГЗАГ” (TYPE 1) фреза перемещается дискретно по координатам вдоль осей станка  $x$  и  $y$ . В случае, когда условие (2) нарушается, фрезе сообщается перемещение вверх. Далее вновь необходимо проверить указанное условие, и процесс расчета должен быть повторен, пока такое условие не будет удовлетворено, то есть:

$$Z_i = Z_{i-1} + \Delta Z \text{ пока } \text{ПД} \cap \text{ПИ} \neq \emptyset. \quad (3)$$

В данном случае примем систему координат детали так, что ее оси  $x$  и  $y$  параллельны принятым для станков с ЧПУ соответствующим координатным осям, а аппликату  $z$  направим вертикально вверх. Поскольку деталь может иметь как выступы, так и впадины, то в последнем случае фреза должна получать и перемещение вниз до момента касания с деталью. Факт касания фрезы и детали определяется условием пересечения любого из рецепторов, прилегающих к рецепторам поверхности инструмента (ППИ), с рецепторами детали:

$$Z_i = Z_{i-1} - \Delta Z \text{ пока } \text{ПД} \cap \text{ППИ} \neq \emptyset \text{ и } \text{ПД} \cap \text{ПИ} = \emptyset. \quad (4)$$

Расчет множества прилегающих рецепторов ППИ производится путем изменения координат узловых точек рецепторов поверхности инструмента ПИ на величину дискреты перемещения:

$$Z_{ij} = Z_j - \Delta Z, \quad (5)$$

где  $Z_{ij}$  — аппликата  $j$ -го прилегающего рецептора;

$Z_j$  — аппликата  $j$ -го рецептора поверхности инструмента.

На основании приведенных зависимостей разработана программа ЭВМ, результаты работы которой приведены на рис. 1–2.

**2. Расчет поверхности детали, получаемой при движении инструмента по рассчитанной траектории.** Расчет поверхности получаемой детали ведется через расчет множества рецепторов ее тела по упомянутой выше формуле [3]. Расчет множества самого тела детали ведется также по полученным ранее формулам [4]. В данном случае первоначально рассчитывается множество рецепторов исходной заготовки, например, в виде прямоугольного параллелепипеда, а далее ведется моделирование срезания припуска. Пример получаемой поверхности детали, рассчитанной по программе ЭВМ, приведен на рис. 2.



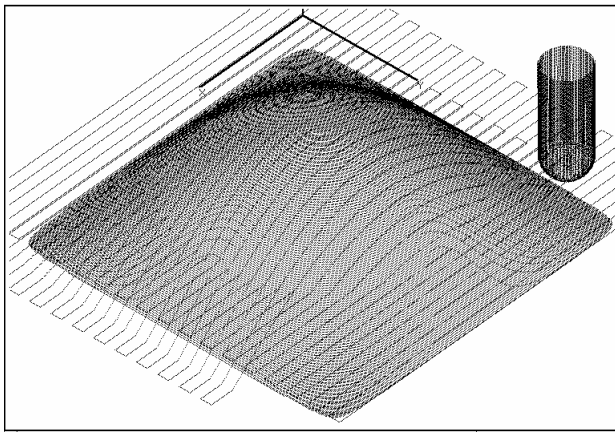


Рис. 1. Множество рецепторов поверхности детали, заданной формулой  $Z = C \sin(3,1415 X/A) \sin(3,1415 Y/B)$ , где  $A$ ,  $B$  и  $C$  — габариты детали; множество рецепторов ИИП концевой фрезы со сферическим торцом и рассчитанная траектория ее движения

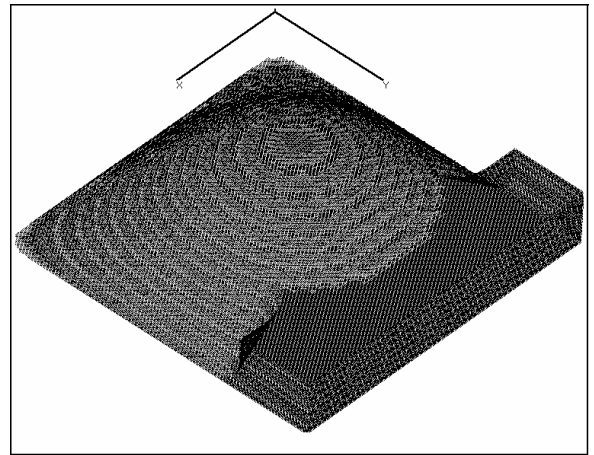


Рис. 2. Поверхность заготовки, рассчитанная для случая обработки концевой фрезой по полученной траектории движения (обработка до положения по рис. 1)

Одним из актуальных вопросов обработки является расчет отклонений поверхностей получаемой детали от поверхности исходной детали, заданной конструктором изделия. Если требуется найти отклонение в направлении какой-либо из координатных осей детали, то такое решение определяется тривиально:

$$\Delta W_{\max} = \max \{ \Delta W_i \} \text{ для } V_{\min} \leq V \leq V_{\max} \text{ и } U_{\min} \leq U \leq U_{\max}, \quad (6)$$

где  $U$ ,  $V$ ,  $W$  — координаты системы координат детали; индексы  $\min$  и  $\max$  при  $U$  и  $V$  соответствуют нижним и верхним пределам участка, на котором отыскивается максимальное значение отклонений. В случае, представленном на рис. 3,  $U$ ,  $V$ ,  $W$  соответствуют координатам  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ .

Если необходимо найти отклонение в заданном направлении, не совпадающем ни с одной из осей координат, то следует использовать преобразование поворота [3] систем координат на заданные углы, характеризующие требуемое направление, и далее определять отклонение по описанной схеме (формула 6).

Для расчета отклонений по нормали к исходной поверхности детали необходимо в каждой ее точке определять такую нормаль по формулам, приведенным нами ранее [5], и снова определять отклонение с использованием преобразований поворота и далее по формуле (6), в которой:  $V_{\min} = V = V_{\max}$  и  $U_{\min} = U = U_{\max}$ . Здесь  $U$  и  $V$  — координаты  $X'$  и  $Y'$  рассматриваемой точки в новой системе  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ .

Таким образом, дискретное твердотельное моделирование позволяет выполнять расчеты, аналогичные современным САМ-системам.

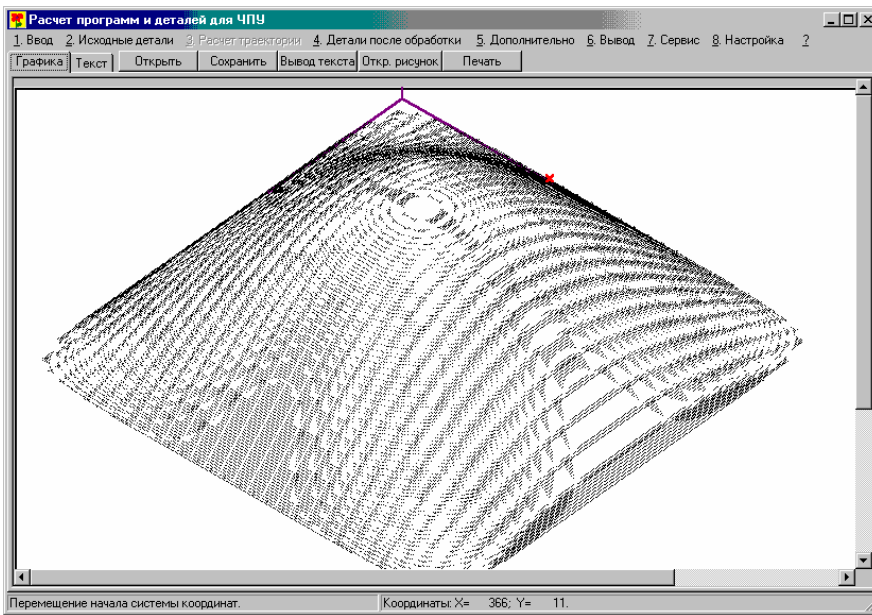


Рис. 3. Отображение отклонений вдоль оси Z получаемой поверхности детали от исходной номинальной поверхности

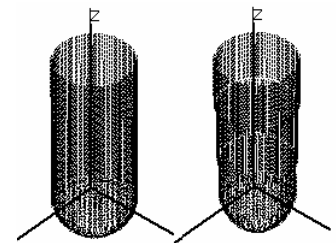


Рис. 4. Слева рецепторы ИИП новой фрезы, справа – “изношенной”

**3. Учет технологических факторов в задачах обработки на станках с ЧПУ.** Учет погрешностей размеров, формы и расположения поверхностей инструментов обсуждался нами выше. Рецепторная модель самой фрезы или ее ИИП должна быть использована в задачах, рассмотренных выше, для учета степени влияния этих погрешностей на точность получаемой поверхности детали.

Для учета влияния износа фрезы на точность получаемой поверхности детали необходимо в математическую модель обработки ввести следующие элементы. Во-первых, необходимо задаться критерием единичного износа инструмента. В данном случае в качестве критерия принимается общая длина срезаемого слоя заготовки некоторой точкой режущей кромки до износа последней на глубину, равную одной дискрете перемещения фрезы.

Далее, если используется полноценный вариант моделирования фрезы (то есть моделируются все зубья и режущие кромки), то необходимо вести подсчет количества пересечений каждого рецептора фрезы с рецепторами заготовки. В случае же расчетов с использованием только ИИП фрезы учитывается количество пересечений рецепторов, расположенных в каждом радиальном сечении ИИП, с заготовкой.

В случае превышения установленного критерия единичного износа инструмента для любого его рецептора рецепторы инструмента необходимо деактивировать (их параметры состояния становятся меньше или равными нулю). В полноценном варианте деактивируется сам рецептор, для которого превышен установленный порог. Для варианта с использованием в расчетах ИИП инструмента необходимо деактивировать все рецепторы, расположенные в радиальном сечении фрезы на окружности, где расположен и данный рецептор.

Расчеты обработки деталей, представленных выше, произведенные по данной схеме для критерия единичного износа  $L = 3000$  мм позволили получить картины износа фрезы, представленные на рис. 4. Расчет отклонений получаемой поверхности детали от заданной в этом случае дал увеличение таких отклонений в 2 раза (рис. 5).

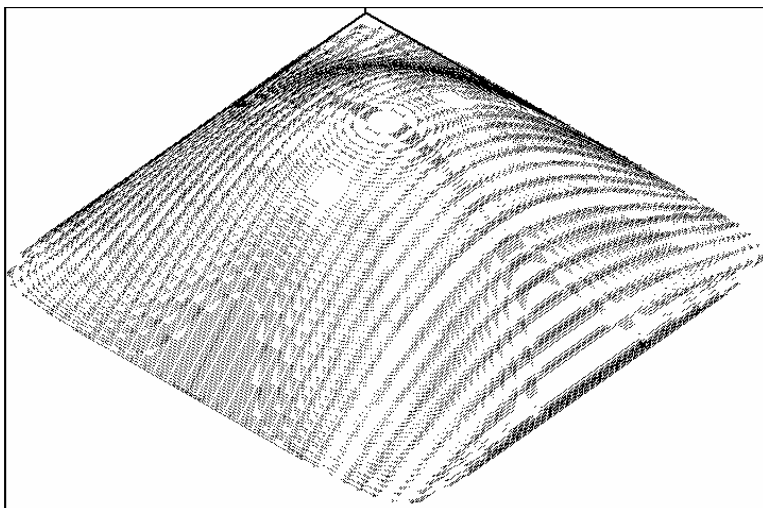


Рис. 5. Отклонения полученной поверхности детали от заданной (справа плотность отклонений выше, чем слева)

Учет влияния деформаций на точность обработки был рассмотрен нами ранее [6]. В данном случае он ведется путем расчета деформаций инструмента и заготовки в процессе обработки, что рассмотрено нами в соответствующей статье этого же сборника.

На основе разработанной программы ЭВМ была рассчитана управляющая программа для обработки детали “Лопатка” (рис. 6) по трем управляемым координатам. Полученная расчетом из прямоугольного бруска заготовка после обработки одной из сторон показана на рис. 7.

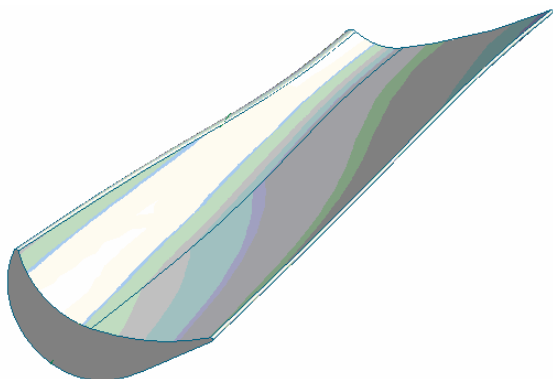


Рис. 6. Деталь “Лопатка”

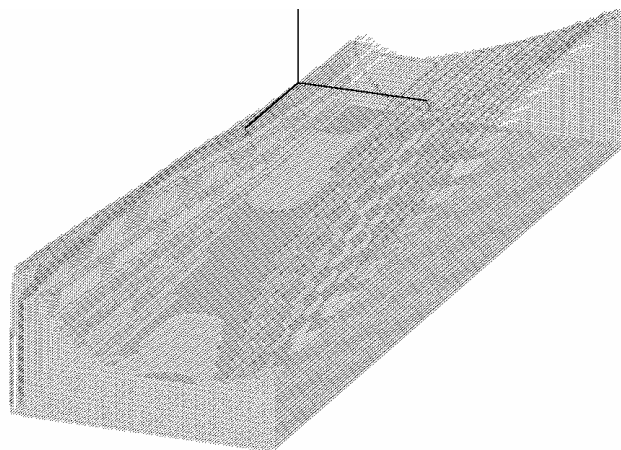


Рис. 7. Заготовка детали (рис. 6), “обработанная” с одной стороны

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зозулевич Д.М., Полонский А.Э., Шерлинг Д.Э. Дискретное описание геометрической информации для проектирования технологии обработки

деталей на фрезерных станках с числовым программным управлением // Вычислительная техника в машиностроении. — Минск: ИТК, 1969. — С. 47–54.

2. Элементы теории автоматизации машиностроительного проектирования с помощью вычислительной техники / Г.К. Горанский, А.Г. Горелик, Д.М. Зозулевич, В.А. Трайнев; Под общ. ред. Г.К. Горанского. — Минск: Наука и техника, 1970. — 336 с.

3. Щуров И.А., Щурова А.В. Определение геометрических параметров метчиков на основе алгебро-логической рецепторной модели // Прогрессивные технологии в машиностроении. — Челябинск: ЧГТУ, 1996. — С. 14–18.

4. Щурова А.В. Моделирование фрезерования на станках с ЧПУ на основе дискретных твердотельных моделей // Прогрессивные технологии в машиностроении. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. — С. 23–26 .

5. Щурова А.В. Совершенствование методики расчета метчиков и параметров резьбообразования в условиях автоматизированного проектирования. Автореф. канд. диссерт. — Челябинск: ЧГТУ, — 1995. — 16 с.

6. Щуров И.А. Расчет инструмента и точности обработки на основе дискретной твердотельной модели // СТИН, 2001, № 6. — С. 7–13.

## РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ ОТ СИЛ РЕЗАНИЯ

И.А. Щуров, В.В. Аверьянов

При обработке на фрезерных станках с ЧПУ для расчета управляющих программ используются САМ системы. Однако в этих системах расчет ведется без учета деформаций инструментов. Деформации концевых фрез при черновой обработке оказывают влияние на оставляемый для чистовой обработки припуск, а деформации этих инструментов при чистовой обработке влияют на точность получаемых поверхностей деталей. Поэтому расчет деформаций фрез является актуальной задачей металлообработки.

Для решения этой задачи было произведено твердотельное моделирование фрез и расчет их деформаций с использованием МКЭ. При получении эмпирических зависимостей пригодных на практике для коррекции управляющих программ ЧПУ, расчеты производились с использованием методов теории планирования эксперимента. Размеры инструментов, режимные и силовые параметры выбирались по каталогам фирмы Sandvik Coromant. Значения исходных параметров приведены в табл. 1.

Составляющие сил резания ( $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ ) рассчитывались по формулам [1], их величины приведены в табл. 2:

$$P_z = \frac{10C_p t^x s_z^y B^u Z}{D^q n^w} K_{mp}, \quad P_y = 0,5 P_z, \quad P_x = 0,4 P_z \operatorname{tg}(\omega),$$

где  $C_p$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $u$ ,  $q$ ,  $w$ ,  $K_{mp}$  — коэффициенты из известного справочника [1];  $t$ ,  $s_z$ ,  $n$ ,  $B$ ,  $D$ ,  $Z$  — параметры режима резания, диаметр и число зубьев фрезы.

Таблица 1

## Параметры фрез и режимы обработки

Номер фрезы	Диаметр фрезы (D), мм	Число зубьев фрезы (Z)	Угол накл. стружечн. канавки ( $\omega$ ), град	Частота вращения фрезы (n), об/мин	Подача на зуб ( $S_z$ ), мм	Число зубьев фрезы в работе ( $Z'$ )
1	20	4	45	400	0,1	2
2	4	4	45	1990	0,02	2
3	20	2	45	400	0,1	1
4	4	2	45	1990	0,02	1
5	20	4	35	400	0,1	2
6	4	4	35	1990	0,02	2
7	20	2	35	400	0,1	1
8	4	2	35	1990	0,02	1

Таблица 2

Составляющие сил резания на инструменте ( $\Sigma P_i$ ) и на каждом его зубе ( $P_i$ ), Н

Номер фрезы	$\Sigma P_x$	$P_x$	$\Sigma P_y$	$P_y$	$\Sigma P_z$	$P_z$
1	137,8	68,9	172,3	86,2	344,6	172,3
2	153,1	76,6	191,4	95,7	382,8	191,4
3	68,9	68,9	86,2	86,2	172,3	172,3
4	76,6	76,6	95,7	95,7	191,4	191,4
5	96,5	48,2	172,3	86,2	344,6	172,3
6	107,2	53,6	191,4	95,7	382,8	191,4
7	48,2	48,2	86,2	86,2	172,3	172,3
8	53,6	53,6	95,7	95,7	191,4	191,4

Результаты моделирования: сетки конечных элементов, вектора нагрузок, картины напряжений и деформаций приведены на рис. 1–4.

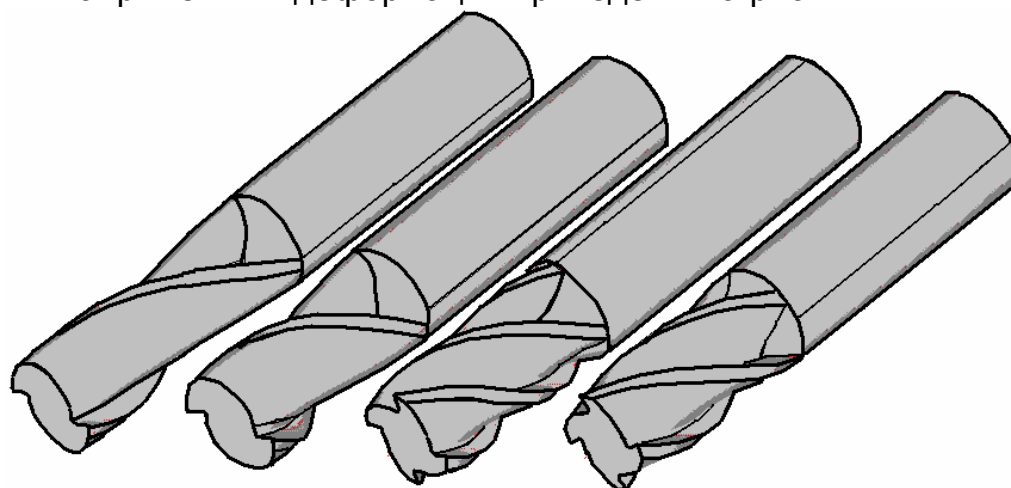


Рис. 1. Твердотельные модели концевых фрез с двумя и четырьмя зубьями

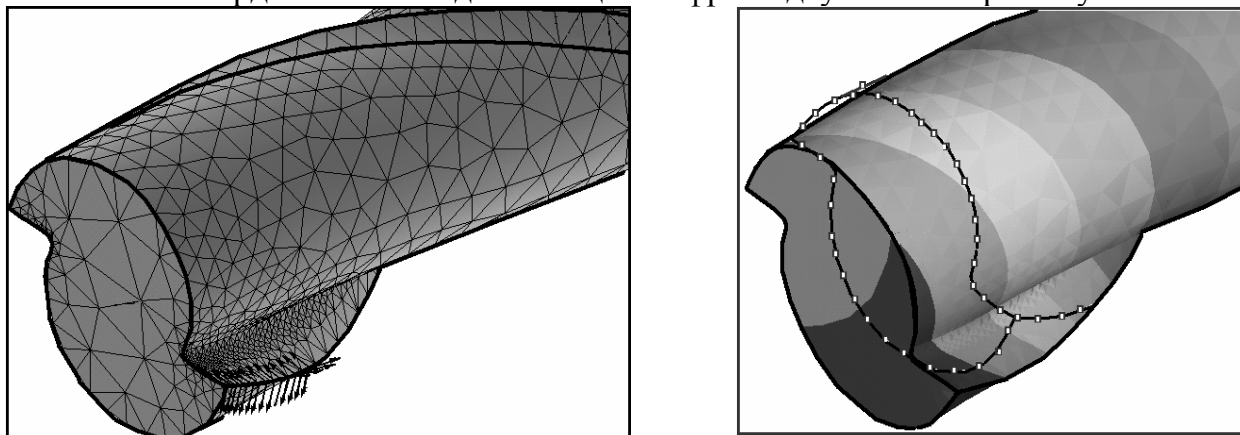


Рис. 2. Сетка конечных элементов концевой фрезы и вектора нагрузок на ее кромке

Рис. 3. Деформации фрезы от сил резания (линия с точками показывает первоначальное положение фрезы)

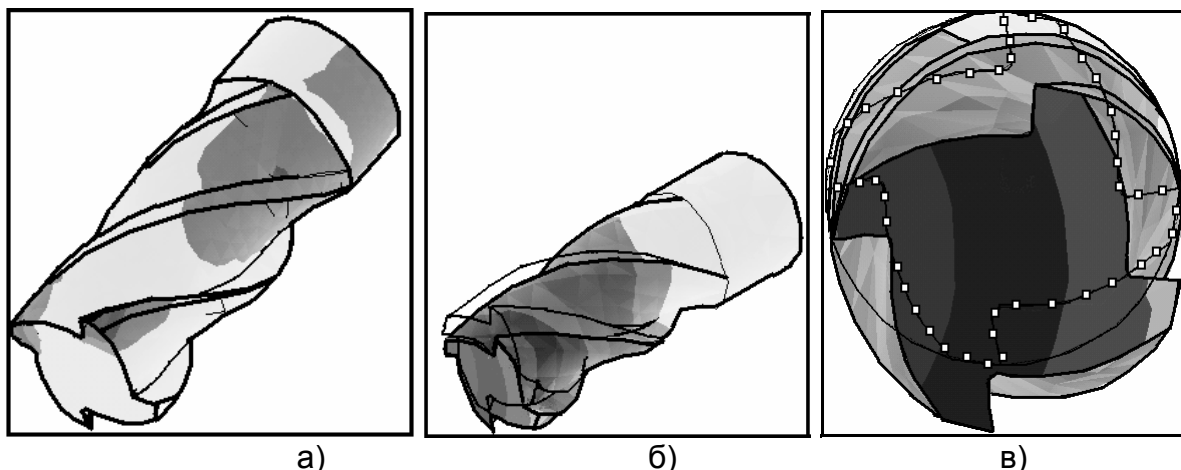


Рис. 4. Напряжения (а) и деформации (б, в) четырехзубой фрезы (линия с белыми точками показывает первоначальное положение фрезы)

По результатам расчетов получены деформации точек на вершинах формообразующих зубьев и на оси инструмента в его торцовой плоскости (табл. 3).

Таблица 3

Величины деформаций вдоль осей координат точек на фрезах у вершины лезвия (в), в центре торцового сечения (в) и средняя величина, мкм

Номер фрезы	$U_{xв}$	$U_{yв}$	$U_{zв}$	$U_{xц}$	$U_{yц}$	$U_{zц}$	$U_x$	$U_y$	$U_z$
1	9	9	2	8	5	0,3	8,5	7	1
2	150	80	20	140	80	20	145	80	20
3	10	2	0,7	9	3	0,3	9,5	2,5	0,5
4	140	23	1	130	24	0,3	135	23,5	0,7
5	10	7	2	7	6	0,4	8,5	6,5	1,2
6	150	100	20	140	90	20	145	95	20
7	10	0,5	2	10	1	0,1	10	0,7	1

8	140	20	1	130	22	0,5	135	21	0,7
---	-----	----	---	-----	----	-----	-----	----	-----

Обработка результатов расчетов, приведенных в последней таблице, позволила получить следующие зависимости:

$$\begin{aligned}
 U_x &= (e^{6,93} Z^{0,18(1,8-\ln D)}) / D^{1,51}, \\
 U_y &= (e^{22,7} Z^{7,69(1,06 \ln D - 1)} \omega^{2,46(2,03 \ln D + \ln Z)}) / (D^{19,86} \omega^{5,11} Z^{3,14 \ln D \ln \omega}); \\
 U_z &= (D^{1,69(7,1 + \ln Z \ln \omega)} Z^{8,67(1,93 - \ln D)} \omega^{2,83(1,37 - \ln D)}) / (e^{20,166} \omega^{2,325 \ln Z}); \\
 e &= 2,718282.
 \end{aligned}$$

Таким образом, определяя в каждый момент времени обработки параметры срезаемого слоя, можно найти составляющие сил резания, которые в упругой задаче расчета деформаций фрез прямопропорциональны деформациям. Последние можно определить по приведенным формулам зависимости от геометрических параметров концевых фрез для указанных в таблице составляющих сил резания. Найденные деформации можно использовать для коррекции управляющих программ ЧПУ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой. — В 2-х т. — М.: Машиностроение, 1985. — Т.2. — 728 с.

### ДИСКРЕТНАЯ ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МЕТЧИКОВ С УЧЕТОМ ИХ ИЗНОСА

И.С. Болдырев, И.А. Щуров

В современном машиностроении широко применяются детали машин, имеющие внутренние резьбовые отверстия. В ряде случаев единственным инструментом их изготовления являются метчики. Точность получаемой метчиками резьбы определяется множеством факторов, среди которых можно назвать износ инструментов [1]. Подавляющее большинство факторов можно учесть, используя дискретное твердотельное моделирование (ДТМ) [2]. Однако подробной модели метчиков с учетом их износа до настоящего времени не разработано. Как известно, ДТМ может быть осуществлено двумя способами: на основе операций отношения и на основе операций с множествами. Ниже рассмотрена модель метчиков с учетом их износа на основе первого способа. Он заключается в записи выражений для радиус-вектора поверхности метчика и логических условий, ее ограничивающих. Сначала рассмотрим износ по передней поверхности метчика.

В общем случае форма и размеры поверхности метчика после износа могут быть разнообразны, но чаще всего форма изношенной передней поверхности соответствует лунке и в первом приближении может быть принята в форме кругового цилиндра некоторого радиуса  $R_{\Pi}$ . В радиальном сечении лунка износа описывается окружностью этого радиуса (рис. 1).

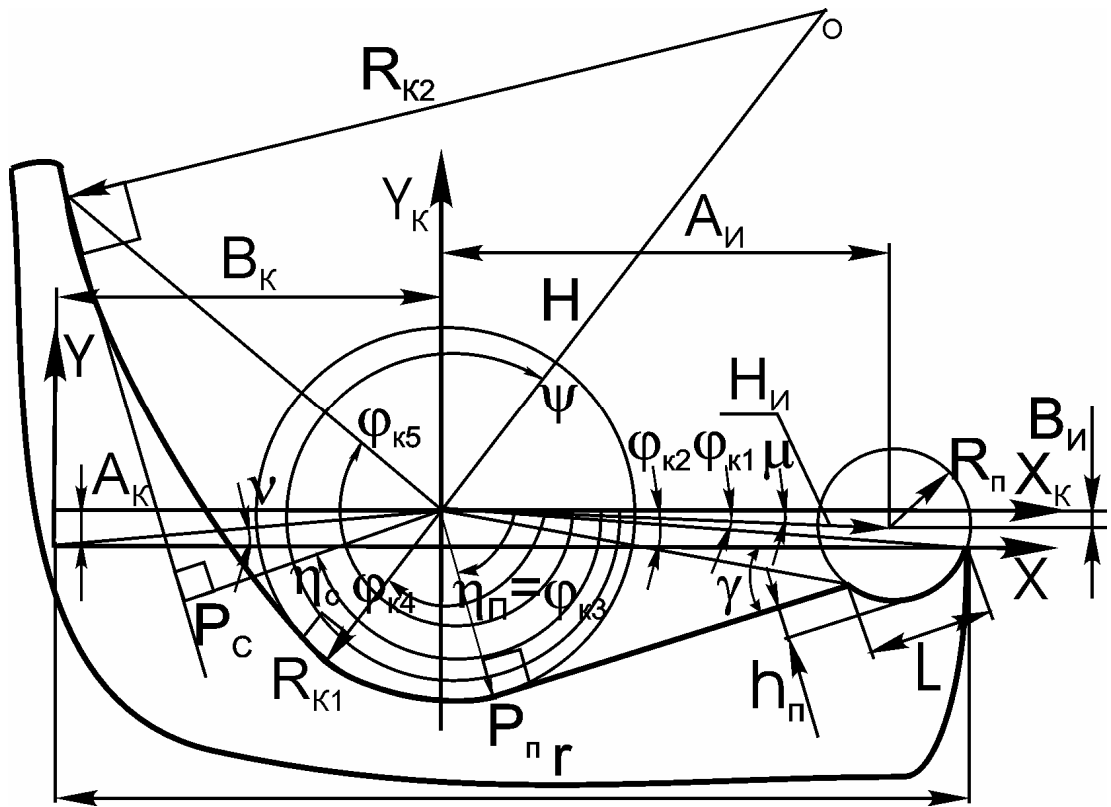


Рис. 1. Схема для расчета профиля канавки с учетом погрешностей ее изготовления и износа по передней поверхности

Полученное уравнение радиус-вектора стружечной канавки метчика (см. рис.1) наиболее сложного профиля, образованного дугами двух окружностей с прямой передней поверхностью и прямой спинкой канавки с учетом износа по передней поверхности имеет вид:

$$r_K(\varphi_K) = \begin{cases} -H_{И} \cos(\varphi_K - \mu) + \sqrt{(H_{И} \cos(\varphi_K - \mu))^2 - (H_{И} - R_{П}^2)} & \text{для } \varphi_{K1} < \varphi_K \leq \varphi_{K2}; \\ \frac{R_{П}}{\cos(\varphi_K - 3\Pi)} & \text{для } \varphi_{K2} < \varphi_K \leq \varphi_{K3}; \\ R_{K1} & \text{для } \varphi_{K3} < \varphi_K \leq \varphi_{K4}; \\ -H \cos(\varphi_K - \psi) + \sqrt{(H \cos(\varphi_K - \psi))^2 - (H - R_{K2}^2)} & \text{для } \varphi_{K4} < \varphi_K \leq \varphi_{K5}; \\ \frac{R_C}{\cos(\varphi_K - 3C)} & \text{для } \varphi_{K5} < \varphi_K \leq \varphi_{K6}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $r_K(\varphi_K)$  — радиус-вектор точки, принадлежащей поверхности стружечной канавки, в ее системе координат;  $\varphi_K$  — полярный угол этого вектора;  $H_{И}$  — радиус вектор центра окружности износа по передней поверхности,  $H_{И} = \sqrt{A_{И}^2 + B_{И}^2}$ ,  $A_{И}$  и  $B_{И}$  — координаты центра окружности лунки износа в

системе координат канавки,  $A_{И} = r - A_K - \frac{L/2}{\cos \gamma} - \left( R_{П} - h_{П} - \frac{L}{2} \operatorname{tg} \gamma \right) \sin \gamma$ ,



$B_{и} = B_{к} - \left( R_{п} - \frac{L}{2} \operatorname{tg} \gamma - h_{п} \right) \cos \gamma$ ; здесь  $A_{к}$ ,  $B_{к}$  — координаты центра окружности канавки в системе координат метчика;  $L$  — длина хорды окружности Лунки износа,  $h_{п}$  — глубина лунки износа;  $\mu$  — угол между указанным радиус-вектором и осью  $X_{к}$ ;  $R_{п}$  — радиус окружности лунки износа по передней поверхности,  $R_{п} = \frac{L^2 + 4h_{п}^2}{8h_{п}}$ ;  $P_{п}$  и  $P_{с}$  — расстояние от центра локальной системы координат до прямых на передней поверхности и спинки канавки;  $\eta_{п}$  и  $\eta_{с}$  — углы между векторами указанных расстояний и осью  $x_{к}$ ;  $R_{к1}$  и  $R_{к2}$  — радиусы дуг окружностей впадины и спинки канавки;  $H$  — расстояние между центрами этих окружностей;  $\psi$  — угол между радиусом-вектором центра второй окружности и осью  $x_{к}$ .

Значение угла  $\varphi_{к2}$ , полученное из расчетной схемы, равно:

$$\varphi_{к2} = \operatorname{arctg} \left( \frac{B_{к} + L \sin \gamma}{r - A_{к} - L \cos \gamma} \right). \quad (2)$$

При этом углы  $\varphi_{к1}$  и  $\varphi_{к6}$  могут быть относительно произвольными, но заведомо перекрывающимися необходимыми границы участков соответствующих линий. Значения остальных углов должны иметь значения:  $\varphi_{к3} = \eta_{п}$ ;  $\varphi_{к4} = \psi$ ;  $\varphi_{к5} = \eta_{с}$ . Таким образом, приведенное уравнение позволяет определить координаты точек профиля стружечной канавки метчика с учетом его износа по передней поверхности. Далее рассмотрим износ по вспомогательным задним поверхностям.

Как известно, дискретная модель позволяет учитывать геометрию износа инструментов различными способами. Аналогично случаю передней поверхности используем дополнительные поверхности, описание которых осуществляется аналогично описанию номинальных поверхностей инструментов. Таким образом, износ метчика по вспомогательным задним поверхностям смоделирован путем добавления двух затылочных поверхностей  $A_{и1}$  и  $A_{и2}$  (рис. 2). Для этих целей используем дополнительную поверхность затылования. При этом профиль износа зададим в виде двух дополнительных прямых  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  (см. рис. 2), положение которых зависит от величин износа резьбы по, соответственно, правым и левым уголкам профиля  $\Delta h_{п}$  и  $\Delta h_{л}$ , а также зависит от углов  $\epsilon_{п}$  и  $\epsilon_{л}$ . Полученное уравнение правой прямой профиля износа имеет вид:

$$X_{р} = r + (Z_{ц}' - (X_1 - r) \operatorname{tg}(\beta) + \Delta h_{п}) \operatorname{ctg}(\epsilon_{п}); Z_{п} < Z_{ц}' < Z_{п1}, \quad (3)$$

где  $X_{р}$ ,  $Z_{ц}'$  — координаты профиля резьбы метчика;  $r$  — наружный радиус метчика;  $X_1$  — координата первой точки исходного треугольника профиля резьбы;  $\beta$  — угол наклона боковой (правой) стороны профиля резьбы метчика.

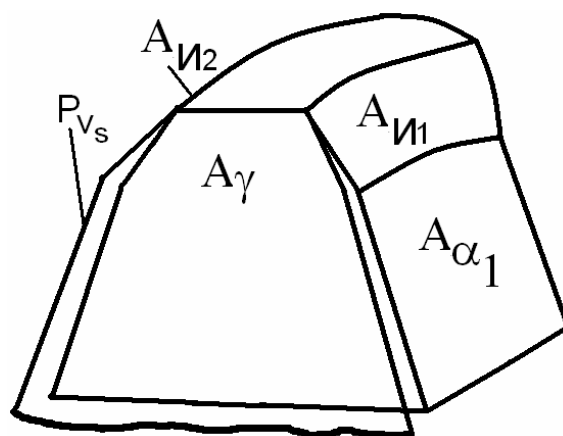


Рис. 2. Поверхности износа по вспомогательным задним поверхностям

При этом, координаты  $Z_{\Pi}$  и  $Z_{\Pi 1}$  точек пересечения прямых  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  с прямыми (см. рис. 3), образующими правый боковой профиль резьбы, должны быть найдены по формулам:

$$Z_{\Pi} = (X_1 - r) \operatorname{tg}(\beta) - \Delta h_{\Pi}; \quad Z_{\Pi 1} = \Delta h_{\Pi} / (\operatorname{ctg}(\beta) \operatorname{tg}(e_{\Pi}) - 1) + Z_{\Pi} + \Delta h_{\Pi}. \quad (4)$$

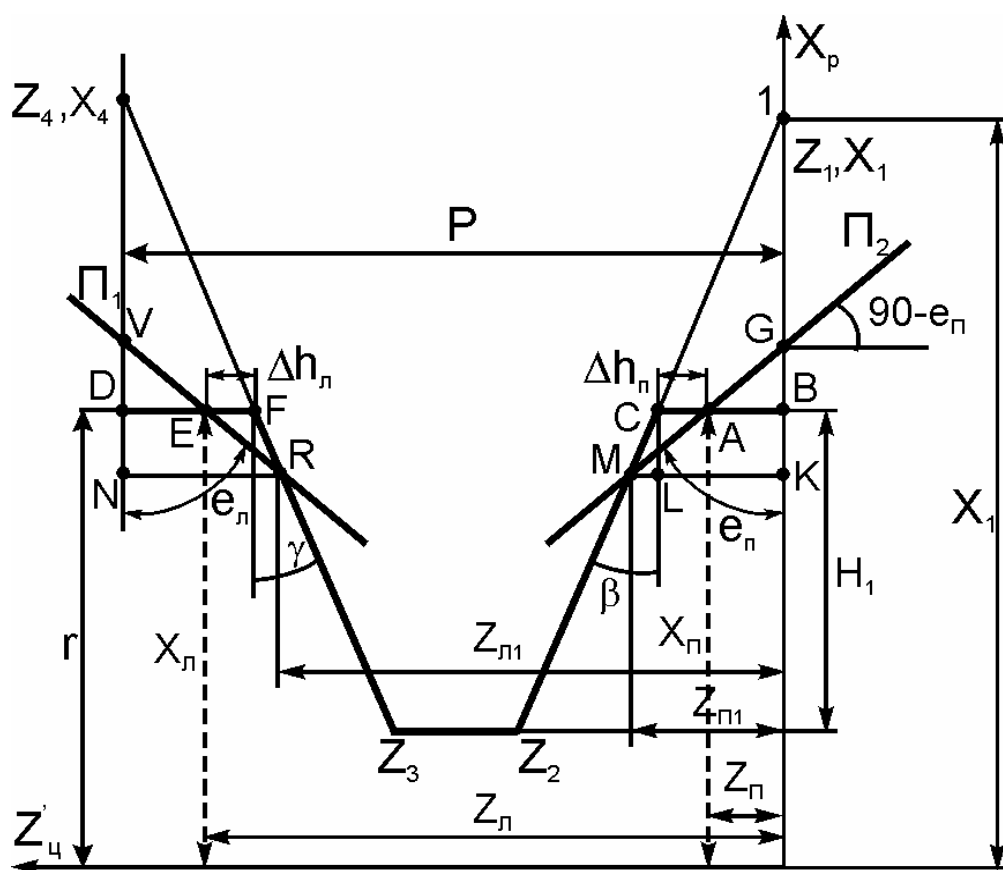


Рис. 3. Профиль износа по вспомогательным задним поверхностям

Аналогичное уравнение получено и для левой половины профиля резьбы.

Приведенные уравнения профиля износа вместе с уравнениями упорного, либо круглого профиля резьбы описывают ломаную линию — образу-

щую винтовой резьбовой поверхности метчика с учетом его износа. На основании чего по известным зависимостям рассчитывается поверхность инструмента. Полученные уравнения использованы в программе ЭВМ «Метчик», где можно задать величину износа метчика по уголкам зубьев  $\Delta h$ , а также угол его профиля  $\epsilon$ .

Таким образом, созданная математическая модель метчиков на основе дискретного твердотельного моделирования позволяет не только смоделировать множество рецепторов тела и поверхности метчиков по номиналу, но и учесть их износ по передней и задним вспомогательным поверхностям. Это дает возможность учесть влияние износа инструментов на точность получаемой резьбы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб (машинными метчиками). — М.: Машиностроение, 1968. — 116 с.
2. Щуров И.А. Теория расчета точности обработки и параметров инструментов на основе дискретного твердотельного моделирования. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. — 320 с.

### **ДИСКРЕТНАЯ ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МЕТЧИКОВ С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИЙ ОТНОШЕНИЯ**

И.С. Болдырев

Нарезание резьбы метчиками является одним из основных способов получения внутренних резьбовых отверстий. Точность получаемой метчиками резьбы зависит от многих факторов, среди которых можно выделить погрешности изготовления самого инструмента [1]. Подавляющее большинство факторов можно учесть, используя дискретное твердотельное моделирование [2]. Однако подробной модели метчиков с учетом погрешностей их изготовления до настоящего времени не разработано. Как известно, рецепторное моделирование может быть осуществлено двумя способами: на основе операций отношения и на основе операций с множествами [2]. Ниже рассмотрена дискретная твердотельная модель метчиков с учетом погрешностей их изготовления с использованием первого метода. Как известно, погрешности (отклонения от номинала) могут быть четырех видов: размеров; формы поверхностей; расположения поверхностей и суммарные отклонения формы и расположения поверхностей. Погрешности размеров уже учитываются в существующих моделях тривиально — простым изменением таких размеров в пределах их допусков. Ниже рассмотрены остальные погрешности изготовления, которые могут наблюдаться у метчиков.

Моделирование инструмента осуществляется в порядке технологического процесса его изготовления. Модель заготовки метчика по номиналу разработана ранее [2]. Погрешности ее изготовления моделируются тривиальным изменением ее размеров.

Следующей операцией является операция обработки (фрезерования или шлифования) стружечных канавок. Уравнение профиля стружечной канавки по номиналу разработано ранее [2]. Определив уравнение профиля канавки с износом в локальной системе координат, далее необходимо установить условие принадлежности  $i$ -го рецептора тела заготовки пространству, занимаемому стружечной канавкой. Для этого найдены координаты такого рецептора в системе канавки с учетом погрешностей ее расположения относительно глобальной системы координат заготовки. Стружечная канавка метчика может иметь как погрешности формы (профиля), так и погрешности расположения. При фрезеровании отклонение формы может возникнуть в результате неточности разворота стола фрезерного станка на угол скрещивания осей заготовки и инструмента. Погрешность расположения обусловлена тремя факторами — неточностью установки фрезы в исходное положение (эта погрешность зависит от трех параметров: межосевого расстояния  $A$ , торцевого смещения  $m$ , угла поворота фрезы  $\omega$ ); погрешностью углового шага делительной головки фрезерного станка; неточностью установки заготовки метчика в центрах фрезерного станка, связанную с их не соосностью; погрешностью движения стола по шагу.

С учетом указанных погрешностей уравнение для расчета декартовых координат  $i$ -го рецептора в локальной системе координат  $j$ -ой канавки имеет вид:

$$\begin{pmatrix} X_{Kji} \\ Y_{Kji} \\ Z_{Kji} \end{pmatrix} = M_Z(\delta \pm \Delta\delta_p) M_Z^T(\theta_j \pm \Delta\theta) \begin{bmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - M_Z^T(H_1) \begin{pmatrix} G_1(z) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $X_{Kji}$ ,  $Y_{Kji}$ ,  $Z_{Kji}$  — декартовы координаты  $i$ -го рецептора в локальной системе координат  $j$ -ой канавки;  $M_Z$  — матрица преобразований поворота вокруг оси  $Z$  (на угол  $\delta \pm \Delta\delta_p$ );  $\delta$  — угол поворота профиля винтовой стружечной канавки, зависящий от текущей координаты  $Z$ ,  $\delta = 2\pi Z K_{н.к.}/H$ , где  $H$  — шаг винтовой стружечной канавки,  $K_{н.к.}$  — коэффициент, определяющий ее направление ( $K_{н.к.} = -1$  для правой канавки,  $K_{н.к.} = 1$  для канавки левого направления);  $\Delta\delta_p$  — погрешность угла поворота канавки, связанная с отклонением от номинала  $\Delta P_1$  шага  $P_1$  винтовой пары механизма подачи стола с заготовкой относительно фрезы,  $\Delta\delta_p = 2\pi Z / (P \pm \Delta P_1)$ ;  $M_Z^T$  — транспонированная матрица преобразования вокруг оси  $Z$ ;  $\theta_j$  — угол поворота глобальной системы для  $j$ -й канавки, соответствующий числу канавок метчика,  $\theta_j = 360(j-1)/n$ , где  $n$  — общее число канавок;  $\Delta\theta$  — погрешность угла поворота делительной головки фрезерного станка;  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  — декартовы координаты тела исходной заготовки метчика;  $v_1$  — угол, определяющий смещение ло-

кальной системы координат канавки относительно глобальной системы,  $\nu_1 = \arctg(B_K \pm \Delta B_K / A_K + \Delta A_K)$ ,  $\Delta B_K$  — величина погрешности установки фрезы зависит как от величины смещения ее вдоль своей оси  $\Delta m$ , так и угла разворота фрезы относительно заготовки  $\Delta \omega$ . Последний связан с погрешностью настройки станка по лимбу  $\Delta \omega_1$ , равной цене его деления и не соосностью центров в горизонтальной плоскости  $\Delta \omega_2 = \arctg(\Delta T_r / L)$ , здесь  $\Delta T_r$  — допуск соосности центров станка в горизонтальной плоскости,  $L$  — длина заготовки метчика;  $\Delta B_K = \Delta B_{Kmin} \dots \Delta B_{Kmax}$ ,  $\Delta B_{Kmin} = (m - \Delta m) \sin(\omega - \Delta \omega)$ ,  $\Delta B_{Kmax} = (m + \Delta m) \sin(\omega + \Delta \omega)$  при этом, знак плюс берется при увеличении угла  $\omega$  против часовой стрелки и при возрастании величины  $\Delta m$  в положительном направлении оси  $X_\phi$ , знак минус — соответственно наоборот,  $\Delta A_K = \pm \Delta A$ ,  $\Delta A$  — погрешность межосевого расстояния между скрещивающимися осями фрезы и заготовки метчика (рис. 1);  $G_1(z)$  — зависимость радиуса сердцевины метчика от его длины с учетом погрешности базирования заготовки в центрах станка, определяемая по формуле  $G_1(Z) = \sqrt{A_K^2 + B_K^2} - KZ - Z\Delta T/L$ , где  $\Delta T$  — допуск соосности центров станка,  $L$  — длина заготовки метчика (см. рис. 2).

Получив декартовы координаты  $i$ -го рецептора в локальной системе координат  $j$ -ой канавки, были найдены его цилиндрические координаты. Полярный угол, радиус-вектор и аппликата рецептора канавки в глобальной системе определяется по известным зависимостям [2].

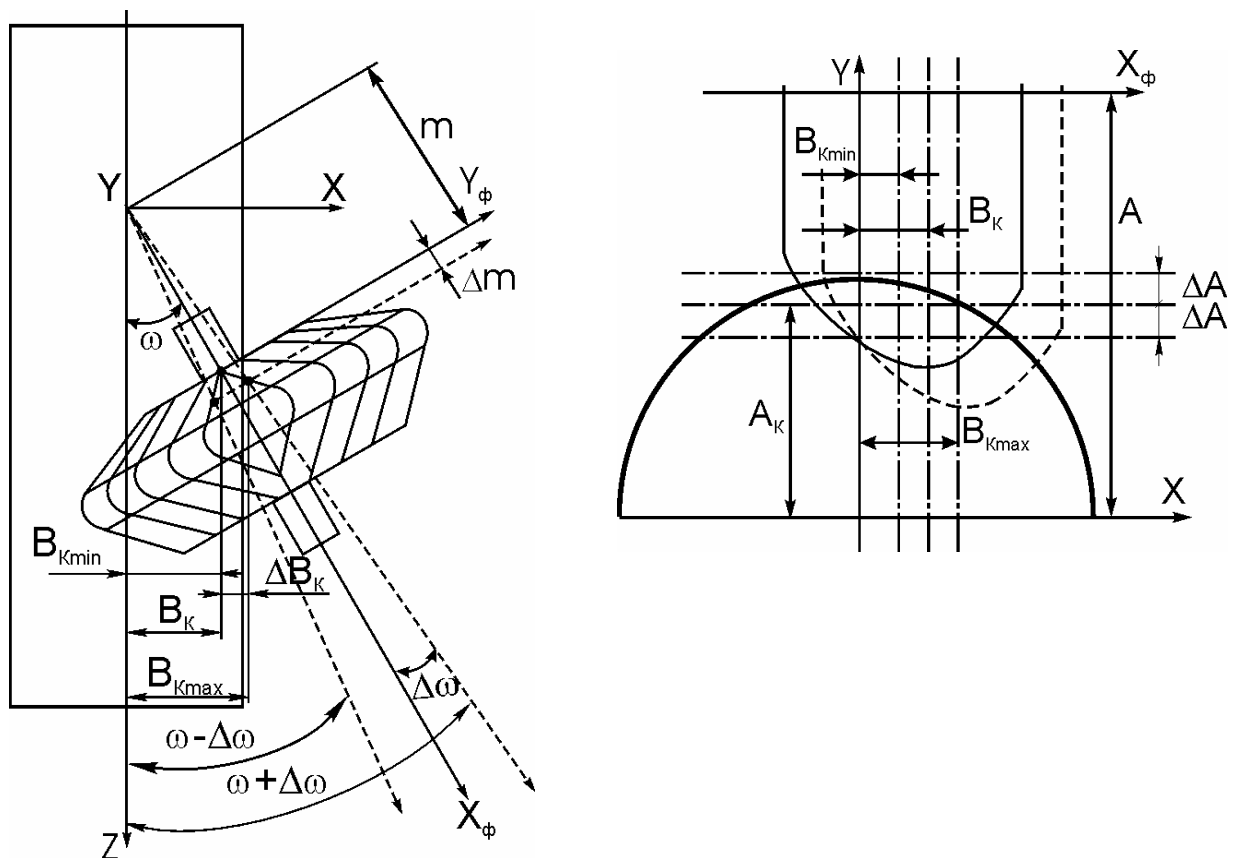


Рис. 1. Схема установки фрезы с учетом погрешностей этой установки для фрезерования винтовых стружечных канавок метчика

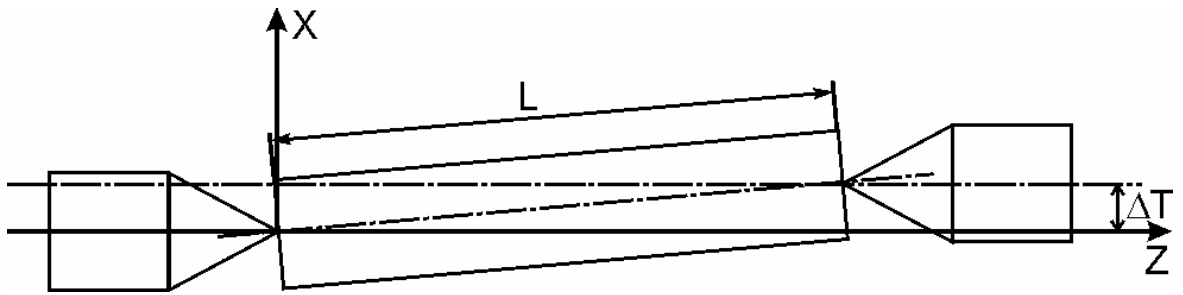


Рис. 2. Схема для расчета погрешности установки заготовки в центрах

Условие непринадлежности рассматриваемого рецептора пространству стружечной канавки является выражение:  $\rho_{kj} \geq \rho_k(\varphi_{kj})$  для  $j = 1 \dots n$ . Это условие является первым для уравнения тела метчика.

Следующим этапом производства метчика является операция резьбошлифования, которая обычно сопровождается образованием затылованных вспомогательных задних поверхностей. Для этого были получены уравнения упорного и трубного профилей резьбы метчика с учетом погрешностей их изготовления. Например, для левой половины упорного профиля (рис.3, 4) уравнение имеет вид:

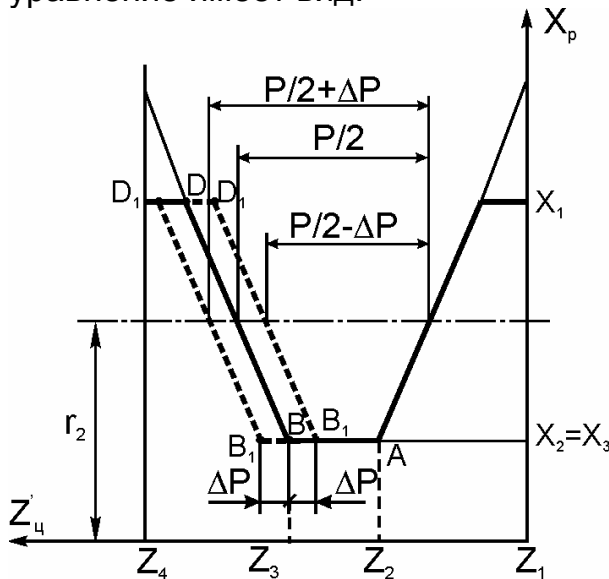


Рис. 3. Упорный профиль резьбы с учетом погрешности шага

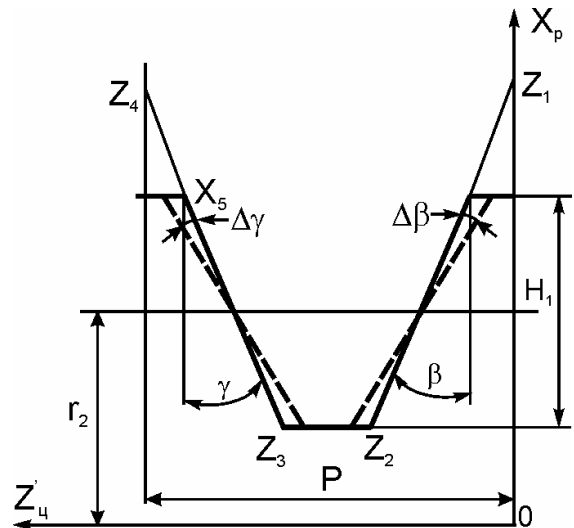


Рис. 4. Упорный профиль резьбы с учетом погрешностей углов боковых сторон

$$X_p = (Z'_ц - (Z_1 \pm \Delta P)) \operatorname{ctg}(\gamma \pm \Delta\gamma) + X_1, \text{ для } Z_1 < Z'_ц \leq Z_2, \quad (2)$$

где  $X_p$  и  $Z'_ц$  — текущие координаты профиля резьбы метчика;  $X_1$  и  $Z_1, Z_2$  — координаты концов отрезков профиля резьбы по номиналу (задаются в соответствии со стандартами);  $\Delta P$  — погрешность шага резьбы метчика;  $\Delta\gamma$  — погрешность левой половины угла профиля, знак плюс берется в случае увеличения угла, знак минус — при его уменьшении.

Аналогичное уравнение получено и для правой половины профиля. Координаты точек круглого профиля резьбы метчика с учетом погрешности его изготовления имеют вид:

$$\begin{aligned}
 X_p &= \sqrt{\left((R_1 \pm \Delta R_1)^2 - Z_{\text{ц}}'^2\right)} + (r \pm \Delta r) - (R_1 \pm \Delta R_1); & \text{для } Z_1 < Z_{\text{ц}}' < Z_2; \\
 X_p &= \sqrt{\left((R_1 \pm \Delta R_1)^2 - (Z_{\text{ц}}' - P \pm \Delta P)^2\right)} + (r \pm \Delta r) - (R_1 \pm \Delta R_1); & \text{для } Z_5 < Z_{\text{ц}}' < Z_6; \\
 X_p &= (Z_{\text{ц}}' - Z_2)((X_3 - X_2)/(Z_3 - Z_2) + X_2 & \text{для } Z_2 < Z_{\text{ц}}' < Z_3; \\
 X_p &= (Z_{\text{ц}}' - Z_4)((X_5 - X_4)/(Z_5 - Z_4) + X_4 & \text{для } Z_4 < Z_{\text{ц}}' < Z_5; \\
 X_p &= \sqrt{\left((R_2 \pm \Delta R_2)^2 - (Z_{\text{ц}}' - P/2 \pm \Delta P)^2\right)} + X_{R_2}, & \text{для } Z_3 < Z_{\text{ц}}' < Z_4,
 \end{aligned} \tag{3}$$

где  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6$  и  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$  — координаты точек сопряжения кривых, образующих круглый профиль (рис. 5);  $R_1$  и  $R_2$  — радиусы соответственно вершины и впадины резьбы;  $\Delta R_1, \Delta R_2$  — погрешность радиуса вершины и впадины резьбы метчика;  $r$  — наружный радиус резьбы метчика;  $\Delta r$  — погрешность наружного радиуса резьбы метчика.

Далее решена задача затылования по профилю резьбы метчика с учетом погрешностей затылования. Для этого получены декартовы координаты задней винтовой вспомогательной поверхности с учетом погрешностей затылования в локальной системе координат:

$$\begin{aligned}
 X_{\text{cp1}} &= (c_{\text{cp1}} + \Delta \rho) \cos \varphi_3; \\
 Y_{\text{cp1}} &= (c_{\text{cp1}} + \Delta \rho) \sin \varphi_3; \\
 Z_{\text{cp1}} &= Z_{\text{cp}},
 \end{aligned} \tag{4}$$

где  $X_{\text{cp1}}, Y_{\text{cp1}}, Z_{\text{cp1}}$  — декартовы локальные координаты винтовой задней вспомогательной поверхности;  $\rho_{\text{cp1}}$  — радиус-вектор рецептора в локальной системе координат;  $\Delta \rho$  — погрешность радиус-вектора затылованной поверхности;  $\varphi_3$  — угол затылования, зависимости для его определения известны [2].

Далее получены глобальные декартовы координаты рецептора винтовой задней поверхности метчика с учетом погрешностей изготовления:

$$\begin{pmatrix} X_{\text{cp}} \\ Y_{\text{cp}} \\ Z_{\text{cp}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_3 \\ B_3 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_{\text{cp1}} \\ Y_{\text{cp1}} \\ Z_{\text{cp1}} \end{pmatrix}, \tag{5}$$

где  $X_{\text{cp}}, Y_{\text{cp}}, Z_{\text{cp}}$  — глобальные декартовы координаты рецептора винтовой задней вспомогательной поверхности метчика;  $A_3, B_3$  — величины смещения локальной системы винтовой задней поверхности (рис. 6) относительно глобальной (вдоль осей  $X$  и  $Z$  соответственно):

$$A_3 = e \cos(\varepsilon_{\text{max}}); B_3 = e \sin(\varepsilon_{\text{max}}), \tag{6}$$

где  $e$  — радиус вектор, проведенный из начала глобальной системы в начало локальной системы винтовой поверхности, характеризует смещение системы координат затылованной поверхности метчика относительно глобальной системы, обусловленное биением заготовки метчика в центрах резьбошлифовального станка (определяется согласно паспортным данным резьбошлифовального станка);  $\varepsilon$  — угол между радиус-вектором  $e$  и осью абсцисс глобальной системы координат, определяется  $\varepsilon_{\min}=90^\circ$ ,  $\varepsilon_{\max}=270^\circ$ .

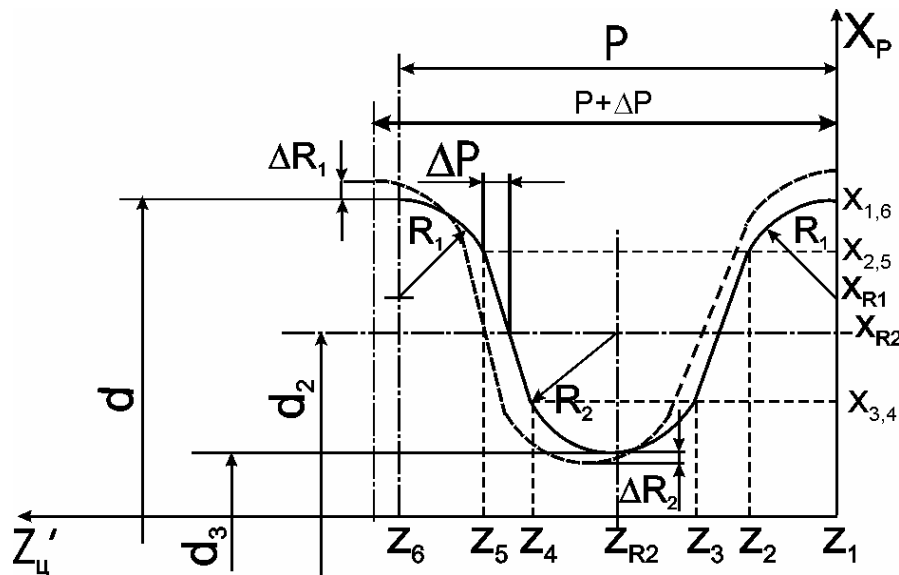


Рис. 5. Профиль круглой резьбы с учетом погрешностей его изготовления (профиль с погрешностью показан пунктиром)

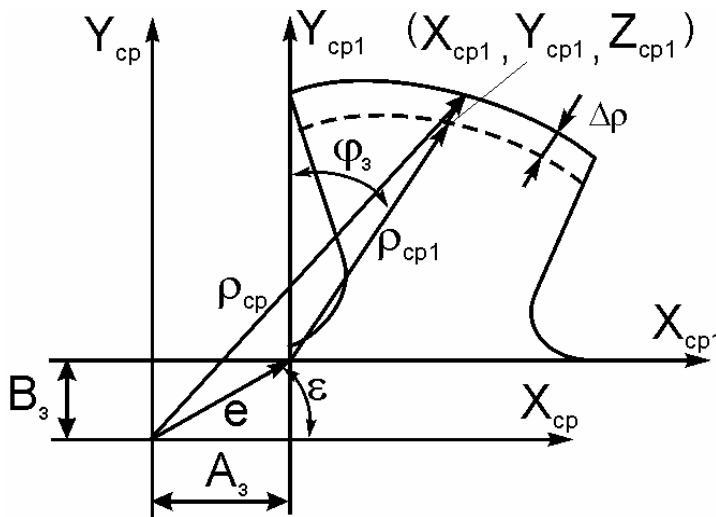


Рис. 6. Схема затылования по среднему диаметру с учетом погрешностей

Радиус-вектор и аппликата рецептора бокового профиля и вспомогательной задней поверхности резьбы метчика с учетом погрешности их изготовления определяются из уравнения:



$$\begin{pmatrix} \rho_{cp} \\ 0 \\ Z_{cpj} \end{pmatrix} = M_z^T(\varphi_3) \begin{pmatrix} X_{cp} \\ Y_{cp} \\ Z_{cp} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Условие принадлежности рассматриваемого рецептора пространству, занимаемому телом метчика, имеет вид:  $R_i \leq \rho_{cp}$ . Это неравенство является вторым условием для уравнения тела метчика.

Следующим этапом изготовления метчиков является их затылование по наружному диаметру и режущей части. Учет погрешностей биения при затыловании по наружному диаметру осуществляется аналогично предыдущему случаю. Величина  $\epsilon$  в данном случае равна максимальному радиальному биению наружного диаметра метчика. Преобразование в декартову систему, аналогично предыдущему случаю, рассчитывается по формуле, (5), где вместо индекса «ср1» необходимо подставить «н1». Глобальные декартовы координаты наружной поверхности метчика с учетом погрешностей изготовления должны определяться по зависимости (6), где также вместо индекса «ср1» надо подставить «н1», а вместо «ср» — «н». С учетом этого радиус-вектор и аппликата рецептора наружного диаметра резьбы метчика, включая погрешности их изготовления, определяются из уравнения, аналогичному предыдущему случаю:

$$\begin{pmatrix} \rho_H \\ 0 \\ Z_H \end{pmatrix} = M_z^T(\varphi) \begin{pmatrix} X_H \\ Y_H \\ Z_H \end{pmatrix}. \quad (8)$$

При этом третье условие принадлежности рецептора телу метчика определяется по зависимости:  $R_i \leq \rho_H$ .

Аналогичным образом описывается затылование режущей части метчиков с учетом погрешности биения. Вместо величин  $X_H, Y_H$  должна быть использована величина  $R_1$  — радиуса-вектора поверхности вращения, которая определяет положение главных режущих кромок на режущей части метчиков. Метчики с прямолинейной образующей режущей части — коническим “заборным конусом”. Для случая прямолинейной образующей части величина  $R_1$  имеет вид

$$R_1 = (d/2 \pm \Delta r) - (Z - (l - l_1)) \cdot ((d \pm 2\Delta r) - (d_T \pm 2\Delta r_T)) / 2 l_1, \quad (9)$$

где  $\Delta r$  — погрешность наружного радиуса метчика;  $\Delta r_T$  — погрешность радиуса торца метчика;  $l$  и  $l_1$  — длины соответственно рабочей и режущей частей метчика.

Далее расчет проводится по формулам вида (5) и (6), где вместо индексов «ср» надо подставить «р», а вместо «ср1» — «р1». В общем случае конструктор может использовать в данной методике любую зависимость вида (10). После расчета по формулам (5) и (6), используя параметр  $\rho_p$ , получено четвертое условие принадлежности рецептора телу метчика:  $R_i \leq \rho_p$ .

Получив условия принадлежности рецепторов телу инструмента, приведем итоговые уравнения для тела и поверхности метчиков. Используя известное уравнение для расчета рецепторов метчиков по номиналу, и добавив приведенные выше условия для износа и погрешностей их изготовления, получено выражение

$$TC = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = M_z(\varphi) \begin{pmatrix} R_i \\ 0 \\ Z \end{pmatrix} \text{ для } \begin{cases} c_{kj} \geq c_k(\varphi_{kj}) & \text{для } j=1 \dots n; \\ c_{kj}^* \geq c_k^*(\varphi_{kj}) & \text{для } j=1 \dots n; \\ R_i \leq c_{cp}^*; & \\ R_i \leq c_{cp}; & 0 < R_i \leq R_{заг}; \\ R_i \leq c_p; & 0 < Z \leq L; \\ R_i \leq c_n; & 0 < \varphi \leq 360. \end{cases} \quad (10)$$

В этом уравнении координаты  $R_i$ ,  $Z$ ,  $\varphi$  меняются дискретно в указанных пределах, как это предусмотрено ранее [2]. Неравенства со звездочками (\*) соответствуют моделированию износа на передней и задней вспомогательных поверхностях.

Аналогично, уравнение для расчета множеств рецепторов поверхности метчика ПИ должно иметь следующий вид:

$$ПИ = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = M_z(\varphi) \begin{pmatrix} R_i \\ 0 \\ Z \end{pmatrix} \text{ для } 0 < R_i \leq R_{заг} \cap 0 < Z \leq L \cap 0 < \varphi \leq 360 \quad (11)$$

и для

$$\begin{aligned} & ((\rho_{kj} = \rho_k(\varphi_{kj})) \cap (\rho_{kj}^* \geq \rho_k^*(\varphi_{kj})) \cap (R_i \leq \rho_{cp}) \cap (R_i \leq \rho_{cp}^*) \cap (R_i \leq \rho_n) \cap (R_i \leq \rho_p)) \cup \\ & (\rho_{kj} \geq \rho_k(\varphi_{kj})) \cap (\rho_{kj}^* = \rho_k^*(\varphi_{kj})) \cap (R_i \leq \rho_{cp}) \cap (R_i \leq \rho_{cp}^*) \cap (R_i \leq \rho_n) \cap (R_i \leq \rho_p)) \cup \\ & (\rho_{kj} \geq \rho_k(\varphi_{kj})) \cap (\rho_{kj}^* \geq \rho_k^*(\varphi_{kj})) \cap (R_i = \rho_{cp}) \cap (R_i \leq \rho_{cp}^*) \cap (R_i \leq \rho_n) \cap (R_i \leq \rho_p)) \cup \\ & (\rho_{kj} \geq \rho_k(\varphi_{kj})) \cap (\rho_{kj}^* \geq \rho_k^*(\varphi_{kj})) \cap (R_i \leq \rho_{cp}) \cap (R_i = \rho_{cp}^*) \cap (R_i \leq \rho_n) \cap (R_i \leq \rho_p)) \cup \\ & (\rho_{kj} \geq \rho_k(\varphi_{kj})) \cap (\rho_{kj}^* \geq \rho_k^*(\varphi_{kj})) \cap (R_i \leq \rho_{cp}) \cap (R_i \leq \rho_{cp}^*) \cap (R_i = \rho_n) \cap (R_i \leq \rho_p)) \cup \\ & (\rho_{kj} \geq \rho_k(\varphi_{kj})) \cap (\rho_{kj}^* \geq \rho_k^*(\varphi_{kj})) \cap (R_i \leq \rho_{cp}) \cap (R_i \leq \rho_{cp}^*) \cap (R_i = \rho_p)). \end{aligned}$$

Таким образом, уравнения (10) и (11), решаемые совместно, позволяют найти координаты узловых точек рецепторов тела и поверхностей подавляющего большинства известных и возможно созданных в будущем конструкций метчиков с учетом погрешностей их изготовления и износа.

В итоге, приведенные выше уравнения образуют геометрическую математическую модель метчиков, в которой установлена взаимосвязь между чертежными номинальными параметрами метчиков, погрешностями их изготовления и износа с одной стороны и координатами рецепторов тел и поверхностей этих инструментов с другой стороны.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1978. — 88 с.
2. Щуров И.А. Теория расчета точности обработки и параметров инструментов на основе дискретного твердотельного моделирования. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2004. — 320 с.

### **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕТЧИКОВ С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИЙ С МНОЖЕСТВАМИ**

И.С. Болдырев

Нарезание резьбы метчиками является одним из основных способов получения внутренних резьбовых отверстий. Точность получаемой метчиками резьбы зависит от многих факторов, среди которых можно выделить погрешности изготовления самого инструмента [1]. Подавляющее большинство факторов можно учесть, используя дискретное твердотельное моделирование (ДТМ) [2]. Однако подробной модели метчиков с учетом погрешностей их изготовления до настоящего времени не разработано. Как известно, ДТМ может быть осуществлено двумя способами: на основе операций отношения и на основе операций с множествами [2]. Ниже рассмотрена дискретная твердотельная модель метчиков с учетом погрешностей их изготовления с использованием второго метода.

Этот тип моделирования подробно разработан ранее [2] и реализуется в последовательности технологического процесса изготовления метчиков. Ниже рассмотрено дополнение имеющейся модели в части учета технологических параметров обработки, погрешностей изготовления, установки и движения инструментов второго порядка. Разработка модели в этом случае начинается с описания заготовки, которое ничем не отличается от рассмотренного ранее [2]. Далее производится моделирование удаления припусков, которое реализуется через моделирование инструментов второго порядка и их формообразующих движений.

Первой из этих операций является получение винтовых стружечных канавок. Разность множества рецепторов заготовки и множества рецепторов припуска стружечных канавок дает множество рецепторов заготовки со стружечными канавками. Для этого первоначально необходимо получить множество рецепторов дискового инструмента (абразивного или фрезы) в собственной системе координат  $x_{\phi}$ ,  $y_{\phi}$ ,  $z_{\phi}$ . При этом ось  $x_{\phi}$  должна проходить через ось фрезы..

Уравнения для расчета координат профиля  $Y_{\phi}$  в осевом сечении фрезы с учетом погрешности изготовления профиля фрезы имеют вид:

$$Y_{\phi} = \begin{cases} X_{\phi} \operatorname{tg}(\beta \pm \Delta\beta) + Y_{\phi 0} & \text{для } 0 \leq X_{\phi} \leq X_{\phi 1}; \\ -\sqrt{(R_1 \pm \Delta R_1)^2 - (X_{\phi} - (X_1 \pm \Delta X_1))^2} + \\ + (R_1 + \Delta R_1) - (R_{\phi} + \Delta R_{\phi}) & \text{для } X_{\phi 1} \leq X_{\phi} \leq X_{\phi 2}; \\ -\sqrt{(R_2 \pm \Delta R_2)^2 - (X_{\phi} - (X_2 \pm \Delta X_2))^2} + (R_1 \pm \Delta R_1) - \\ - (R_{\phi} \pm \Delta R_{\phi}) + (Y_2 \pm \Delta Y_2) - (Y_1 \pm \Delta Y_1) & \text{для } X_{\phi 2} \leq X_{\phi} \leq X_{\phi 3}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $X_{\phi 0}$ ,  $X_{\phi 1}$ ,  $X_{\phi 2}$ ,  $X_{\phi 3}$  и  $Y_{\phi 0}$ ,  $Y_{\phi 1}$  — координаты ключевых точек фрезы;  $\beta$  — угол наклона образующей конической части фрезы;  $\Delta\beta$  — погрешность угла наклона образующей конической части фрезы;  $X_1$ ,  $Y_1$ ,  $R_1$ ,  $X_2$ ,  $Y_2$ ,  $R_2$  — координаты центров и радиусы окружностей, формирующих соответственно впадину и спинку канавки метчика;  $\Delta X_1$ ,  $\Delta X_2$ ,  $\Delta Y_1$ ,  $\Delta Y_2$  — погрешности координат центров окружностей профиля фрезы, определяющие погрешности формы этого профиля;  $\Delta R_1$ ,  $\Delta R_2$ ,  $\Delta R_{\phi}$  — погрешности радиусов профиля фрезы (см. рис. 1).

С учетом этого множество рецепторов фрезы рассчитывается по условию:

$$0 < \varphi_i \leq 360 \cap 0 < R_i \leq R_{\phi} \cap 0 < X_i \leq X_{\phi 3} \cap \\ \varphi_i = \varphi_{i-1} + \delta\varphi \cap R_i = R_{i-1} + \delta R \cap X_{i\phi} = X_{i\phi-1} + \delta X, \quad (2)$$

где  $\varphi_i$ ,  $R_i$ ,  $X_{i\phi}$  — координаты цилиндрической системы фрезы;  $\delta\varphi$ ,  $\delta R$ ,  $\delta X$  — здесь шаги рецепторной сетки фрезы.

На основании зависимостей (1) по известным формулам перехода из цилиндрической системы координат в декартову рассчитываются декартовы координаты рецепторов фрезы по формулам:

$$Y_{i\phi} = R_i \sin(\varphi_i); \quad Z_{i\phi} = R_i \cos(\varphi_i). \quad (3)$$

Следующим этапом решения задачи моделирования стружечных канавок является моделирование формообразования дисковым инструментом. Для этого необходимо, во-первых, описать установку инструмента в системе координат метчика, а во-вторых, описать его движение в этой системе. Уравнения для определения координат рецепторов фрезы в системе координат метчика с учетом погрешностей установки фрезы имеют следующий вид:

$$\begin{pmatrix} X'_{\phi i} \\ Y'_{\phi i} \\ Z'_{\phi i} \end{pmatrix} = M_Y(\psi \pm \Delta\psi) \begin{pmatrix} X_{\phi i} \\ Y_{\phi i} \\ Z_{\phi i} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} m + \Delta m \\ 0 \\ A + \Delta A \end{pmatrix}, \quad (4)$$

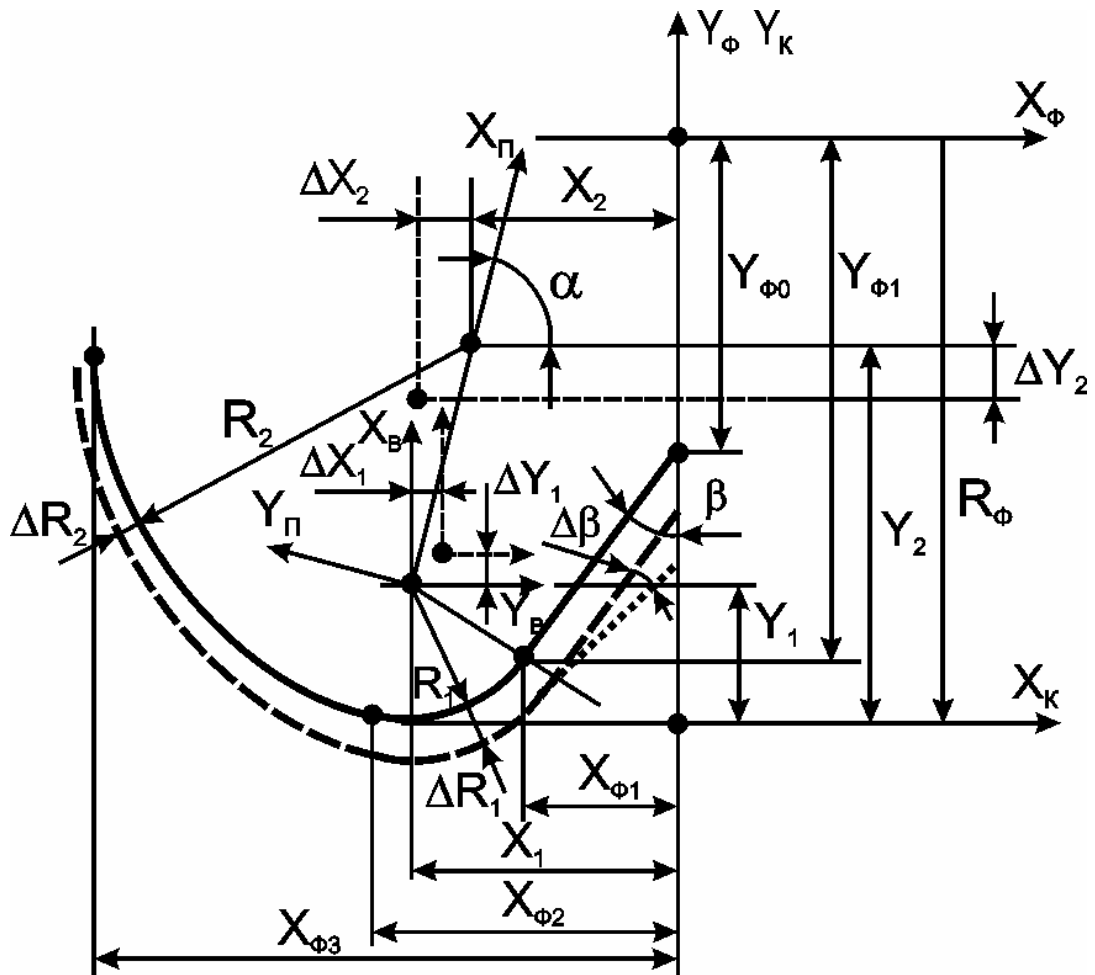


Рис. 1. Схема для расчета профиля фрезы с учетом погрешностей ее изготовления (пунктиром отмечен профиль с погрешностями)

где  $M_Y$  — матрица преобразования систем координат при повороте вокруг оси  $Y$ ;  $\Delta\omega_\phi$  — погрешность угла между осями фрезы и метчика;  $\Delta m$  — погрешность торцевого смещения фрезы;  $\Delta A$  — погрешность межосевого расстояния.

Для описания движения фрезы получены координаты рецепторов тела фрезы  $T\Phi_j$  в некоторый момент времени  $j$  моделируемой обработки для первой канавки с учетом погрешности винтового движения фрезы:

$$\begin{pmatrix} X_{\phi j1} \\ Y_{\phi j1} \\ Z_{\phi j1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ C_j \pm \Delta C \end{pmatrix} + M_Z(\varepsilon_j) \begin{pmatrix} X_{\phi j}' \\ Y_{\phi j}' \\ Z_{\phi j}' \end{pmatrix};$$

$$\varepsilon_j = C_j/P; \quad -R_\phi < C_j < (l + R_\phi) \cap C_j = C_{j-1} + \delta C, \quad (5)$$

где  $C_j$  и  $\delta C$  — смещение фрезы вдоль оси метчика и шаг осевого формообразующего движения;  $\Delta C$  — погрешность смещения фрезы вдоль оси метчика, обусловленная погрешностью параметра винтового движения фрезы,

$$\Delta C = \left( \frac{\Delta P_1}{2\pi} \right) \varepsilon_j, \quad \Delta P_1 \text{ — погрешность шага ходового винта механизма подачи}$$

фрезы;  $\varepsilon_j$  — угол поворота фрезы вокруг указанной оси, отражающий вращение заготовки метчика;  $l$  — длина рабочей части метчика.

Семейство рецепторов тел фрезы к моменту времени  $j$  рассчитывается путем логического суммирования полученных множеств рецепторов [2]:

$$\text{СТИ}_j = \sum_{j=0}^j T\Phi_j. \quad (6)$$

Рецепторы тела метчика со стружечной канавкой рассчитываются с использованием логической разности множеств исходной заготовки метчика и полученного множества  $\text{СТИ}_j$  [2]:  $\text{ТИ} = \text{ИТЗ} \setminus \text{СТИ}_j$ . Для расчета остальных канавок необходимо матрицу координат, полученных в уравнении (5), умножить на матрицу вращения.

Далее рассмотрим операции резьбошлифования и затылования. Шлифование резьбы по существу ничем не отличается от обработки стружечных канавок. И в том и другом случаях ведется обработка дисковым инструментом винтовой канавки. В связи с этим решение данной задачи практически не отличается от предыдущего случая. Операция резьбошлифования метчика отличается наличием движения затылования. В связи с этим для получения координат рецепторов абразивного круга в некоторый момент времени  $j$  необходимо воспользоваться уравнениями (5), (6) для моделирования винтового движения и к полученной матрице добавить матрицу затылования с учетом погрешностей затылования и, таким образом, рассчитать координаты рецепторов, образующих множество тела заготовки метчика с резьбой:

$$\begin{pmatrix} X_{Kj} \\ Y_{Kj} \\ Z_{Kj} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_x + \Delta K_x \\ K_y + \Delta K_y \\ P_p(n-1) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_{\Phi j} \\ Y_{\Phi j} \\ Z_{\Phi j} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где  $X_{Kj}$ ,  $Y_{Kj}$ ,  $Z_{Kj}$  — координаты рецепторов абразивного круга в момент времени  $j$ ;  $K_x$  и  $K_y$  — перемещения круга по осям  $X$  и  $Y$  при затыловании (они определяются некоторыми функциями от угла поворота круга  $\varepsilon$ :  $K_x = F_1(\varepsilon)$ ,  $K_y = F_2(\varepsilon)$ );  $\Delta K_x$  и  $\Delta K_y$  — погрешности перемещения круга при затыловании, обусловленные биением заготовки метчика относительно центров станка;  $P_p$  и  $n$  — шаг резьбы и номер ее захода (используется для многозаходных резьб).

Ранее были получены зависимости для затылований по архимедовой спирали, прямой и дуге окружности [2]. Данные формулы можно использовать и в модели на основе множеств, заменив в этих зависимостях угол  $\varphi$  на угол  $\varepsilon$  и величину  $X_p$  на межосевое расстояние  $A$ . Далее следует по полученным  $\rho$  и  $\varepsilon$  найти декартовы координаты, которые и представляют со-

бой величины  $K_x$  и  $K_y$ . В частности, при затыловании по спирали Архимеда указанные значения равны (см. рис. 2):

$$\begin{aligned} \rho &= k\varepsilon + A; \\ K_x &= (\rho + \Delta\rho)\cos(\varepsilon); \\ K_y &= (\rho + \Delta\rho)\sin(\varepsilon); \\ \Delta K_x &= \Delta e \cos(\psi); \\ \Delta K_y &= \Delta e \sin(\psi), \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\Delta\rho$  — погрешность затыловочного движения по радиусу ( $\Delta\rho=f(\varepsilon)$  рассчитывается по формуле);  $\Delta e$  — эксцентриситет, показывающий биение затыловочной кривой относительно оси центров и системы координат метчика;  $\psi$  — угол между осью  $X$  системы координат метчика и радиус вектором эксцентриситета.

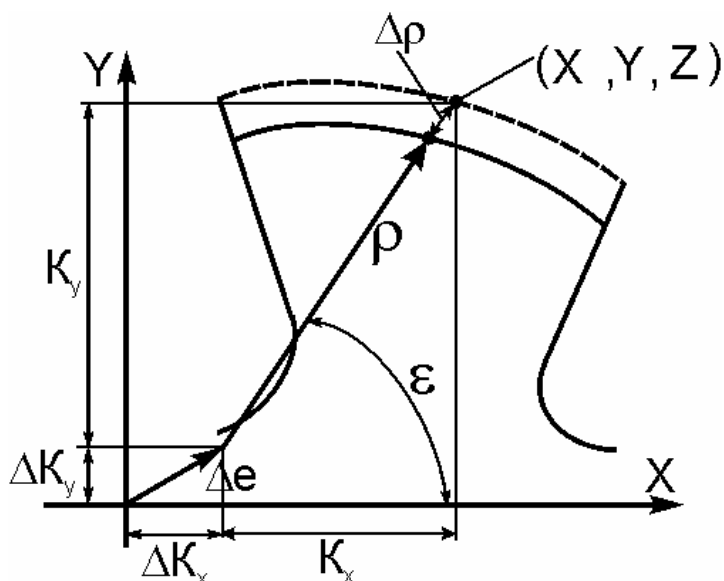


Рис. 2. Схема образования погрешностей затылования

Полученные решения в работе [2], связанные в затылованием по схемам “спад”, “спад–подъем” и “спад–подъем–спад”, остаются приемлемыми и в данном случае.

Моделирование затылования по наружному диаметру также осуществляется на основании приведенных выше зависимостей (5) и (7). При этом принят равным нулю в формуле (5) параметр винтового движения  $C_j$ , так как винтовое движение в данном случае отсутствует. Прямой профиль круга с погрешностями его изготовления описывается по зависимостям для упорного профиля резьбы. В этом случае координаты множества рецепторов, образующих множество тела заготовки метчика с резьбой, затылованной по наружному диаметру должны быть рассчитаны по формуле (8), где вместо индекса «ф» нужно поставить «з», а вместо «к» — «н».

Моделирование затылования режущей части с учетом погрешностей затылования осуществляется по приведенным выше формулам (5) и (8) для случая затылования по наружному диаметру. В частности, для описания конического круга с учетом погрешностей его изготовления необходимо ис-

пользовать формулу для описания упорного профиля резьбы. В этом случае координаты множества рецепторов, образующих множество тела заготовки метчика с резьбой, затылованной по режущей части с учетом погрешностей ее изготовления рассчитываются по формуле (7), где вместо индекса «ф» нужно поставить «з», а вместо «к» — «р».

После моделирования всех операций удаления припуска с заготовки метчика остается множество рецепторов его тела с учетом погрешности его изготовления. Тогда множество рецепторов поверхности метчика с учетом погрешностей его изготовления и износа определяется по известной зависимости [2]:

$$\begin{aligned} & (ТИ_{i+1,j,k} = 0) \cap (ТИ_{i-1,j,k} = 0) \cap \\ & ПИ_{i,j,k} = ТИ_{i,j,k} \text{ для } (ТИ_{i,j+1,k} = 0) \cap (ТИ_{i,j-1,k} = 0) \cap \quad (9) \\ & (ТИ_{i,j,k+1} = 0) \cap (ТИ_{i,j,k-1} = 0), \end{aligned}$$

где индексы  $i, j, k$  соответствуют некоторому рецептору в  $i$ -ой строке,  $j$ -ом столбце и  $k$ -ом слое матрицы рецепторов инструмента.

В итоге, приведенные выше уравнения образуют геометрическую математическую модель метчиков, в которой установлена взаимосвязь между чертежными номинальными параметрами метчиков, погрешностями их изготовления и износа с одной стороны и координатами рецепторов тел и поверхностей этих инструментов с другой стороны.

Таким образом, математическая модель на основе операций с множествами, как и модель с неравенствами, позволяет описать путем использования вполне ограниченного набора формул тела и поверхности большей части существующих конструкций метчиков. Вместе с тем, полученные здесь множества координат более точно отражают особенности изготовления реально существующих метчиков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1978. — 88 с.
2. Щуров И.А. Теория расчета точности обработки и параметров инструментов на основе дискретного твердотельного моделирования. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2004. — 320 с.

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СРЕЗАЕМЫХ СЛОЕВ И ВЫСОТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ НЕРОВНОСТЕЙ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.В. Щурова

Расчет параметров срезаемых слоев металла заготовки при обработке лезвийным инструментом актуален в связи с необходимостью учета таких параметров при расчете сил резания, что, в свою очередь, необходимо для определения точности обработки, прочности инструмента и в других задачах машиностроения. В настоящее время такого рода вычисления произво-



дятся с применением геометрических расчетных схем на плоскости, где рассматриваются проекции срезаемого слоя на основную плоскость. Для тех случаев обработки, когда сечение срезаемого слоя не меняется, такой подход является достаточным. В других случаях: при фрезеровании, точении заготовок с криволинейной образующей появляются трудности расчета. В случаях обработки на станках с ЧПУ, особенно при необходимости учета деформаций элементов технологической системы такой подход практически неприемлем.

Одним из способов решения указанной задачи является применение методов дискретного твердотельного моделирования, которое позволяет находить области пересечения поверхностей инструментов с заготовкой [1]. С понятием “сечение срезаемого слоя” тесно связано понятие “пятно контакта передней поверхности инструмента с заготовкой”. Речь идет о том участке передней поверхности зуба инструмента, который контактирует с заготовкой (но не стружкой). Для случая, когда углы  $\gamma$  и  $\lambda$  равны нулю, эти два понятия совпадают. В большинстве случаев инструменты имеют передний угол в пределах от  $-20^\circ$  до  $+20^\circ$ . Косинус такого угла, используемый для проецирования передней поверхности и, следовательно, поверхности контакта на основную плоскость, где определено сечение срезаемого слоя, равен 0,94. Следовательно, пренебрегая погрешностью в 6%, можно считать эти понятия тождественными.

С учетом этого получены зависимости для определения указанных поверхностей контакта и величин их площадей. Методика основана на использовании модели с множествами и, в частности, базируется на следующем уравнении [2]

$$ПК_\tau = TZ_{\tau-1} \cap ПИ_\tau, \quad (1)$$

где  $ПК_\tau$  — множество рецепторов поверхности контакта в момент времени  $\tau$ ;  $TZ_{\tau-1}$  — множество рецепторов тела заготовки (при учете деформаций с изменениями координат на величины деформаций) в момент времени, предшествующий рассматриваемому моменту  $\tau$ ;  $ПИ_\tau$  — множество рецепторов поверхности инструмента в рассматриваемый момент времени (при необходимости также с учетом деформаций);  $\cap$  — оператор пересечения множеств рецепторов.

Здесь дополнительно следует отметить, что при использовании варианта моделирования инструмента на основе операций с множествами необходимо применять многозначное определение параметров рецепторов, поскольку здесь необходимо использовать только рецепторы передней поверхности. При моделировании на основе операций с неравенствами из всех условий уравнения поверхности инструмента используется только условие принадлежности рецептора передней поверхности (в формуле это соответствующая строка).

Полученные координаты рецепторов поверхности контакта позволяют найти ее площадь. Для этого сторона каждого рецептора, содержащая четыре узловые точки, разбивается на два треугольника. Тогда искомая площадь поверхности контакта равна

$$S_{\text{ПК}} = \sum_{i=1}^n S_i,$$

где  $n$  — число указанных треугольников, равное удвоенному числу всех рецепторов поверхности контакта;  $S_i$  — площадь  $i$ -го треугольника, определяется по известным зависимостям через координаты узловых точек треугольника  $(X_{i-1}, Y_{i-1}, Z_{i-1})$ ,  $(X_i, Y_i, Z_i)$ ,  $(X_{i+1}, Y_{i+1}, Z_{i+1})$  [2].

В случае, если глобальная система координат инструмента выбрана так, что совпадает с его инструментальной системой координат, то тогда основная плоскость будет совпадать с одной из координатных плоскостей или будет ей параллельна и удалена на известное по чертежу инструмента расстояние  $A$ . Следовательно в этом случае возможен точный расчет параметров срезаемого слоя (без погрешности в пределах 6%). Тогда уравнение основной плоскости может иметь вид:  $X = A$  (или  $Y = A$ , или  $Z = A$ ). В случае произвольного расположения основной плоскости и необходимости точных расчетов можно воспользоваться уравнениями преобразования систем координат (применительно к координатам рецепторов поверхности контакта) и получить уравнение этой плоскости в соответствии с последними зависимостями. После этого расчет координат точек сечения срезаемого слоя производится путем замены соответствующей координаты рецепторов поверхности контакта (например,  $X$ ) на указанную константу  $A$ .

Ширина срезаемого слоя может быть определена как максимальное расстояние между узловыми точками любых рецепторов из всего множества рецепторов режущей кромки, одновременно принадлежащих и срезаемому слою (т.е. здесь необходимо использовать соответствующую операцию пересечения множеств рецепторов срезаемого слоя и кромки инструмента).

Средняя толщина срезаемого слоя может быть определена делением его площади на ширину. Максимальное значение толщины срезаемого слоя можно найти как максимальное расстояние в направлении, ортогональном линии множества рецепторов, характеризующих ширину срезаемого слоя  $a_{\text{max}}$ :

$$\rho_j = i^p(X_i - X_j) + j^p(Y_i - Y_j) + k^p(Z_i - Z_j);$$

$$\rho_k = i^p(X_i - X_k) + j^p(Y_i - Y_k) + k^p(Z_i - Z_k);$$

$$\rho_n = \rho_j \times \rho_k; \quad \rho_m = \rho_j \times \rho_n;$$

$$K_x = (X_i - X_e)/X_m; \quad K_y = (Y_i - Y_e)/Y_m; \quad K_z = (Z_i - Z_e)/Z_m;$$

$$K_e = \max\{|K_x|, |K_y|, |K_z|\};$$

$$X_p = X_m K_e; \quad Y_p = Y_m K_e; \quad Z_p = Z_m K_e;$$

$$d^2 = (X_p - X_e)^2 + (Y_p - Y_e)^2 + (Z_p - Z_e)^2;$$

$$a^2 = (X_i - X_e)^2 + (Y_i - Y_e)^2 + (Z_i - Z_e)^2;$$

$$a_{\text{max}} = \max\{a\} \text{ для } d^2 \leq (\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2)/2,$$

где  $\vec{V}_j$  — вектор из некоторой рассматриваемой узловой точки  $i$  в близко расположенную к ней точку  $j$ , принадлежащих режущей кромки с соответствующими координатами  $(X_i, Y_i, Z_i)$  и  $(X_j, Y_j, Z_j)$ ;  $\vec{V}_k$  — вектор из точки  $i$  в близко расположенную к ней точку  $k$ , принадлежащую множеству рецепторов поверхности срезаемого слоя, имеющую координаты  $(X_k, Y_k, Z_k)$ ;  $\vec{V}_n$  — вектор, нормальный к двум предыдущим векторам и определяемый через их векторное произведение;  $\vec{V}_m$  — вектор, нормальный к первому и третьему векторам и определяемый через их векторное произведение (лежит в плоскости, касательной к поверхности срезаемого слоя в рассматриваемой точке);  $K_x, K_y, K_z, K_e$  — вспомогательные коэффициенты;  $X_e, Y_e, Z_e$  — координаты произвольной узловой точки  $e$  множества рецепторов поверхности срезаемого слоя;  $X_m, Y_m, Z_m$  — координаты конца вектора  $\vec{V}_m$ ;  $d$  — расстояние от точки  $p$  на векторе измерения  $\vec{V}_m$  до точки  $e$ ;  $a$  — расстояние от узловой точки режущей кромки  $i$  до точки  $e$ ;  $a_{\max}$  — определяется перебором всех точек  $i$  множества рецепторов поверхности контакта, принадлежащих и режущей кромке одновременно, и всех точек  $e$  названной поверхности;  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  — шаги рецепторной сетки.

Дискретное моделирование, реализованное на ЭВМ, позволяет визуализировать формы поверхности контакта и сечения срезаемого слоя на экране компьютера или распечатке. Определение размеров этих сечений также можно произвести на ЭВМ в диалоговом режиме. В частности, все существующие графические программы САПР, куда могут быть экспортированы координаты узловых точек рецепторов, позволяют с помощью указателя типа “мышь” определить координаты любой точки. Выбрав эти точки на изображении сечений, и определив их координаты, легко найти расстояния между ними. Такими расстояниями могут быть толщина и ширина срезаемого слоя.

Таким образом, дискретное твердотельное моделирование позволяет производить расчет площадей срезаемых слоев и поверхностей контакта, определять линейные размеры, а также с помощью ЭВМ визуализировать их.

Расчет высоты теоретических неровностей производится на основе данных, полученных после решения задачи формообразования. Однако последняя должна быть решена с учетом некоторых требований. Расчет высоты теоретических неровностей может быть произведен в двух вариантах.

В первом варианте (более точном) производится моделирование тела инструмента во всех его подробностях, то есть с учетом наличия в нем зубьев, стружечных канавок, передних и задних углов и т.п. С применением модели такого инструмента решается задача формообразования как в классической постановке, так и с учетом технологических факторов, если это необходимо. Все движения инструмента в этом случае должны быть смоделированы. Величина дискреты перемещения инструмента вдоль дви-

жения подачи должна быть гораздо меньше подачи инструмента на зуб (например, для фрезерования). После решения задачи формообразования определяется множество рецепторов поверхности заготовки, которая и используется для дальнейших расчетов.

Во втором варианте (менее точном, но пока достаточном для практики) используются рецепторы тела, заключенного в исходной инструментальной поверхности. В этом случае дискрета перемещения инструмента в задаче формообразования принимается равной подаче инструмента на зуб.

После определения рецепторов поверхности заготовки следует произвести следующие действия. Во-первых, необходимо выбрать базовую точку, в окрестности которой будет определяться высота теоретических неровностей. Такая точка задается координатами некоторого рецептора ( $Y_0$ ,  $X_0$ ,  $Z_0$ ). Во-вторых, необходимо выбрать базовую линию, которая является направляющей или образующей кривой для полученной поверхности. Здесь возможно пять вариантов. Для плоскости выбирается прямая, одновременно параллельная этой плоскости и вектору скорости движения подачи. Для цилиндрической поверхности выбирается прямая, параллельная образующей. Она представляет собой перпендикуляр, опущенный на поверхность детали в требуемом месте, и соответствует вектору измерения неровностей. Для поверхности вращения выбирается окружность. Для винтовой поверхности — винтовая линия на выбранном диаметре. В прочих случаях определение высоты неровностей производится только с учетом уравнения теоретической поверхности, которая должна быть получена при механической обработке или на ЭВМ в диалоговом режиме (пример рассмотрен ниже). В-третьих, необходимо определить ось системы координат заготовки, от которой далее будет производиться расчет высоты неровностей. В первом и втором случаях (плоскость и цилиндрическая поверхность) одна из осей системы координат заготовки чаще всего совпадает с указанной прямой. В третьем — с осью, ортогональной плоскости окружности и проходящей через ее центр. В четвертом — это ось винтовой линии. При невыполнении третьего условия необходимо воспользоваться уравнениями преобразований систем координат и, соответственно, пересчитать координаты рецепторов поверхности, чтобы обеспечить его выполнение.

Тогда расчет высоты неровностей производится путем определения расстояний от указанной оси системы координат до узловых точек поверхности заготовки. Расчет ведется для всех точек на интервале с длиной, равной величине подачи на зуб. В качестве примера примем, что указанной осью является ось  $z$ . Тогда расстояния до узловых точек рецепторов определяются зависимостью  $\rho = \sqrt{X^2 + Y^2}$ .

Для плоскости и цилиндрической поверхности должны выполняться условия  $\varphi = \text{const}$ , где  $\varphi = \text{arctg}(Y/X)$ ;  $Z_0 \leq Z \leq (Z_0 + S_z)$ . Для облегчения расчета следует повернуть систему координат вокруг оси  $z$  на угол  $\varphi$ . Тогда  $\rho = Y$ , ( $X = 0$ ) или  $\rho = X$ , ( $Y = 0$ ). Для поверхности вращения, когда моделируется измерение вдоль дуги окружности, условия расчета следующие:  $Z_0 = \text{const}$ ,  $\varphi_0 \leq \varphi \leq (\varphi_0 + \Delta\varphi)$ , где  $\varphi_0 = \text{arctg}(Y_0/X_0)$ ,  $\Delta\varphi = S_z/\rho$ . Последняя формула пред-

полагает, что совершалось вращательное движение инструмента вокруг оси  $z$ . В общем же случае необходимо принять  $S_z$  заведомо больше шага неровностей. Для винтовой поверхности условиями расчета являются:  $Z_0 \leq Z \leq (Z_0 + S_z)$ , угол  $\varphi$  рассчитывается по формуле  $\varphi = Z/P$ , где  $P$  — винтовой параметр поверхности детали.

После расчета множества значений  $\rho_i$  для каждого рецептора из указанных выше условий определяются максимальная и минимальная величины:  $\rho_{\max} = \max\{\rho_i\}$ ;  $\rho_{\min} = \min\{\rho_i\}$  [2]. Тогда максимальная высота неровностей:  $h = \rho_{\max} - \rho_{\min}$ .

Для поверхностей произвольной формы дискретное твердотельное моделирование позволяет получить значения высоты неровностей с применением ЭВМ и любой из современных графических программ САПР. Экспорт в эту программу всех точек поверхности детали позволяет их визуализировать на экране в нужной проекции. Указание и выбор трех точек на экране: одна во впадине и две на вершинах неровности, позволяет найти их координаты. Путем простых расчетов, через формулу для высоты треугольника, определяется искомая величина.

Таким образом, дискретное твердотельное моделирование позволяет в автоматическом или интерактивном режиме с помощью ЭВМ определить высоту теоретических неровностей детали.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Щуров И.А. Общие определения, принципы и правила использования рецепторных моделей в расчетах инструментов и процессов резания //Прогрессивные технологии в машиностроении. — Челябинск: ЧГТУ, — 1997. — С.12–20.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1984. — 832 с.

## РОТАЦИОННЫЕ РЕЖУЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

М.Н. Гатитулин, В.И. Портнягин

Ротационные инструменты представляют собой подшипниковые узлы с круглыми режущими элементами (чашками). Путем крепления корпуса подшипникового узла к державке образуется ротационный резец, установка подшипниковых узлов в круглом плоском корпусе представляет собой торцовую ротационную фрезу.

Отличительной особенностью, сущностью ротационного резания является вращение режущей чашки в подшипниковом узле под действием сил резания при сохранении других основных движений резания, то есть скорости и подачи.

Теоретические исследования ротационного резания [1, 2] на примере торцового фрезерования выявили его преимущества по отношению к резанию призматическими ножами:

— величина скорости трения скольжения круглого режущего лезвия при круговом движении при определенных технологических условиях не пре-

вышает скорость движения подачи; это снижает работу сил трения скольжения по износу режущих элементов и повышает стойкость ротационных инструментов до 3–4 порядков;

— тангенциальная составляющая силы резания создает для режущей чашки крутящий момент, снижая тем самым свою работу по износу режущего лезвия путем его обновления в рабочей зоне;

— выявлены взаимосвязи между силами сцепления, скольжения и качения (или проскальзывания).

Экспериментальными исследованиями при обработке углеродных материалов [3] выявлено повышение стойкости до 3-х порядков, т.е. в тысячи раз, вследствие снижения тангенциальных составляющих силы и скорости резания.

Кинематические особенности работы ротационных инструментов позволяют использовать их совместно с другими, например, с абразивными инструментами, что обеспечивает процесс фрезерования и шлифования одновременно одним торцовым инструментом.

На кафедре «Станки и инструменты» ЮУрГУ разработаны и испытаны три группы ротационных инструментов: токарные резцы, торцовые фрезы и комбинированные фрезерно-шлифовальные головки.

Ротационный токарный резец (рис. 1) состоит из державки для крепления его в резцедержателе, подшипникового узла с круглой твердосплавной чашкой и диском для дробления стружки. При вращении заготовки резец перемещается, режущая чашка производит обработку резанием, одновременно вращаясь в подшипниковом узле. Диск способствует измельчению, дроблению стружки и одновременно вращению чашки в узле.

Резец имеет ограничения при обработке ступенчатых деталей вследствие круговой формы лезвия.

Ротационная торцовая фреза (рис. 2) выполнена в виде корпуса с подшипниковыми узлами, закрепленными на торце. Режущие чашки из быстрорежущей стали Р6М5 имеют по два режущих лезвия.

Фреза крепится на шпинделе станка. При вращении шпинделя и подаче заготовки режущие чашки производят ее фрезерование, вращаясь совместно со шпинделем; под действием сил резания чашки одновременно самовращаются в подшипниковых узлах. Обновление режущего лезвия уменьшает скорость скольжения по заготовке независимо от окружной скорости лезвия совместно с корпусом фрезы.

Ротационная фреза (рис. 3) содержит механический привод на каждую чашку. Это обеспечивает ее принудительное планетарное вращение в рабочем и в холостом режимах.

Комбинированная фрезерно-шлифовальная головка (рис. 4) отличается от фрезы (см. рис. 3) наличием режущей чашки (справа) и алмазного инструмента (слева). В процессе обработки они вращаются с разными окружными скоростями, оптимальными для своего инструментального материала. Твердым сплавом производится фрезерование заготовки со съемом основного припуска, алмазные зерна шлифуют заготовку, обеспечивая ей высокое качество обработанной поверхности.

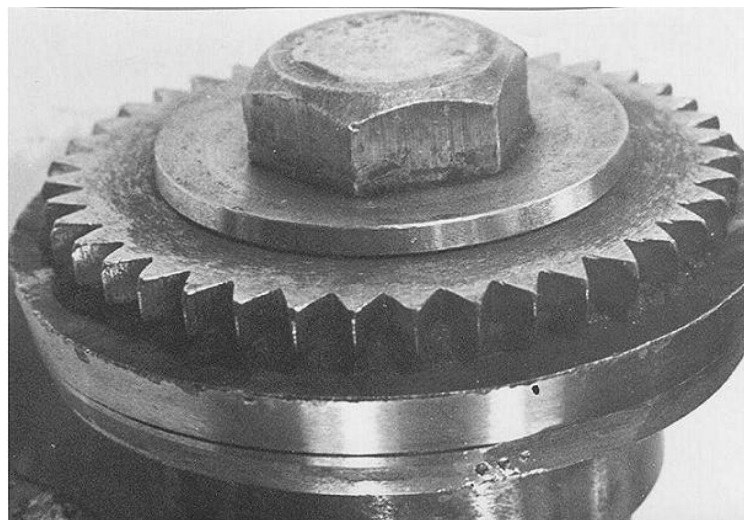


Рис. 1. Ротационный токарный резец

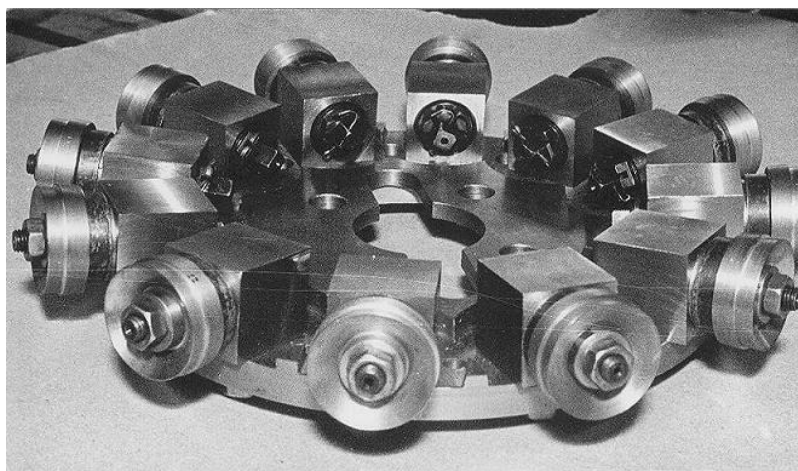


Рис. 2. Ротационная торцовая фреза

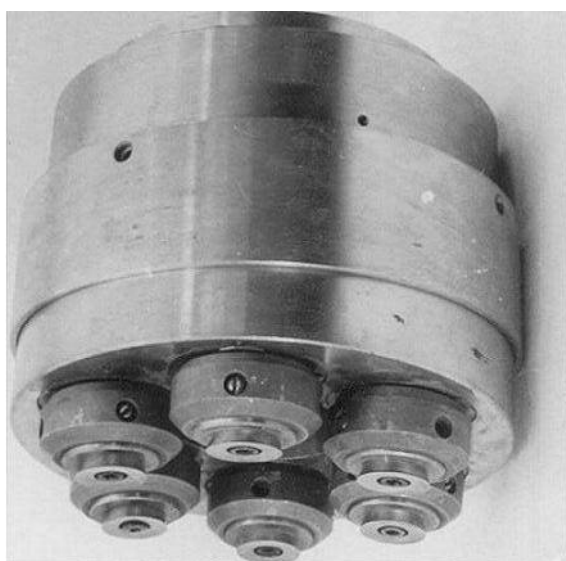


Рис. 3. Ротационная фреза

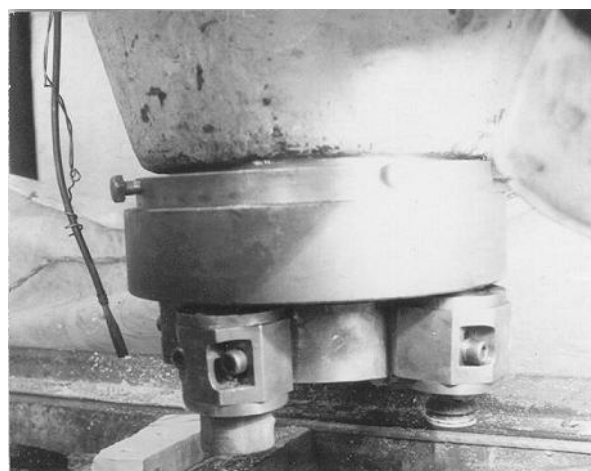
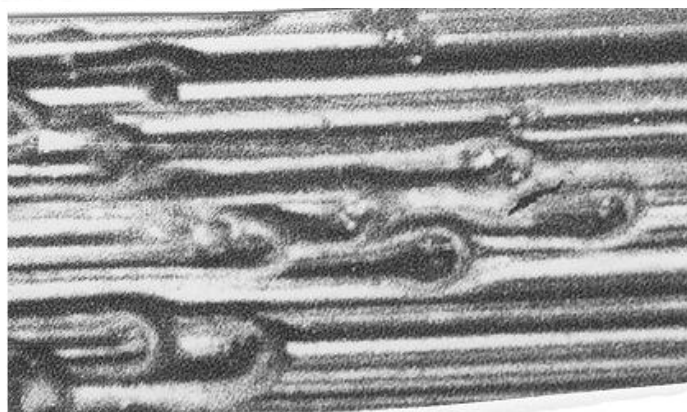


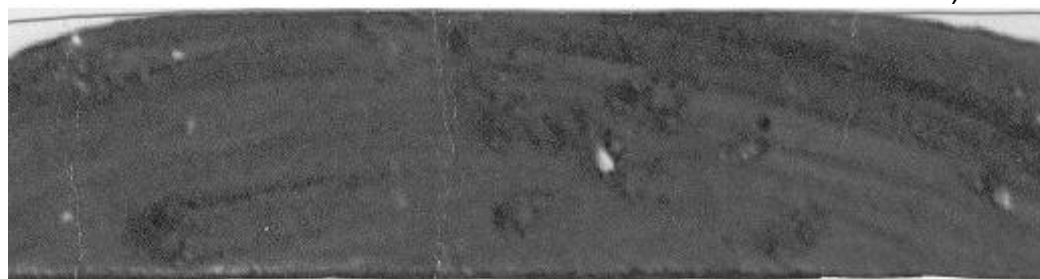
Рис. 4. Комбинированная фрезерно-шлифовальная головка



a)



б)



в)

Рис. 5. Состояние поверхностей после обработки фрезерно-шлифовальной головкой

Круговая траектория отдельных зерен при алмазном шлифовании сопровождается образованием на бруске канавок (рис. 5,а) для удаления мелкой стружки и шлама из зоны обработки. Перед алмазными зернами образуются лунки, ослабляющие их крепление в связке и способствующие вырыванию зерен (рис. 5,б). При планетарном шлифовании траекторией отдельных алмазных зерен является эпициклоида, обеспечивающая оголение зерен с образованием спинок и исключая лунки перед ними (рис. 5,в).

Возможна работа комбинированного инструмента в режимах: фрезерование-шлифование-полирование; фрезерование с образованием мелких углублений, канавок может совмещаться с плоским фрезерованием или шлифованием.

При традиционном резании работа сил трения скольжения приводит к интенсивному износу режущих лезвий с выделением значительного количества тепловой энергии. Нагрев металлической заготовки облегчает ее обрабатываемость, но нагрев инструмента снижает его режущие свойства. Ротационные инструменты максимально снижают при определенных тех-



нологических условиях работу сил трения, уменьшают температуру в зоне обработки, снижают энергоемкость процессов резания, что способствует:

- снижению температуры резания уменьшению или исключению применения смазывающе-охлаждающей жидкости;

- возможности дробления сливной металлической стружки, что улучшает условия охраны труда и дальнейшую утилизацию укороченной стружки;

- комбинированная обработка пылеобразующих материалов способствует уменьшению объемов мелкой стружки, улучшает санитарно-гигиенические условия на рабочем месте.

Примеры освоения разработок:

- на Новосибирском электродном заводе в 1995 г. внедрен ротационный резец при обработке углеродных заготовок. Достигнуто повышение стойкости до 10 раз. Получены исходные данные для расширения объемов внедрения на других металлургических заводах;

- на Челябинском электродном заводе в 1991 г. внедрена ротационная фреза при обработке коксовых углеродных пластин. Также достигнуто повышение стойкости до 10 раз и повышение производительности до 2-х раз;

- на Челябинском заводе КПД и СК в 2000 г. проведены опытно-промышленные испытания ротационной фрезы при обработке железобетонных плит перекрытия. На заводе используется торцовая головка с тремя абразивными сегментами. После обработки 4–6 плит сегменты заменяются. Стойкость режущих колец из стали Р6М5 на ротационной фрезе превысила стойкость абразивных сегментов более чем в 25 раз.

В лабораторных условиях опробована работа комбинированного инструмента при обработке мрамора, гранита, электрокорунда белого, угля. Режущие чашки выполнялись из твердого сплава ВК8, инструментальных сталей У7А, Р6М5. получены исходные данные для внедрения инструментов при обработке различных строительных материалов, в том числе доменных блоков при скоростях подачи до 2000 мм/мин. Теоретические и экспериментальные исследования и наработанный промышленный опыт позволяют рекомендовать инструменты для внедрения на предприятиях области:

- ротационные резцы на металлургических заводах: «МЕЧЕЛ» (г. Челябинск), «Уральская кузница» (г. Чебаркуль) при токарной обдирке крупных заготовок перед поставкой их потребителям;

- ротационные фрезы при обработке различных строительных материалов, каменных плит, ступеней, бордюров с использованием стандартного металлорежущего оборудования;

- комбинированного инструмента при изготовлении каменных плит на итальянском оборудовании, широко представленном в городах Коелга, Верхний Уфалей, Озерск, Челябинск;

- комбинированного инструмента при обработке доменных блоков и блоков для алюминиевых электролизеров, изготавливаемых на ЧЭЗе и ЧЭМК;

Ротационные и комбинированные инструменты, возможно, использовать при изготовлении сменных навесных модулей для ремонта и содержа-

ния дорог на базе тракторов МТЗ-82, МКСМ-800 и др. При этом могут быть реализованы следующие варианты навесного оборудования:

— оснащение бурового оборудования ротационным сверлом или фрезой обеспечит повышение стойкости инструмента и производительности обработки;

— выполнение рыхлителей в виде ротационных фрез позволит повысить производительность по разрушению абразивных и ледовых покрытий дорог;

— использование фрезерного модуля для съема дорожных покрытий, нанесения на полотно взлетно-посадочных полос аэродромов специальных профилей для улучшения сцепления колес самолетов при их посадке;

— оснащение уборочной машины щеткой в виде ротационной иглофрезы обеспечит высокую износостойкость щетки;

— выполнение рабочего органа баровой цепи в виде ротационных резцов расширит технологические возможности тракторов при прокладке газо- и водопроводов, сетей канализации в твердых и мерзлых грунтах, планировочных и земляных работ.

Использование ротационной фрезы и (или) комбинированной головки на специальной платформе позволит производить обработку рельсов железнодорожных путей с выполнением специального микрорельефа на головках рельсов на участках крутого подъема для улучшения сцепления колес с рельсами, посыпанными песком.

В машиностроении при изготовлении различных деталей эффективное применение инструментов затруднено из-за поточного производства и малого объема экспериментальных исследований. Экономика Челябинской области базируется на производстве черных металлов, поставляемых в другие регионы России и на экспорт. В области имеется мощный машиностроительный комплекс, способный осуществлять более глубокую переработку металлов и производить различные машины, востребованные рынком и способные заменить импортное оборудование. Изготовление более дешевого камнеобрабатывающего оборудования, производство на нем гранитных, мраморных плит из собственного сырья позволит создать конкурентоспособную продукцию и организовать новые рабочие места на новых малых предприятиях. Изготовление новых модулей для коммунальных машин на базе ротационных инструментов также будет способствовать расширению рынка их сбыта и созданию новых рабочих мест. Освоение производства предлагаемых технических решений, их доработка в условиях рыночной конкуренции позволит в перспективе расширить географию рынков как внутри страны, так и за рубежом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маргулис Д. К., Меньшаков В. М., Портнягин В. И., Гатитулин М. Н. Ротационная обработка хрупких материалов // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Тематический сборник научных трудов. — Челябинск: Изд-во ЧПИ, 1982. — С. 60–62.

2. Меньшаков В. М., Портнягин В. И., Гатитулин М. Н. Кинематика ротационного фрезерования // Прогрессивная технология чистовой и отделоч-

ной обработки: Тематический сборник научных трудов. — Челябинск: Изд-во ЧПИ, 1984. — С. 3–4.

3. Гатитулин М. Н. Износ токарных резцов при обработке углеграфитовых материалов // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки: Тематический сборник научных трудов. — Челябинск: Изд-во ЧПИ, 1986.— С. 19–21.

4. Гатитулин М. Н. Ротационное резание материалов и инструменты для его осуществления // Информационный листок № 83-035-04. — Челябинск, ЦНТИ, 2000.

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ТОРЦОВЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ**

М.Н. Гатитулин, П.Г. Мазеин

Известные методы повышения режимов резания и стойкости режущих инструментов, основанные на новых инструментальных материалах, упрочнении рабочих поверхностей инструментов и оптимизации геометрии режущей части в настоящее время практически исчерпаны, так как они не исключают основную причину износа инструментов — наличие трения скольжения в контакте инструмента и заготовки в зоне резания, а лишь противодействуют последствиям этого трения, то есть уменьшают влияние на стойкость, тепловыделения, механического и адгезионного изнашивания рабочих поверхностей инструментов.

Механическое взаимодействие режущего инструмента с заготовкой характеризуется опережающим обновлением обрабатываемой поверхности по отношению к рабочим поверхностям инструмента, что и приводит к их интенсивному износу. В работах [1–3 и др.] исследованы процессы ротационной обработки резанием, которые обеспечивают обновление также контактных поверхностей инструмента. Исследования позволили определить условия, при которых осуществляется частичная замена трения скольжения на трение качения в контакте инструмента и заготовки, что и обеспечивает повышение стойкости инструмента.

Ротационное резание сопровождается увеличением длины режущего лезвия, участки которого периодически участвуют в съеме припуска с заготовки и, следовательно, охлаждаются вне зоны резания, что также способствует резкому повышению стойкости ротационного инструмента.

В работе [4] приводится классификация признаков ротационного резания, охватывающая многообразие его видов и схем и рекомендуемая в качестве структурной основы для постановки проблем и анализа процессов ротационного резания. Отсутствие на момент публикации классификации научно-обоснованного механизма уменьшения величины работы сил трения скольжения при резании ротационным инструментом не позволяет в полной мере использовать данную классификацию для выбора конкретного варианта конструкции инструмента, планирования повышения его стойкости и производительности обработки изделий.

В работе [5] проведен анализ механики ротационного фрезерования и представлены результаты экспериментальных исследований влияния сил

трения на процесс резания углеродных материалов. Предложена гипотеза механизма снижения износа ротационного инструмента и показано, что повышение их стойкости может достигать  $10^2 \dots 10^4$  раз.

В работе [6] рассмотрена механика планетарного шлифования торцовым инструментом и представлены результаты экспериментов, показавших снижение сил резания и повышение износостойкости связки алмазных абразивных инструментов.

Торцовые инструменты по работам [5, 6] имеют практически одинаковое конструктивное исполнение. Они состоят из корпусов 1 (рис. 1) с подшипниковыми узлами 2. На шпинделях 3 закреплены рабочие чашки 4 и шестерни 5. Корпуса 1 установлены на шпинделях 6 станков, а на неподвижной части 7 установлены зубчатые колеса 8, образующие с шестернями 5 внутреннее (см. рис. 1,а) или внешнее (см. рис. 1,б) зацепление.

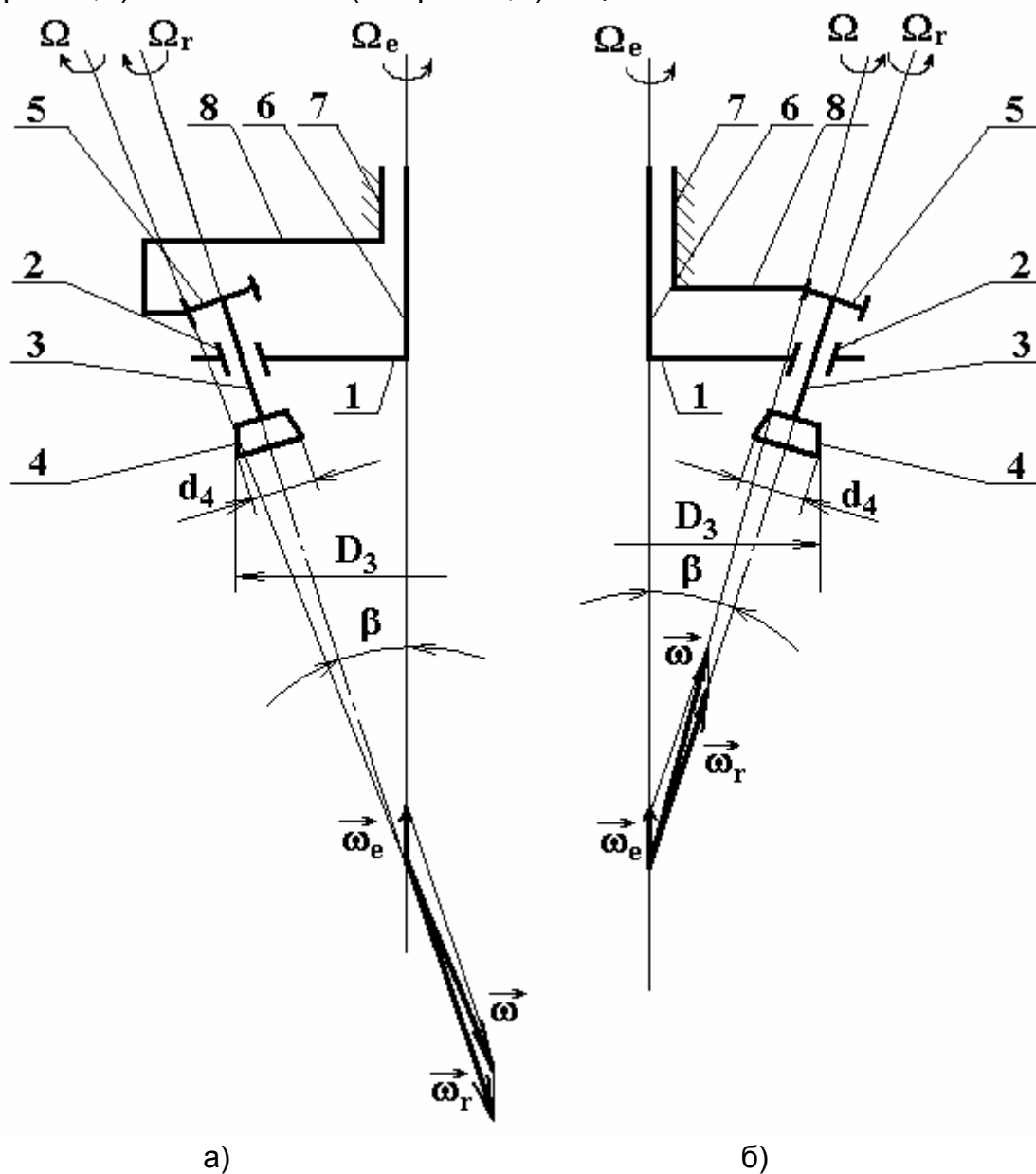


Рис. 1. Схема скоростей рабочих элементов ротационной фрезы

При вращении шпинделей 6 с корпусами 1 шестерни 5 обкатываются по колесам 8, вращая чашки 4. Вращательные движения чашек 4 совместно с корпусами 1 являются переносным угловым движением  $w_e$ , а в подшипниковых узлах 2 — относительным угловым движением  $w_r$ . Угловые скорости  $w$  абсолютного вращательного движения чашек 4 равны геометрической сумме скоростей

$$\overset{P}{W} = \overset{P}{W}_e + \overset{P}{W}_r. \quad (1)$$

По теории о сложении линейных скоростей имеем

$$\overset{P}{V} = \overset{P}{V}_e + \overset{P}{V}_r \quad (2)$$

При этом по осям  $\Omega$  (делительный конус) чашки 4 катятся без проскальзывания.

Вариант схемы инструмента по рис. 1,а исследован в работе [5], а по рис. 1,б — в работе [6].

Ротационная фреза работоспособна также в режиме самовращения режущих чашек 4, а абразивные чашки 4 в режиме самовращения не способны осуществлять операцию шлифования.

При анализе механики самовращения круглой режущей чашки применим гипотезу ведущего звена, которую используют при расчетах шарикоподшипников. Для ротационного резания ведущим звеном будем считать обрабатываемое тело, приводящее во вращение чашку в подшипниковом узле путем воздействия на нее тангенциальной составляющей  $F_\tau$  силы трения  $F$ , возникающей при перемещении одного тела относительно другого (рис. 2,б).

Схема взаимодействия режущей чашки 4 с обрабатываемой заготовкой 9 приведена на рис. 2,а, где точка В — точка приложения равнодействующей сил резания на дуге БГ лезвия;  $S_z$  — величина подачи на зуб; точка О'' — мгновенный центр скоростей (МЦС).

Процесс резания характеризуется отсутствием вращения чашки 4 в подшипниковом узле в зоне холостого пробега фрезы, ударом ее при врезании в обрабатываемое тело, перемещением в нем без самовращения на длине пути до 3 мм с последующим угловым ускорением [1].

Абсолютная угловая скорость  $w$  чашки 4 равна

$$w = w_e - w_r, \quad (3)$$

так как векторы  $\overset{P}{W}_e$  и  $\overset{P}{W}_r$  направлены в противоположные стороны.

Окружная скорость  $v$  в абсолютном вращательном движении равна

$$v = v_e + v_r. \quad (4)$$

Для точек Б и А абсолютные скорости равны:

$$v^B = w_e(R_3 + r_4) - w_r \cdot r_4, \quad (5)$$

$$v^A = w_e R_4. \quad (6)$$

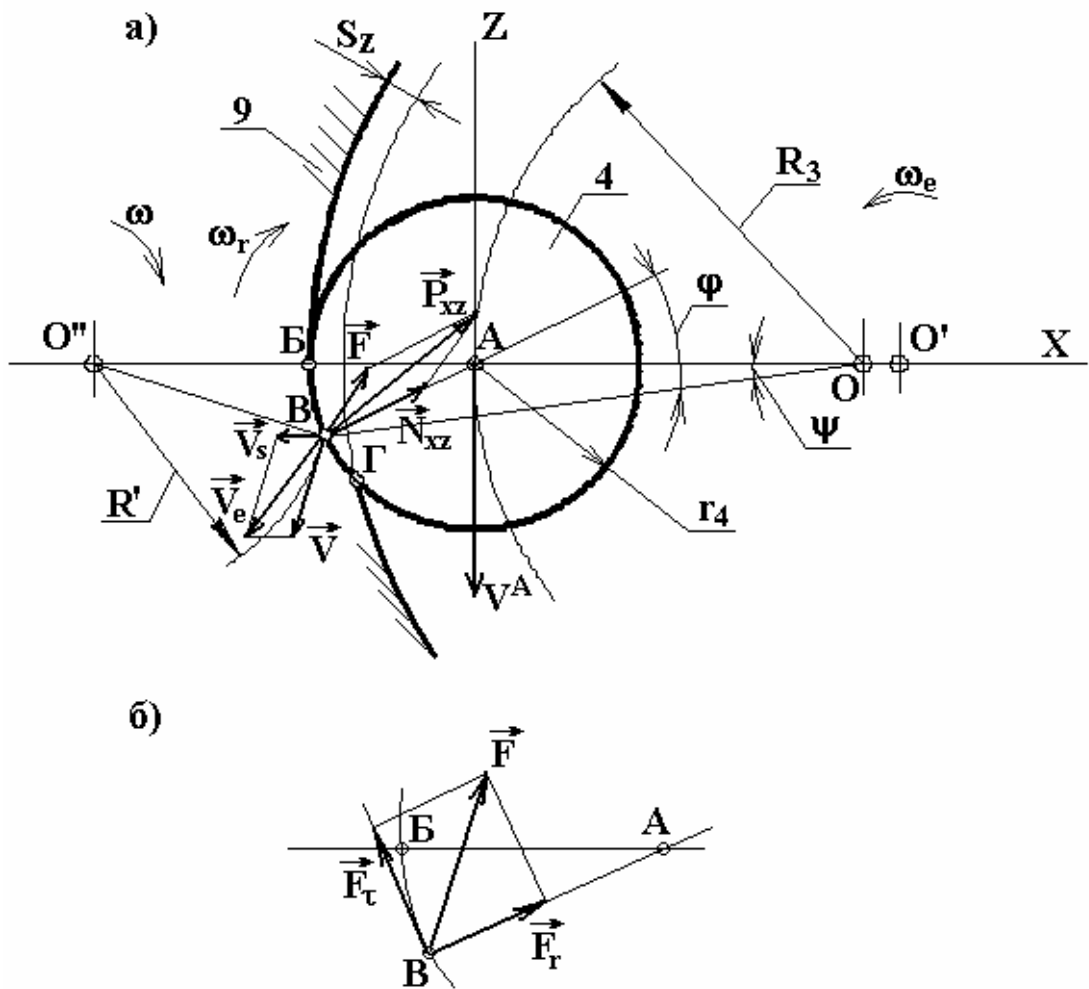


Рис. 2. Схема взаимодействия режущей чашки с заготовкой

Так как МЦС — точка  $O''$ , лежит на оси  $X$  за пределами окружности радиусом  $(R_3 + r_4)$ , то скорость  $v$  относительно точки  $O''$  равна  $v = wR'$ . Поэтому из зависимостей (3–6) имеем:

$$R' = w_e [(R_3 + r_4) - w_e r_4] / (w_e - w_r). \quad (7)$$

Для нахождения радиуса  $R'$  необходимо знать угловые скорости  $w_e$  и  $w_r$ . Отношение  $v_r/v_e$  играет роль передаточного отношения фрикционной передачи: обрабатываемая деталь 9 — режущая чашка 4. С учетом переменности угловой скорости  $w_r$  при постоянстве угловой скорости  $w_e$  задача по определению радиуса  $R'$ , скорости  $v_e^B$  точки  $B$  режущего лезвия и сил резания, действующих на чашку 4 в этой точке является задачей статически неопределимой.

Режим самовращения режущих чашек имеет два предельных состояния:

— при  $w_r = 0$  имеем режим работы фрезы с неподвижным режущим элементом;

— при  $v_r = v_e$  имеем режим с идеальным фрикционным зацеплением, при котором МЦС (точка  $O''$ ) будет располагаться в точке  $B$  режущего лезвия. На практике этот режим резания осуществим с применением принудительного вращения режущей чашки 4 в соответствии с рис. 1,а.

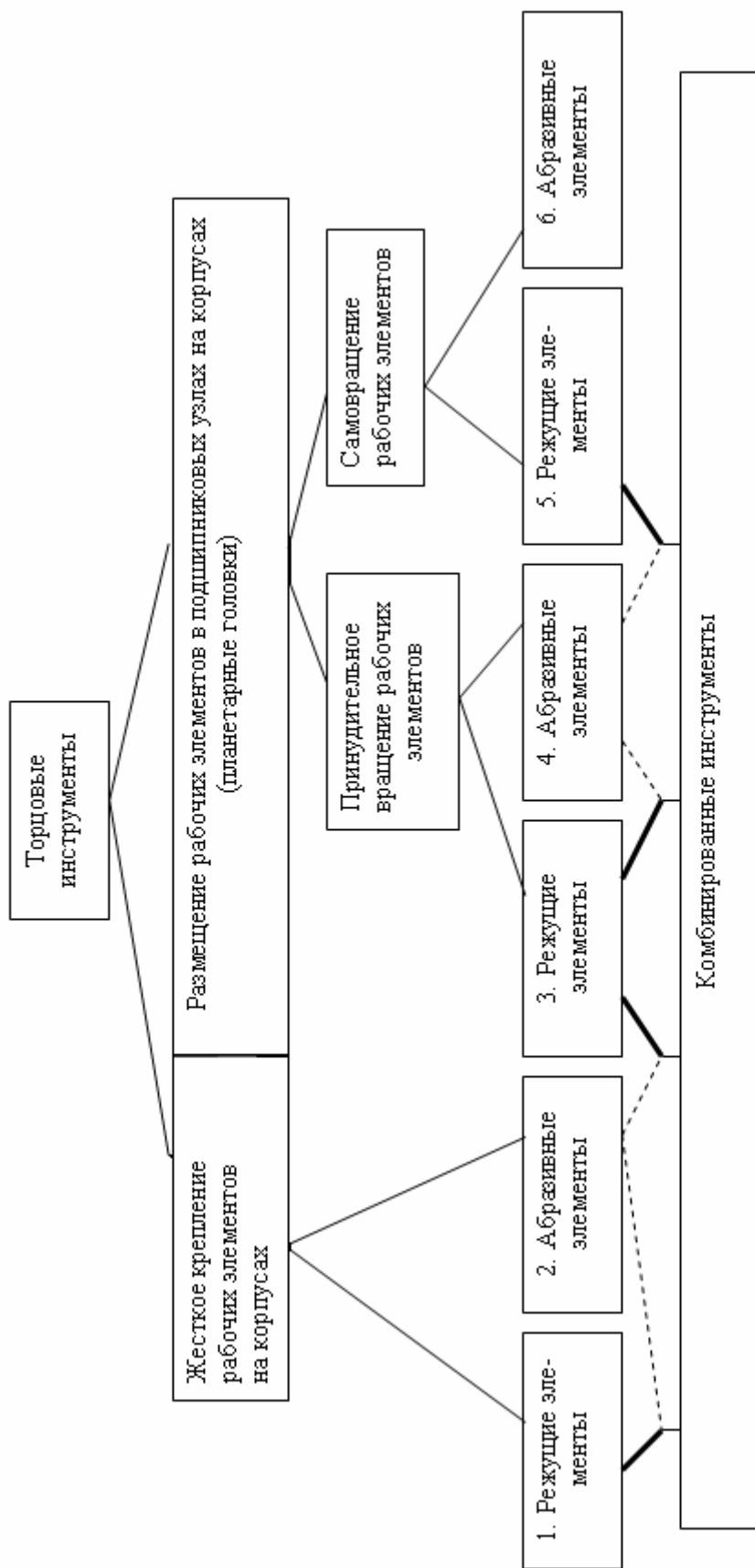


Рис. 3. Схема технологического применения комбинированных ротационных инструментов: - - - чистовая обработка, — черновая обработка

Расположение МЦС внутри окружности радиусом ( $R_3 + r_4$ ) для самовращающейся ротационной фрезы невозможно, для этого необходимо принудительное вращение чашки 4 осуществлять в противоположном направлении в соответствии со схемой рис. 1,б.

С учетом анализа работы планетарных торцовых инструментов по работам [5, 6] можно классифицировать технологические возможности торцовых инструментов как комбинацию следующих составляющих (рис. 3):

- с жестким креплением рабочих элементов на корпусах;
- с креплением рабочих элементов в подшипниковых узлах, установленных на корпусах.

Для обеспечения высокой производительности при обработке резанием различных деталей можно использовать разнообразные комбинации инструментов, аналогично представленным на рис. 3.

Комбинация: 1 — черновая и 2 — чистовая обработка внедрена при обработке блоков для алюминиевых электролизеров [7]. Комбинация: 3 — черновая и 4 — чистовая обработка испытана при обработке мрамора [8].

Комбинированные инструменты являются специальными, что ограничивает область их внедрения, но обеспечивает высокую технологическую эффективность: достигается увеличение производительности обработки в 2...3 раза при повышении стойкости инструментов в десятки раз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коновалов Е.Г., Сидоренко В.А., Соусь А.В. Прогрессивные схемы ротационного резания металлов. — Минск: Наука и техника, 1972. — 272 с.
2. Бобров В.Ф., Иерусалимский Д.Е. Резание металлов самовращающимися резцами. — М.: Машиностроение, 1972. — 112 с.
3. Ротационное резание материалов / П.И. Ящерицын, А.В. Борисенко, И.Г. Дривотин, В.Я. Лебедев. — Минск: Наука и техника, 1987. — 229 с.
4. Новоселов Ю.А., Попок Н.Н. Классификация видов ротационного резания / Машиностроение. — Минск: Вышэйша школа, 1983, вып.8. — С. 47–53.
5. Меньшаков В.М., Портнягин В.И., Гатитулин М.Н. Обработка углеродных материалов ротационными инструментами // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки. — Челябинск: ЧПИ, 1988. — С. 16–18.
6. Гатитулин М.Н., Конышев В.Н., Гусев В.Н. Влияние планетарного вращения абразивных элементов торцовых инструментов на процесс шлифования угольного материала // Технологические процессы и оборудование электродного производства: Сб. науч. тр. — М.: НИИграфит, ГосНИИЭП, 1988. — С. 86–95.
7. Гатитулин М.Н. Обработка угольных блоков комбинированным инструментом / Инф. листок №18-93. — Челябинск: ЦНТИ, 1993. — 2 с.
8. Гатитулин М.Н. Ротационное резание материалов и инструменты для его осуществления / Инф. листок №83-035-04. — Челябинск: ЦНТИ, 2004. — 4 с.



## РАЗРАБОТКА СПОСОБА НАНЕСЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНОГО ЗЕРНА НА СЕТЧАТУЮ ОСНОВУ ПОЛИРОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Ф.Я. Корчмарь, И.Л. Расторгуев, А.М. Сарайкин

В работах [1, 2] описаны область использования и преимущества двухсторонних сетчатых шлифовальных дисков (ДСШД), определены характеристики импортных шлифовальных дисков производства ведущих иностранных фирм. Установлено, что в качестве основы дисков используется сетчатые ткани из комплексных и полимерных нитей полотняного, просвечивающего и перевивочного переплетения, размеры ячеек — 800 мкм×800 мкм, количество элементарных нитей — 34...48, диаметр элементарных нитей — 25...30 мкм. В качестве шлифовального зерна дисков используется электрокорунд нормальный 14А зернистостью М10...М28, в качестве связки — формальдегидные и мочевиноформальдегидные смолы; количество зерна в образцах — 59...72% (по весу), вес 1 кв.м шлифовальной сетки — 350...600 г.

Из отечественных сетчатых тканей, производимых гардинно-тюлевыми предприятиями легкой промышленности, по структуре, разрывному усилию, удлинению и адгезии к клеевому составу в наибольшей степени импортным аналогам соответствует гардинное основовязальное полотно с квадратными ячейками (арт. 214013). В дальнейшем эта ткань использовалась для отработки технологии изготовления отечественных ДСШД взамен покупных импортных. В качестве пропитанного состава использовали формальдегидную смолу СФЖ — 3029.

Задачей настоящего исследования являлась отработка способа нанесения на сетчатую ткань шлифовального материала. Опробовано два способа суспензионный и механический.

При суспензионном способе производилась сквозная пропитка сетчатой основы суспензией, состоящей из шлифовального зерна и связующего состава с последующей сушкой в сушильном шкафу. Суспензия в ванне постоянно перемешивалась. Количество наносимых на сетку смолы и шлифовального зерна регулировалось вязкостью смолы и соотношением составляющих суспензии. При подборе вязкости смолы ориентировались на ее величину при изготовлении шлифовальной шкурки на тканевой основе зернистости М40. Были опробованы смолы вязкостей 80, 120, 150 и 180 с, соотношение смолы и шлифовального зерна принималось равным 1:1; 1:1,5; 1:2 и 1:3. Вязкость смолы определялась вязкозиметром ВЗ-246 с соплами диаметром 2, 4 и 6 мм вместимостью  $100 \pm 1 \text{ см}^3$  (по ГОСТ 9070–75).

Суть механического способа нанесения шлифовального зерна заключалась в протягивании сетчатой тканевой основы, покрытой связующим составом, в регулируемом задоре между двумя вращающимися обрезиненными валами клеенаносящей машины. Величина задора между двумя валами — 0,07 мм. Количество смолы для слоев: пропиточного 10...20 г/м<sup>2</sup>. Количество наносимого шлифовального зерна — 70...300 г/м<sup>2</sup>. При этом обеспечивалось принудительное нанесение шлифовального зерна, зерна одновременно на обе стороны сетки. Были опробованы следующие варианты нанесения шлифовального зерна на основу:

- а) одноразовое с закрепляющим смоляным слоем;
- б) одноразовое с закрепляющим смоляным слоем; с добавлением железистого пигмента  $Fe_2O_3$  в количестве 1% от массы смолы (рекомендуется некоторыми фирмами для придания инструменту товарного вида и, предположительно, для улучшения эксплуатационных характеристик ДСШД);
- в) двухразовое с закрепляющим смоляным слоем;
- г) двухразовое с закрепляющим смоляным слоем и железистым пигментом.

Термообработка шлифовальной сетки заключалась в следующем: выдержка длительностью 1...3 мин при 140°C после нанесения пропиточного слоя, тоже самое — после нанесения основного слоя связующего 15...20 мин при 140°C после нанесения закрепляющего слоя.

Готовая шлифовальная сетка оценивалась по:

- а) массе,  $г/м^2$  (ГОСТ 3811-72);
- б) жесткости, г (ГОСТ 8977-74);
- в) упругости, % (ГОСТ 8977-74);
- г) количеству зерна,  $г/м^2$  и %;
- д) количеству смолы,  $г/м^2$  и %.

Массу  $M$   $1 м^2$  образца вычисляем по формуле

$$M = \frac{m}{\lambda \cdot b} 1000, \text{ г/м}^2$$

где  $m$  — масса образца, г;  $\lambda$  — длина образца, см;  $b$  — ширина образца, см.

Жесткость образцов измеряем на приборе ПЖУ12М по массе нагружающих их шариков и последующим умножением количества шариков на массу одного шарика ( $m_{ш} = 0,26$  г).

Упругость  $U$  образцов определяем по формуле

$$U = \frac{S_0 - S_1}{S_0} 100\%,$$

где  $S_0$  — величина прогиба образца под нагрузкой, мм;  $S_1$  — величина прогиба образца после снятия нагрузки; мм.

Количественное соотношение компонентов шлифовальной сетки определялось методом выжигания образцов  $10 \text{ мм} \times 10 \text{ мм}$  в муфельной печи при температуре 500°C с последующим взвешиванием шлифовального зерна и пересчетом на  $1 м^2$  шлифовальной сетки.

Готовые ДСШД оценивались по истирающей способности определением количества циклов истирания на приборе ДС-1 и по режущей способности по количеству обработанных кузовов автомобилей в сравнении с образцами сеток фирмы "Premines" (Франция).

Шлифовальная сетка, изготовленная суспензионным способом нанесения шлифовального зерна, при вязкости смолы 80...120 с. отличалась забитыми смолой ячейками основы, что можно объяснить быстрым осаждением шлифовального зерна в суспензии и образованием чисто смоляной пленки. При вязкости 180 с образовывалась густая композиция, которая интенсивно налипала на валы. Чистые ячейки сетчатой шкурки получались при вязкос-

Таблица  
 Характеристика ДСШД, изготовленных способом механического нанесения шлифовального зерна на основу

Способ нанесения шлифовального зерна	Вес образца, г/м <sup>2</sup>	Количество зерна,		Количество смолы,		Жесткость, г	Упругость, %	Истирающая способность, кол-во циклов	Кол-во обработанных кузовов, шт.
		г/м <sup>2</sup>	%	г/м <sup>2</sup>	%				
Одноразовое, закрепление смолы	203	65	32	84	41,4	27,52	80	13732	3
Одноразовое, закрепление смолы + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	211	69	32,7	90	42,6	36,98	60	13487	3
Двухразовое, закрепление смолы	242	129	52,8	62	25,6	58,48	60	14580	6...9
Двухразовое, закрепление смолы + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	217	104	47,9	61	28	75,68	60	18371	6...9
Образец фирмы «Premimes» (Франция)			56		25	50,1	100	11471	8...10

ти смолы 150 с. Наиболее технологичной оказывалась композиция с соотношением количества смолы к количеству шлифовального зерна, равным 1:1. Композиции 1:1,5 и 1:2 неравномерно ложилась на основу, большое количество шлифовального зерна осыпалась на валах, ячейки основы забивались. Композиция 1:3 очень густая, плохо перемешивалась, нанесения ее на основу оказывалось невозможным. Максимальное содержание шлифовального зерна в готовом инструменте составляло 29%, а в импортном аналоге 56...58%. Увеличение кратности нанесения ее на основу (двух и трехкратное) увеличивало количество шлифовального зерна в сетке до 47%, однако до уровня импортного аналога не доводило. При этом увеличивались толщина и жесткость шлифовальных сеток, микроструктурных анализ их показал, что шлифовальные зерна полностью утоплены в связке, т.е. имело место практически 100%-ная залитость рабочей поверхностью смолой. Поэтому работы с суспензионным способом нанесения шлифовального зерна на сетчатую основу были прекращены.

Характеристика сетчатой шлифовальной шкурки, изготовленной способом механического нанесения шлифовального зерна на основу, а также некоторые эксплуатационные свойства ДСШД, изготовленных из нее, представлены в таблице. Из таблицы видно, что по содержанию в шлифовальной шкурке шлифовального зерна и смолы, жесткости ее и работоспособности дисков наиболее близко к характеристике образца фирмы "Premines" приближаются ДСШД, изготовленные способом двукратного нанесения шлифовального зерна на основу.

Результаты исследования позволили спроектировать и изготовить опытно-производственную линию по изготовлению ДСШД. Линия позволяет изготовить сетчатую шлифовальную шкурку в два последовательных технологических передела: первоначальная заготовка шлифовальной шкурки с одним слоем незакрепленного шлифовального зерна и последующая полимеризация двухслойной насыпки.

ДСШД 14А4Н, изготовленные на линии, испытаны в производственных условиях ОАО «Горьковский автомобильный завод» в сравнении со шлифовальной шкуркой Л2 51С М63 и ОАО «Москвич» диски 15АМ40 в сравнении с дисками Р400М24 «ТАМЕХ» (Франция). Испытания показали, что при обеспечении необходимо качества обработанных поверхностей, стойкость отечественных ДСШД до 10 раз превосходит стойкость дисков из шлифовальной шкурки на бумажной основе и находится на уровне стойкости импортных дисков.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Корчмарь Ф.Я., Расторгуев И.Л., Сарайкин А.М. Двусторонние сетчатые шлифовальные диски // Прогрессивные технологии в машиностроении. — Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1997, — С. 39–42.
2. Корчмарь Ф.Я., Расторгуев И.Л., Сарайкин А.М. Определение характеристики двусторонних сетчатых шлифовальных дисков // Прогрессивные технологии в машиностроении. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1998. — С. 40–42.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

С.П.Пестов, П.Г. Мазеин

При обработке отверстий на станках с ЧПУ существенное влияние на достижение точности расположения осей отверстий оказывает этап настройки станков, то есть этап координатных перемещений инструмента по управляющей программе на оси отверстий. Для моделирования точности расположения осей отверстий в качестве математических моделей используются модели геометрического уровня — размерные цепи [1].

При формировании размерных цепей этапа настройки следует иметь в виду, что любой линейный или угловой размер является звеном размерной цепи, а процесс настройки (в общем случае) связан с одной или несколькими базами. При настройке наладочные точки, определяющие оси отверстий, чаще всего назначают на заданном размере от исходной базовой (нулевой) точки при абсолютном способе отчета перемещений, или их используют как базы для определения следующих точек при задании перемещений в приращениях. На станке с ЧПУ независимо от способа отчета перемещений (в абсолютных размерах или в приращениях) на этапе настройки осуществляется позиционирование режущего инструмента по оси отверстий для их дальнейшей обработки. В результате таких последовательных настроечных переходов формируется размерная цепь (рис. 1), которая является математической моделью, адекватно описывающей настройку станка на оси  $O_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) отверстий линейными и угловыми размерами.

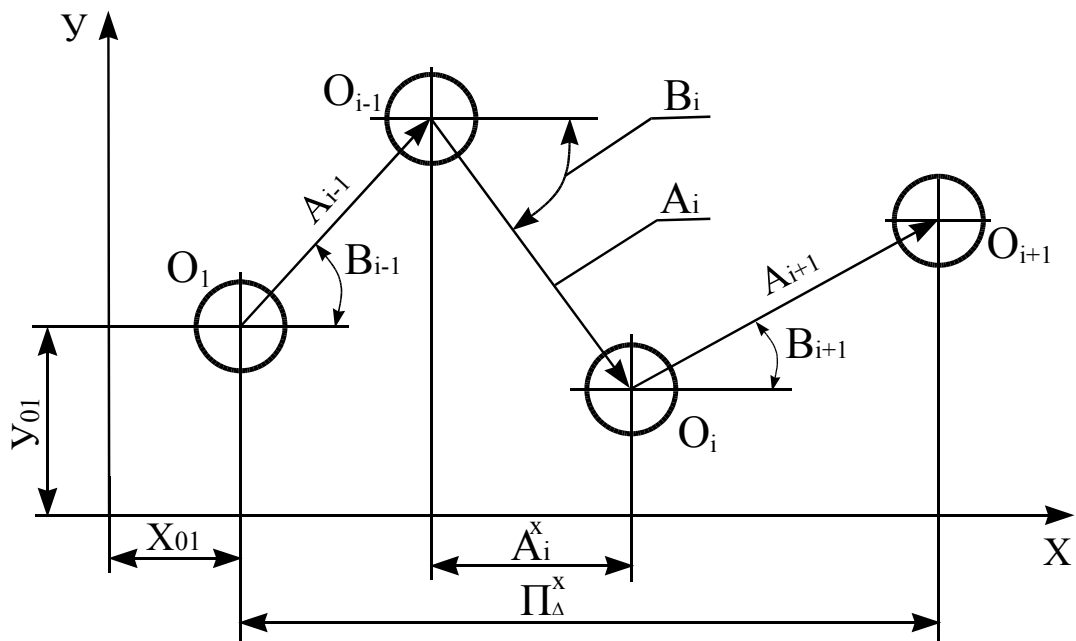


Рис. 1. Размерная цепь как модель точности для системы отверстий на этапе настройки

Формирование размерных цепей для моделирования точности зависит от многих факторов: конструкции детали, расположения и количества отверстий, их геометрических параметров, технологических переходов обра-

ботки, конструктивных особенностей металлорежущего станка, вида устройства ЧПУ и др. Поэтому для конкретной детали с учетом заданных условий обработки схема сформированной размерной цепи будет индивидуальной.

Как известно, станки оснащаются позиционным, контурным или комбинированным (позиционно-контурным) устройствами ЧПУ (УЧПУ). Поэтому рассмотрим особенности формирования размерных цепей с использованием указанных типов УЧПУ на основе геометрического подхода.

Позиционные УЧПУ обеспечивают управление перемещением рабочих органов станка в соответствии с командами, определяющими позиции, заданные управляющей программой. При этом перемещения вдоль размерных координатных осей выполняются одновременно (при заданной постоянной скорости) или последовательно. В станках с позиционными УЧПУ при отработке координатных перемещений нет функциональной связи между приводами по координатным осям. В связи с этим модель точности при настройке на обработку системы отверстий с позиционным УЧПУ можно представить в виде схемы размерной цепи, приведенной на рис. 2.

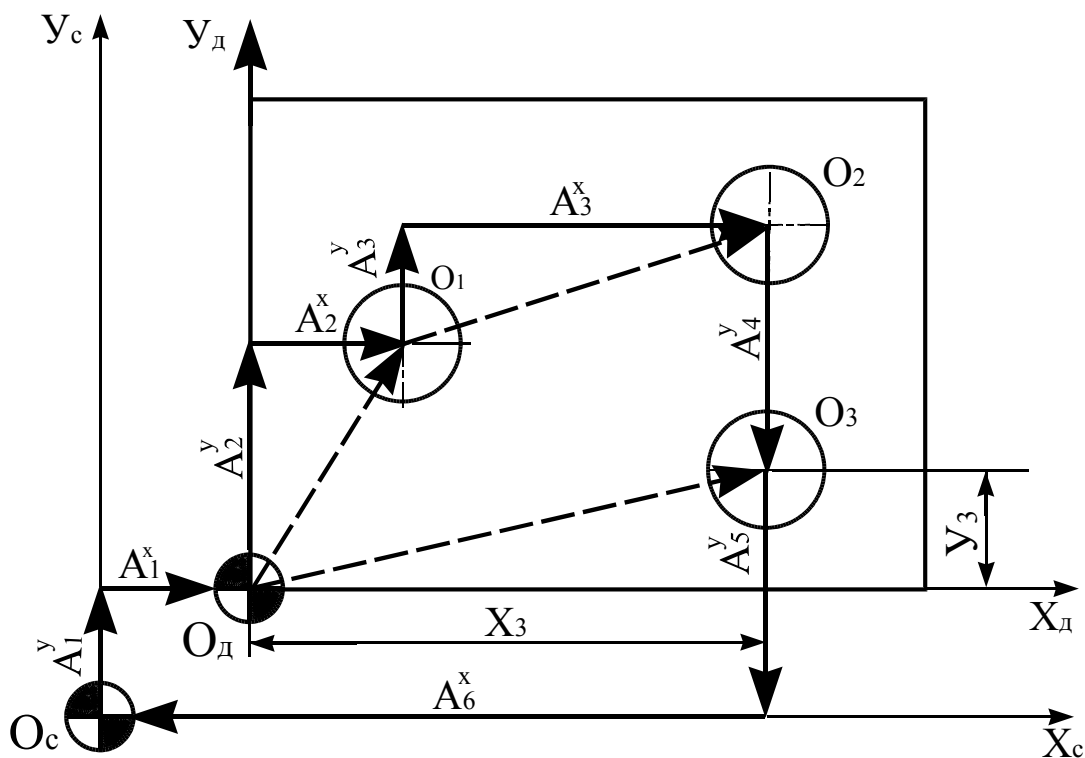


Рис. 2. Модель точности при настройке на станке с позиционным УЧПУ

Контурные УЧПУ (в отличие от позиционных) имеют функциональную связь между приводами по координатным осям. Эти связи обеспечивают непрерывное управление перемещением рабочих органов станка поочередно или по нескольким координатным осям одновременно. Причем, взаимосвязанная отработка заданных перемещений характерна и для холостых ходов. Модель точности при настройке станка на обработку системы отверстий с контурным УЧПУ приведена, в виде схемы размерной цепи, на рис. 3.

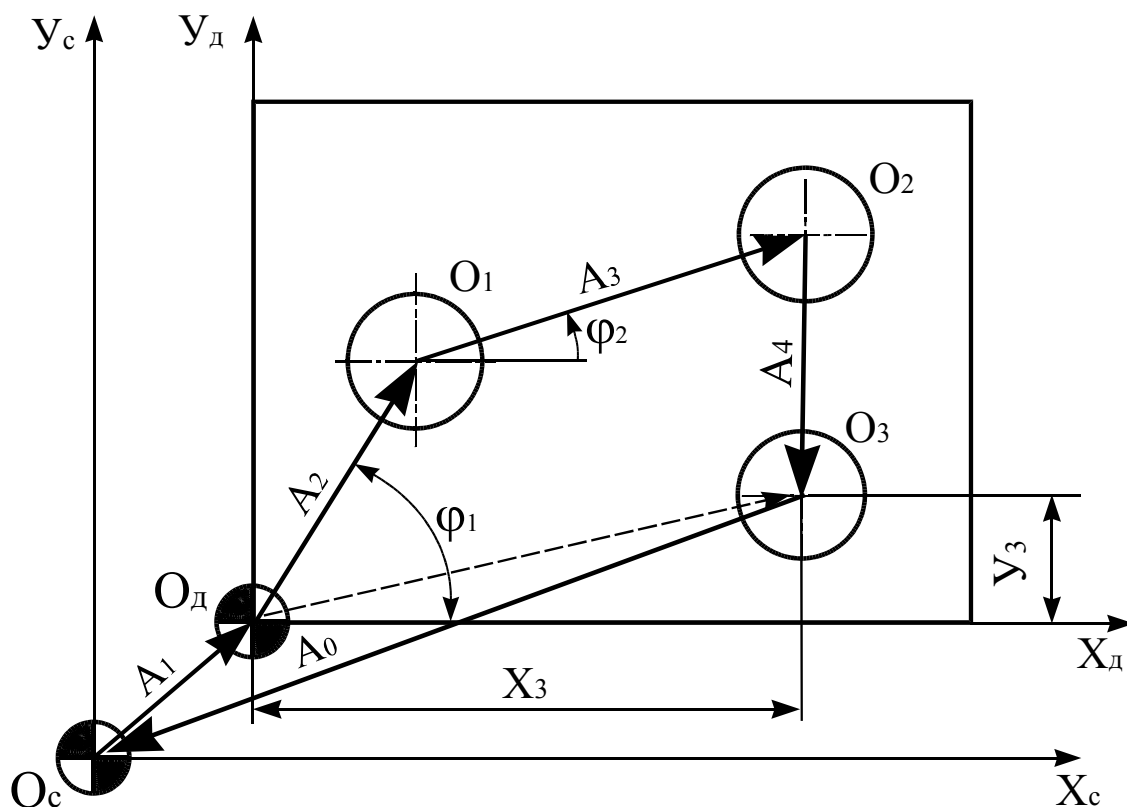


Рис. 3. Модель точности при настройке на станке с контурным УЧПУ

Комбинированные УЧПУ сочетают функции позиционных и контурных устройств. Чаще всего при обработке отверстий комбинированные УЧПУ выполняют позиционную отработку перемещений. Поэтому вариант модели точности при настройке станка с комбинированным УЧПУ при обработке отверстий будет аналогичен схеме размерной цепи (см. рис. 2).

Звено  $A_1$  размерной цепи формируется при настройке базирующих поверхностей зажимного приспособления относительно начала отсчета координатной системы станка  $O_c$ . Возможности некоторых УЧПУ позволяют вводить коррекцию на смещение нуля (в большинстве УЧПУ — это подготовительная функция G59). В этом случае схема размерной цепи упрощается, так как начало координат станка  $O_c$  можно совместить с началом координат детали  $O_d$ . Однако при настройке параметры коррекции в функции G59 необходимо уточнять.

Если учесть, что в позиционных УЧПУ звенья размерной цепи из-за погрешности позиционирования не параллельны координатным осям, то можно сделать вывод, что размерные цепи, сформированные для исследования точности расположения осей отверстий на этапе настройки станка с ЧПУ, являются плоскими с непараллельными звеньями, то есть нелинейными. Для расчета таких размерных цепей разработан новый интервальный метод, основанный на положениях интервальной математики [2].

Погрешности работы узлов автоматической смены инструментов станка с ЧПУ, например, поворота револьверной головки, погрешности изготовления и состояние вспомогательных инструментов для закрепления режущего инструмента, методы их установки и зажима — все это влияет на точность

относительного положения режущего инструмента и заготовки и, как следствие, на точность расположения оси отверстий при настройке. Погрешности смены инструмента имеют случайную величину и направление, поэтому вариант модели точности настройки с учетом смены инструмента для позиционного УЧПУ можно представить схемой размерной цепи, приведенной на рис. 4, где звенья  $\rho_i$  и  $\psi_i$  задают погрешности смены инструмента.

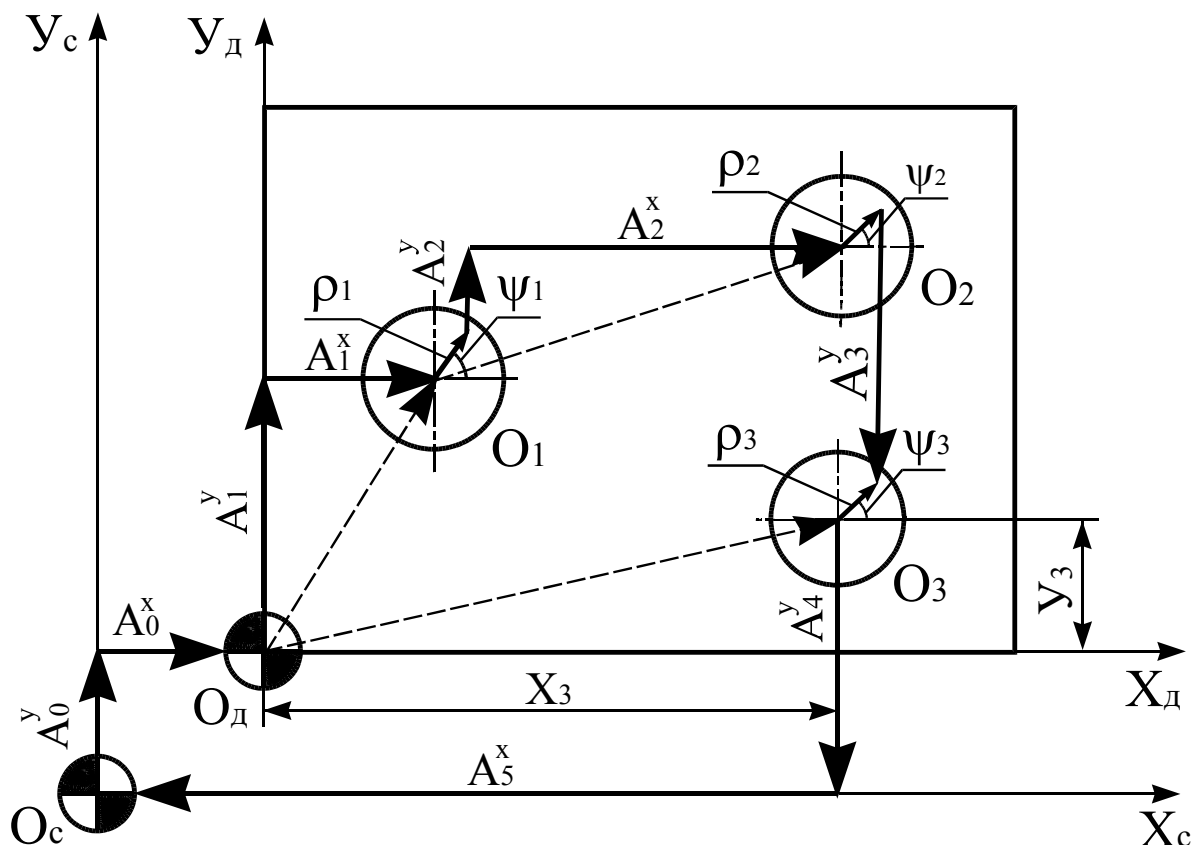


Рис. 4. Модель точности при смене инструмента

Рассмотренные особенности формирования размерных цепей при анализе и оценке точности расположения осей отверстий при настройке станка с ЧПУ необходимо учитывать на стадии технологической подготовки производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пестов С. П. Комплексный подход к моделированию точности обработки отверстий на станках с ЧПУ // Совершенствование наукоемких технологий и конструкций: Сборник научных трудов. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. — С. 5–9.
2. Пестов С.П., Мазеин П.Г. Моделирование точности расположения осей отверстий на станках с ЧПУ при настройке // Известия Челябинского научного центра УрО РАН, 2003. — № 2 (19). — С. 37–41.



## ПРИМЕНЕНИЕ РЕШЕТЧАТЫХ ДИАГРАММ ДЛЯ АНАЛИЗА ЗАЦЕПЛЕНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Н.П. Крупина, Ю.В. Гаврилов

Анализ двухпрофильного (беззазорного) зацепления двух зубчатых колес, одно из которых является измерительным, можно проводить с помощью решетчатых диаграмм [1]. Для построения такой диаграммы (рис. 1) по оси ординат откладываются углы развернутости в начале  $\nu_f$  и конце  $\nu_a$  активного участка профиля зуба нарезаемого колеса. А по оси абсцисс — соответственно угол поворота колеса  $\varphi$ . Изменение угла развернутости для точек эвольвентного профиля от угла  $\varphi$  будет представлено прямой, проходящей под углом  $45^\circ$  к оси ординат. Для левого участка профиля зуба эта прямая будет наклонена вправо. Соответственно для правого участка профиля — влево. Расстояние между точками начала этих прямых  $2\nu_x$  зависит от угла зацепления  $\alpha_w$  и параметров контролируемого колеса:

$$2\nu_x = 2 \left( \frac{S}{mz} + \operatorname{inv} \alpha \right) + 2(\alpha_w - \nu_f) - \frac{2\pi}{z} \quad (1)$$

где  $S$  — толщина зуба по делительному диаметру;  $\alpha$  — профильный угол исходной инструментальной рейки;  $m$  — модуль;  $z$  — число зубьев контролируемого колеса.

Все последующие линии, образующие решетку, будут проходить так же под углом  $45^\circ$  с шагом  $t$ , равного шагу зубьев.

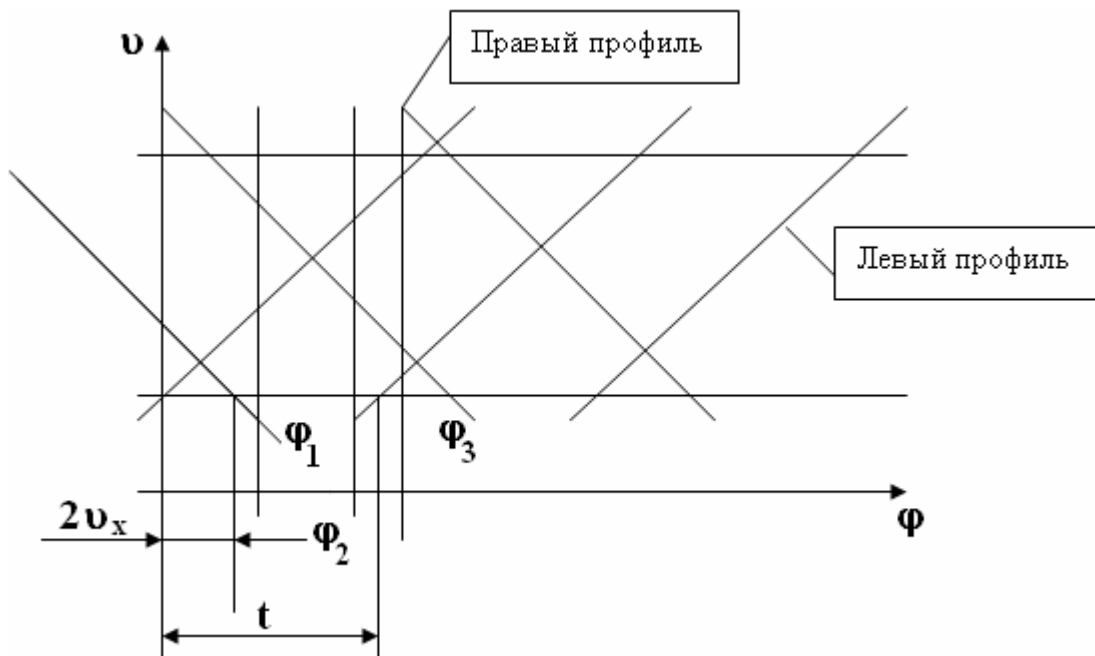


Рис. 1. Определение точек парного контакта на решетчатой диаграмме

Решетчатая диаграмма позволяет установить все точки, находящиеся одновременно в зацеплении при конкретном угловом положении колеса. Для этого достаточно провести вертикальную линию при задаваемом значении угла поворота  $\varphi$  и рассмотреть точки ее пересечения с наклонными прямыми. Если провести на диаграмме вертикальные линии I, II и III, то они будут соответствовать некоторым значениям угла поворота зубчатого колеса  $\varphi_I$ ,  $\varphi_{II}$  и  $\varphi_{III}$ . В сечениях I и II на линиях зацепления находятся по две контактных точки, принадлежащих разным профилям зуба. В сечении III таких точек три: две точки принадлежат левым сторонам профилей зубьев и одна правой. Т.е. при вращении зубчатого колеса в двухпрофильном (беззазорном) зацеплении с измерительным колесом количество точек контакта по линии зацепления будет постоянно чередоваться как 2–3–2–3 и т.д.

На решетчатых диаграммах может иметь место чередование точек контакта 3–4–3–2 или 2–4–2–4. Характер чередования точек контакта на линиях зацепления зависит от параметров колес рассматриваемой пары. Изменение числа точек контакта и порядка чередования их создает эффект сдвига решетки по оси ординат.

Изменение характера чередования точек контакта приводит к дополнительной методической погрешности измерения параметров плавности и кинематики зубчатого колеса. В связи с этим необходимо стремиться к уменьшению погрешностей измерения зубчатых колес.

Известен способ [2] приведения всех погрешностей  $\Delta F$  реального зацепления к одному параметру — к изменению мгновенного радиуса основной окружности по углу поворота колеса. Дефектное перемещение от изменения радиуса основной окружности выражается формулой

$$\Delta F = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \partial r_b d\varphi.$$

Для теоретического зацепления радиус кривизны в произвольной точке профиля есть

$$\rho_x = r_b \operatorname{tg} \alpha_x.$$

Для реального зацепления можно написать, что

$$\rho_x + \Delta \rho = (r_b + \Delta r_b) \operatorname{tg} \alpha_x.$$

Откуда

$$\Delta r_b = \Delta \rho \operatorname{ctg} \alpha_x.$$

Тогда интеграл для определения дефектного перемещения можно записать в виде

$$\Delta F = \int_{\varphi_1}^{\varphi_x} \Delta \rho \operatorname{ctg} \alpha_x d\varphi.$$

Для случая  $\Delta \rho = \operatorname{const}$  и  $\Delta \rho \neq 0$  получаем решение:

$$\Delta F = \Delta \rho (\lambda n |\sin \varphi_x| - \lambda n |\sin \varphi_1|).$$

Из последнего следует, что изменение мгновенного радиуса основной окружности приводит к нарастанию абсолютного значения дефектного перемещения при повороте зубчатого колеса от угла  $\varphi_1$  до  $\varphi_x$  в пределах одного профиля.

Дефектные перемещения по правым и левым профилям характеризуют изменение номинального межосевого расстояния в двухпрофильном зацеплении зубчатого колеса с измерительным. Погрешностями измерительного колеса (и силу их малости) пренебрегаем. Тогда дефектные перемещения будем определять как произведение усредненной погрешности зубчатого колеса и его угла поворота  $\varphi$ . В этом случае величина мгновенного изменения межосевого расстояния будет зависеть от суммы углов поворота зубчатого колеса, находящегося в зацеплении, от момента входа в контакт с измерительным колесом. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать углы  $\varphi_1$  в качестве характеристик величины дефектного изменения межосевого расстояния [3].

В соответствии с выше сказанным величину изменения межосевого расстояния и скачок будет пропорционален величине, которую можно определить по формуле

$$\Delta F = \frac{2\pi}{z}(3\varepsilon - 1) - 4v_x, \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  — коэффициент перекрытия в зацеплении контролируемого колеса.

Если бы имело место однопрофильное зацепление, то величина погрешности межосевого расстояния была бы пропорциональна активной части линии зацепления. Т.е. имело бы место равенство:

$$\Delta F = \frac{2\pi}{z}\varepsilon. \quad (3)$$

Погрешности зубчатого колеса, выявленные при двухпрофильном зацеплении, должны соответствовать их проявлению в эксплуатации при однопрофильном зацеплении зубчатой передачи. Для этого должно выполняться условие:

$$\frac{2\pi}{z}\varepsilon = \frac{2\pi}{z}(3\varepsilon - 1) - 4v_x. \quad (4)$$

Откуда получаем:

$$v_x = \frac{\pi}{z}(\varepsilon - 0,5). \quad (5)$$

Уравнения (1) и (5) определяют одну и ту же величину. Поэтому можно их приравнять.

$$2\left(\frac{S}{mz} + \text{inv}\alpha\right) + 2(\alpha_w - v_f) - \frac{2\pi}{z} = 2\frac{\pi}{z}(\varepsilon - 0,5). \quad (6)$$

Уравнение (6) решим относительно угла зацепления в передаче деталь–контрольное колесо:

$$\alpha_w = v_f + \frac{\pi}{z}(\varepsilon - 0,5) + \frac{\pi m - S}{m z} - \operatorname{inv} \alpha. \quad (7)$$

Из (7) следует, что угол зацепления в передаче полностью зависит от параметров контролируемого колеса. Однако производить контроль и обработку при одном единственном значении угла невозможно — необходимо указать возможный диапазон изменения этого угла. Переменной величиной может быть принят только угол  $v_x$ .

Значение параметра  $v_x$ , вычисленного по формуле (5) является средним. Потому окончательный вид формулы для определения угла в беззазорном зацеплении из условия минимизации перепадов скачков будет:

$$\alpha_w = v_f + v_x + \frac{\pi m - S}{m z} - \operatorname{inv} \alpha, \quad (8)$$

где угол  $v_x$  определяется по формуле:

$$v_x = \frac{\pi}{z}(\varepsilon - 0,5)^{\pm \frac{\pi}{z}(1,5 - \varepsilon)}. \quad (9)$$

Сделанные выводы формулы для определения угла  $\alpha_w$  справедливы и для определения станочного угла зацепления при нарезании и обработке зубчатых колес по методу огибания [3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тайц Б.А. Точность и контроль зубчатых колес. — М.: Машиностроение, 1972. — 365 с.
2. Калашников Н.А. Точность в машиностроении и ее законы. — М.: Машгиз, 1950. — 148 с.
3. Патент на изобретение №2165339. Способ изготовления цилиндрических зубчатых колес / Крупина Н.П., Карасев А.П., Захаров В.И. Опубликовано 20.04.2001. Бюл. №11.

## ВЗАИМОСВЯЗЬ КООРДИНАТ РАСЧЕТНЫХ ТОЧЕК ПРОФИЛЯ ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ СЕКУЩИХ ПЛОСКОСТЯХ

С.Д. Сметанин, В.Г. Шаламов

Винтовые поверхности могут быть заданы в различных секущих плоскостях, а существующие методы ее профилирования разрабатываются для определенной секущей плоскости. Поэтому необходимо уметь определять координаты точек профиля в любой секущей плоскости. Задачу определения координат в любой секущей плоскости будем решать в несколько этапов.

Сначала рассмотрим алгоритм нахождения координат профиля в сечении под некоторым углом к оси по известным координатам в радиальном сечении. Для простоты и наглядности решим задачу на плоскости, а не объемно. Для этого сделаем развертку цилиндрической поверхности. По-

верхность и ее развертку можно рассматривать как две геометрические фигуры, между точками которых установлено взаимно однозначное соответствие. При построении разверток криволинейных поверхностей их поверхность уподобляют гибкой нерастяжимой пленке. Получение развертки криволинейной поверхности может быть представлено как результат последовательного совмещения с плоскостью бесконечно малых элементов поверхности, образованных взаимно параллельными или пересекающимися прямолинейными образующими. Четыре поверхности можно рассматривать как состоящие из таких элементов — цилиндрическую, коническую, с ребром возврата и линейчатую винтовую, только они и являются развертываемыми. При развертывании (и свертывании) поверхности непрерывность поверхности не нарушается, не изменяется расстояние на поверхности между точками поверхности и соответственно длина отрезков линий, углы между пересекающимися линиями в точках их пересечения и величины площадей фигур на поверхностях [1].

Для определения координат точек профиля винтовой поверхности в произвольной плоскости примем, что кроме известных координат расчетных точек профиля в радиальном сечении, заданы угол  $\omega$  наклона винтовой линии на наружном диаметре и ее направление, а также угол  $\beta$  наклона секущей плоскости (рис. 1). Систему координат (СК)  $X_R Y_R Z_R$  свяжем с винтовой поверхностью, направив ось  $X_R$  по ее оси. Начало координат  $O_R$  расположим в плоскости известного радиального сечения на оси винтовой поверхности. Для решения задачи необходимо каждую точку из радиального сечения винтовым проецированием перевести в заданное сечение.

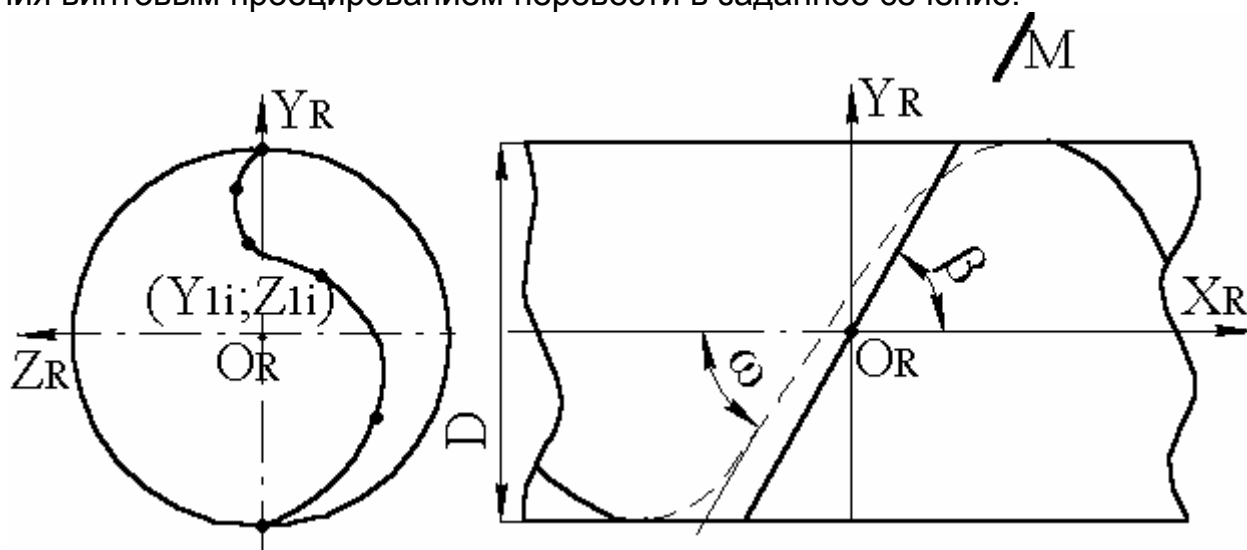


Рис. 1 Исходная расчетная схема

Нас интересует развертка боковой поверхности цилиндра, рассеченного плоскостью. Построим чертеж развертки цилиндра со срезом плоскостью под некоторым углом к его оси (не равным 0 или 90°). Если цилиндр рассечь плоскостью, проходящей через точку 1, лежащую на оси  $Y_R$ , и ось цилиндра  $O_R$  (рис. 2) и, «закрепив» точку 1, развернуть цилиндрическую поверхность в плоскость, то линия, образующаяся в результате рассечения цилиндра

плоскостью (эллипс), развернется в синусоидальную кривую. Система координат после развертывания станет двумерной. Ось  $X$  направим параллельно оси  $X_R$  поверхности до развертывания, а ось  $Y$  — по проекции оси  $Y_R$ . Положение оси  $X$  можно принять произвольным, так как координата  $Y$  используется локально и при дальнейших расчетах не используется. Поэтому примем такое положение оси  $X$ , при котором она пройдет через точку 7, расположенную посередине развертки. В этом случае возможна более общая запись уравнения развертки винтовой линии для правой и левой винтовых поверхностей. Ось  $Y$  введем с двойной градуировкой: миллиметровой и радианной (перемещение точки вдоль оси  $Y$  на расстояние  $\pi R_i$  равно повороту на  $\pi$  радиан, то есть для перевода координаты из миллиметров в радианы ее необходимо разделить на  $3,14R_i$  и умножить на  $\pi$  радиан).

Уравнение синусоидальной кривой в принятой системе координат в общем виде с учетом смещения фазы имеет вид

$$X = -A \sin\left(\varphi + \frac{p}{2}\right) = -A \cos(\varphi). \quad (1)$$

Зная наружный радиус цилиндра можно определить амплитуду синусоидальной кривой по зависимости

$$A = \frac{R}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (2)$$

С учетом перевода координаты  $Y$  в радианы уравнение полученной кривой будет иметь вид

$$X = -\frac{R}{\operatorname{tg} \beta} \cos\left(\frac{pY}{3,14R}\right). \quad (3)$$

Каждая расчетная точка профиля расположена на цилиндре  $i$ -го радиуса, по которому и осуществляет винтовое перемещение. В секущей плоскости цилиндры эквидистантны, а соответствующие уравнения синусоидальных кривых в общем виде определяются по формуле

$$X_i = -\frac{R_i}{\operatorname{tg} \beta} \cos\left(\frac{pY_i}{3,14R_i}\right). \quad (4)$$

Далее строится развертка винтовой линии. Для этого в системе координат  $XY$  необходимо определить положение расчетной точки  $i$ , «закрепив» эту точку, развернуть винтовую линию. При этом каждый виток будет представлять отрезок прямой. В результате получают параллельные прямые с углом наклона  $\omega_i$  к оси  $X$ . Как известно, угол наклона винтовой линии на произвольном диаметре равен

$$\operatorname{tg} \omega_i = \frac{R_i}{R} \operatorname{tg} \beta. \quad (5)$$

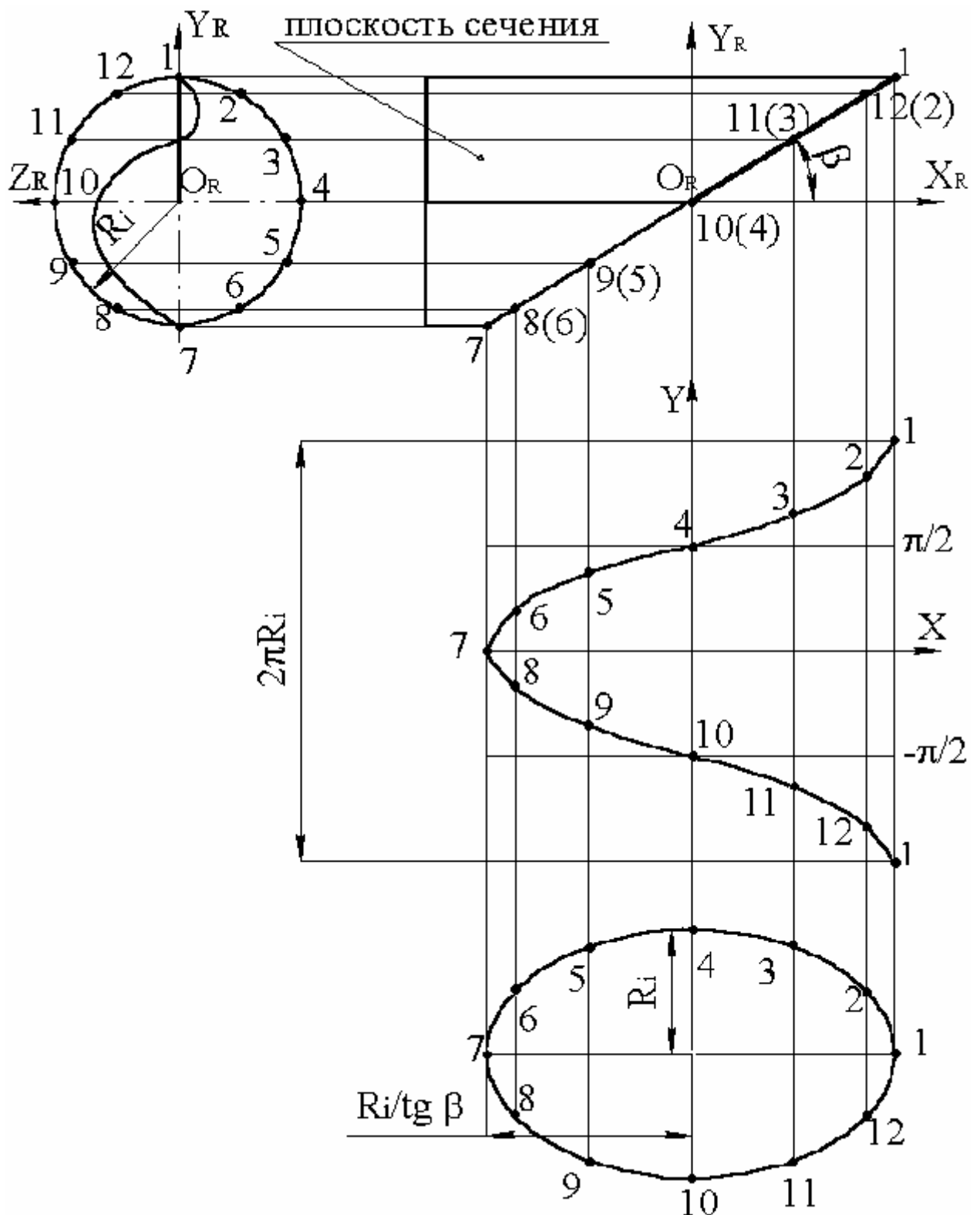


Рис. 2. Развертка эллипса

Рассмотрим развертку одного витка. В системе координат  $XY$  ее характеризует угол  $\omega_i$  наклона и смещение от оси  $Y$ , равное  $R\varphi_i$  (рис. 3). Это смещение возникает из-за того, что в общем случае расчетная точка профиля не лежит в плоскости, по которой делается развертка. Например, при

повороте точки В на угол  $\varphi_i$  при винтовом движении она одновременно сместится вдоль оси  $X_R$  на расстояние  $P\varphi_i$  от исходного положения (рис. 4) в положение точки  $B'$ , лежащей в плоскости, в которой делается развертка окружности цилиндра. В системе координат  $X_R Y_R Z_R$  она проходит через точку с координатами  $Y_2 = R_i$ ;  $Z_2 = 0$  вдоль оси  $X_R$ . Учитывая, что нам известны координаты точки в радиальном сечении, угол  $\varphi_i$  можно найти следующим образом (рис. 5):

$$L_i = \sqrt{(Y_{Ri} - Y_{2i})^2 + (Z_{Ri} - Z_{2i})^2} = \sqrt{(Y_{Ri} - R_i)^2 + Z_{Ri}^2}; \quad (6)$$

$$\sin \mu_i = \frac{L_i}{2R_i}. \quad (7)$$

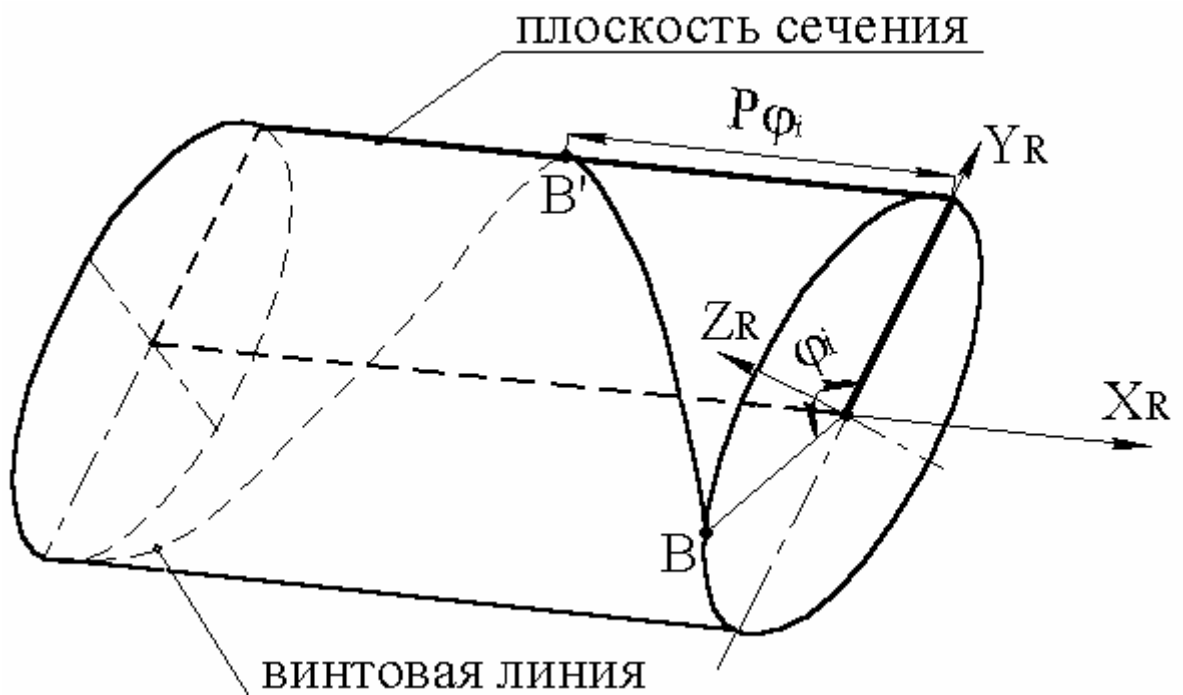


Рис. 3. Винтовая линия

При правом направлении винтовой линии если в исходном радиальном сечении координата  $Z_{Ri} \geq 0$ , то  $\varphi_i = 2\mu_i$ , а если  $Z_{Ri} < 0$ , тогда  $\varphi_i = 360 - 2\mu_i$ . При левом направлении винтовой линии — наоборот. Уравнение развертки винтовой линии на произвольном радиусе в системе координат  $XY$  (см. рис. 3) имеет вид

$$Y_i = (H - P\varphi_i - X_i \pm kH) \operatorname{tg} \mu_i - pR_i. \quad (8)$$

где  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  — целое число, равное номеру витка, смещение до которого мы определили.

Наложив развертки эллипса и винтовой линии получим, систему уравнений



$$\begin{cases} X_i = -\frac{R_i}{\operatorname{tg} \beta} \cos\left(\frac{pY_i}{3,14R_i}\right) \\ Y_i = (H - P\varphi_i - X_i \pm kH)\operatorname{tg} \psi_i - pR_i. \end{cases} \quad (9)$$

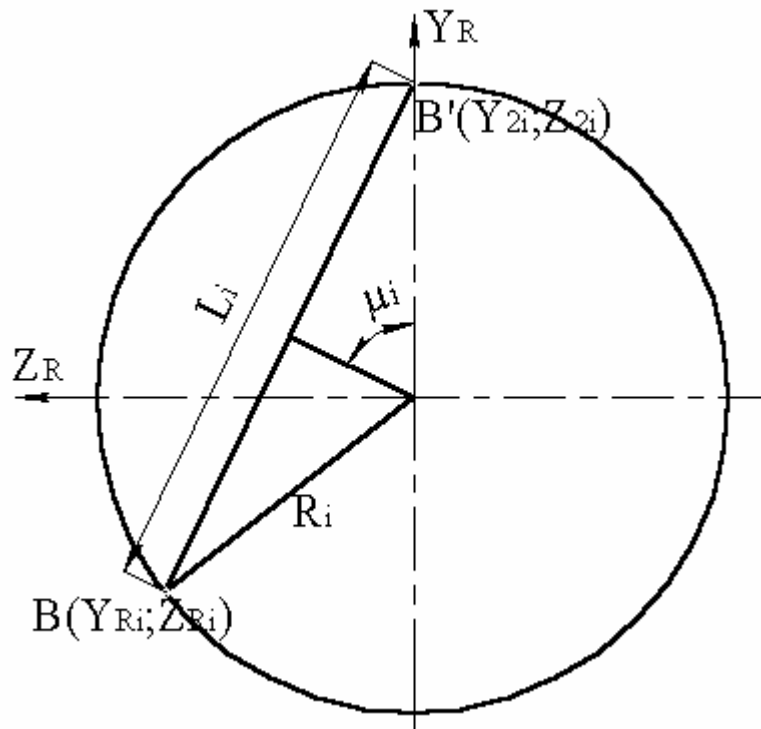


Рис. 4. Расчетная схема определения угла  $\varphi_i$

Значение  $Y_i$  из второго уравнения данной системы подставим в первое уравнение. Решая полученное трансцендентное уравнение можно найти координаты  $X_i$  точек пересечения синусоидальной кривой и прямой линии (возможно пересечение в трех точках). Из полученных координат необходимо выбрать расчетную точку в плоскости развертки. Это делается следующим образом. Если координата расчетной точки  $Y_R \geq 0$  и угол наклона секущей плоскости (при отсчете против часовой стрелки от оси  $X_R$ )  $0 \leq \beta \leq 90$ , то искомой точкой является точка с минимальной положительной координатой  $X_i$ , а если  $90 \leq \beta \leq 180$ , то точка с минимальной отрицательной координатой  $X_i$ . Если же координата расчетной точки  $Y_R \leq 0$ , то наоборот. В случае если угол наклона винтовых линий имеет большое значение, а угол наклона секущей плоскости к оси близок к  $0^\circ$  или  $180^\circ$  (такое возможно, например, при определении координат в нормальном сечении у червячной фрезы), то необходимо решить три уравнения (при  $k = 0, +1$  и  $-1$ ). Учитывая свойства развертки, найденная координата  $X_i$  численно будет равна координате  $X_{1i}$  в СК  $X_R Y_R Z_R$ . По найденной координате  $X_{1i}$  находим угол  $\psi_i$ , на который повернется расчетная точка при винтовом движении, обеспечив попадание в секущую плоскость.

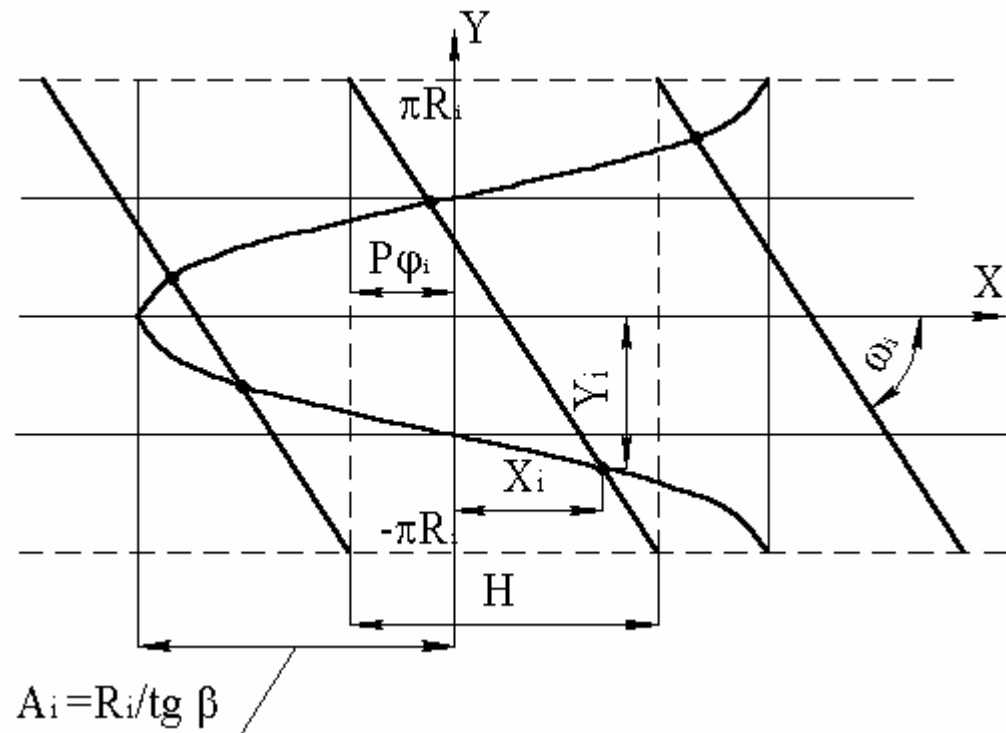


Рис. 5. Совмещенные развертки эллипса и винтовой линии

$$X_{1i} = P_{\text{ш}} \Rightarrow \text{ш} = \frac{X_{1i}}{P}. \quad (10)$$

Зная угол  $\psi_i$ , находим другие координаты расчетной точки в системе координат  $X_R Y_R Z_R$ :

$$\begin{cases} Y_{1i} = Y_i \cos \text{ш} \pm Z_i \sin \text{ш}; \\ Z_{1i} = Z_i \cos \text{ш} \pm Y_i \sin \text{ш}. \end{cases} \quad (11)$$

Верхний знак берется, если винтовая поверхность правая, нижний знак — если левая.

Далее необходимо определить координаты расчетных профиля в принятой секущей плоскости M. Для этого повернем систему координат  $X_R Y_R Z_R$  вокруг оси  $Z_R$  на угол  $(90 - \beta)^\circ$  в плоскости  $X_R Y_R$  (рис. 6). Получим систему координат  $X_B Y_B Z_B$ . Оси  $Y_B$  и  $Z_B$  находятся в секущей плоскости. Взаимосвязь систем координат имеет вид

$$\begin{cases} X_{Bi} = X_{1i} \cos(90 - \beta) - Y_{1i} \sin(90 - \beta); \\ Y_{Bi} = Y_{1i} \cos(90 - \beta) + X_{1i} \sin(90 - \beta); \\ Z_{Bi} = Z_{1i}. \end{cases} \quad (12)$$

Таким образом, поставленная задача решена. Достоверностью полученных координат может служить то, что в сечении цилиндра плоскостью получается эллипс, уравнение которого в СК  $X_B Y_B Z_B$  имеет вид

$$\frac{Z_{Bi}^2}{R_i^2} + \frac{Y_{Bi}^2}{(R_i / \sin \beta)^2} = 1. \quad (13)$$

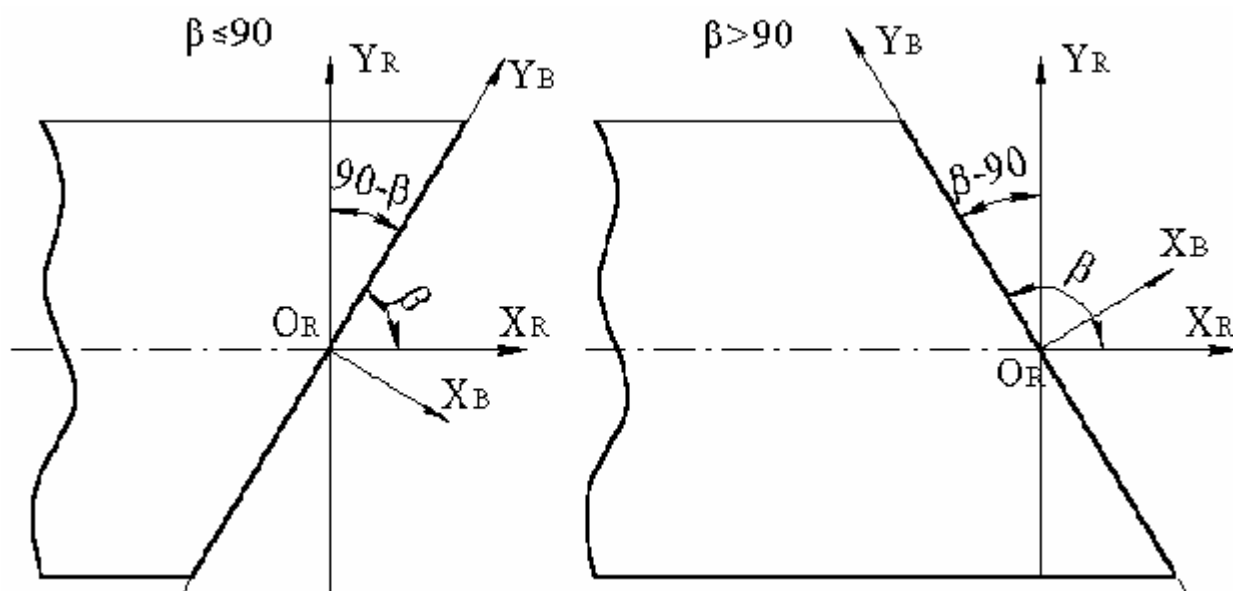


Рис. 6. Взаимосвязь СК

Подставив в уравнение (13) найденные координаты расчетных точек в принятой секущей плоскости должно получиться тождество. Координата же  $X_{B_i}$  должна быть равна нулю, так как сечение проходит через секущую плоскость  $M$  (см. рис. 1).

Если заданы координаты точек профиля в осевой плоскости, то, используя известные зависимости, найдем координаты в радиальной плоскости [2]

$$\begin{cases} Z_R = Y_0 \cos \varphi; \\ Y_R = Y_0 \sin \varphi, \end{cases} \quad (14)$$

где  $\varphi = X_0/P$ .

Далее по найденным координатам расчет аналогичен алгоритму нахождения координат профиля в сечении под некоторым углом к оси по известным координатам в радиальном сечении.

Аналогично, можно определить координаты точек профиля в радиальном сечении по известным координатам  $X_B, Y_B$  в сечении под некоторым углом  $\beta$  к оси. Для этого, используя взаимосвязь СК  $X_B Y_B Z_B$  и  $X_R Y_R Z_R$  (см. рис. 6), определим координаты расчетной точки  $X, Y$  и  $Z$  по известным координатам  $Y_B$  и  $Z_B$  с учетом условия  $X_B = 0$  (секущей плоскостью является  $Y_B Z_B$ )

$$\begin{cases} X = X_B \cos(90 - \beta) + Y_B \sin(90 - \beta) = Y_B \sin(90 - \beta); \\ Y = Y_B \cos(90 - \beta) - X_B \sin(90 - \beta) = Y_B \cos(90 - \beta); \\ Z = Z_B. \end{cases} \quad (15)$$

Далее необходимо определить угол  $\psi$ , на который повернется искомая координата при ее винтовом движении (см. рис. 3). Учитывая, что  $X_R = P\psi$ , а, с другой стороны,  $X_R = X$ , получим выражение

$$\text{ш} = \frac{X}{P}. \quad (16)$$

В системе координат  $X_R Y_R Z_R$  определим искомые координаты точки при ее винтовом перемещении

$$\begin{cases} Y_R = Y \cos \text{ш} + Z \sin \text{ш}; \\ Z_R = Z \cos \text{ш} - Y \sin \text{ш}. \end{cases} \quad (17)$$

Для перевода найденных координат в осевую плоскость используем известную взаимосвязь радиальной и осевой плоскостей в виде зависимостей

$$\begin{cases} X_0 = P \varphi; \\ Y_0 = r; \\ Z_0 = 0, \end{cases} \quad (18)$$

где  $\varphi$  — угол от оси  $Y_0$  до искомой точки в системе координат  $X_0 Y_0 Z_0$ ;  $r$  — радиус цилиндра, по которому перемещается искомая точка,

$$r = \sqrt{Y_R^2 + Z_R^2}. \quad (19)$$

Угол  $\varphi$  определим по рис. 4 как угол между точками В и В'. При этом, если винтовая линия правая и координата расчетной точки  $Z_R \geq 0$ , то  $\varphi = 360^\circ - 2\mu$ , иначе  $\varphi = 2\mu$ . Если же винтовая линия левая, то наоборот.

Таким образом, установлена прямая и обратная взаимосвязь координат точек профиля в различных секущих плоскостях, что позволяет использовать любой способ задания винтовой поверхности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гордон В. О., Семенцов–Огиевский М. А. Курс начертательной геометрии: Учебное пособие. — 23-е изд., перер. — М.: Наука, 1988. — 272 с.
2. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов: Учебное пособие для вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / Под общ. ред. Г. Н. Кирсанова — М.: Машиностроение, 1986. — 288 с.

### **МИНИГАБАРИТНЫЙ ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК МОДЕЛИ MF70-1Ф4 С КОМПЬЮТЕРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

С.С. Панов, П.Г. Мазеин

Серию созданных в 1996-2004 гг. на кафедре «Станки и инструмент» Южно-Уральского государственного университета учебных станков [1–4] продолжает учебный минигабаритный фрезерный станок модели MF70-1Ф4 с компьютерным управлением, выполненный на базе станка с ручным управлением фирмы Ргоххон и предназначен для детского и юношеского технического творчества, как при индивидуальном, так и при групповом использовании, а также для проведения различных конкурсов и для подготов-

ки кадров. Применение станка, дает знания и навыки в области станков, инструмента, технологии, электроприводов, систем управления и современных информационных технологий, способствует развитию креативных способностей личности и профориентации. На станке можно выполнять сверление отверстий по заданным координатам, фрезерование и гравирование в “ручном” или автоматическом режимах 2-х мерных и 3-х мерных поверхностей на заготовках из дерева, пластмасс, цветных металлов. Применение станка обеспечивает увлекательный и полезный досуг, дает начальные знания в области станков, инструмента, технологии, электроприводов, систем управления и современных информационных технологий, способствует развитию креативных способностей личности и профориентации. На станке можно выполнять сверление отверстий по заданным координатам, фрезерование и гравирование в “ручном” или автоматическом режимах 2-х мерных и 3-х мерных поверхностей на заготовках из дерева и пластмасс. Управление станком осуществляется от персонального компьютера в системе Windows (или MS-DOS). Управляющие программы для обработки деталей составляются с использованием простых стандартных функций. Компьютерные имитаторы станка и устройства числового программного управления позволяют имитировать обработку на станке (изготавливать виртуальную деталь по созданной управляющей программе), а затем запускать реальный станок на изготовление реальной детали. Станок безопасен и надежен в эксплуатации, не требует специального обслуживания. В таблице приведена техническая характеристика станка.

Отличительной особенностью станка является компактность и высокая надежность в эксплуатации. Шпиндельная головка станка смонтирована на стойке и перемещается по вертикальным направляющим (координате  $Z$ ). Крестовый стол располагается на основании станка и перемещается по направляющим типа “ласточкин хвост” (координатам  $X$  и  $Y$ ). Для преобразования вращательного движения в поступательное в каждой из координат станка используется пара винт-гайка скольжения с шагом 1 мм.

Вращение режущего инструмента на станке осуществляется от инструментальной головки. Бесступенчатое изменение частоты вращения инструмента обеспечивается с помощью ручного регулятора, расположенного на корпусе головки. Приводы подач обеспечивают бесступенчатое регулирование скоростей подач в соответствии с заданным в управляющей программе значениями.

Система управления станка обеспечивает управлением приводами подач и работу конечных выключателей (по одному на каждую координату). Монтаж электрической схемы выполнен на печатных платах, размещенных в корпусе, который прикреплен к стойке станка. Для получения высоких динамических характеристик от шаговых двигателей применяются микросхемы, реализующие ШИМ (широтно-импульсный модулятор), выполняющие стабилизацию тока, а также микросхема мостового драйвера. В результате существенно разгружается компьютер, так как от него требуется только задание тактовой частоты (частота повторения шагов) и несколько статических сигналов: направление (сигнал внутренне синхронизирован, переключать можно в любой момент), полушаговый/полношаговый режим, установ-

ливаает фазы в исходное состояние, разрешение работы микросхемы, опорное напряжение, которое задает пиковую величину тока при ШИМ-регулировании. Станок подключается к стандартному параллельному LPT-порту компьютера. Программирование подключенных шаговых двигателей к параллельному порту, заключается в установке определенных битов в регистрах данных и управления и чтении определенных битов из регистра состояния. Для управления станком могут использоваться программа Turbo CNC (для MS-DOS), а также программа MDirector (для Windows 95/98). Программы обеспечивают управление приводами от управляющих программ, созданных в соответствии с промышленным стандартом RS-274 Gcode.

Таблица

Техническая характеристика станка	
1. Напряжение питания, В.....	220
2. Потребляемая мощность, Вт, не более.....	150
3. Предельные габариты заготовки (ширина×длина×высота), мм.....	45×120×70
5. Пределы частот вращения инструмента, мин <sup>-1</sup> .....	5000–20000
6. Величина хода:	
— поперечного стола, мм .....	45
— продольного стола, мм .....	120
— инструментальной головки, мм .....	70
7. Диаметры применяемых инструментов, мм .....	1–3
8. Тип системы управления .....	PCNC
9. Количество одновременно управляемых координат .....	3
10. Точность перемещений, мм.....	0,1
11. Подключаемый порт компьютера .....	LPT
12. Габариты (ширина×длина×высота), мм .....	320×380×420
13. Масса, кг.....	11

Для работы TurboCNC требуется:

— ЭВМ типа 80386 или более поздняя PC-совместимая ЭВМ с минимальной оперативной памятью не менее 8 Мб наличие MS-DOS совместимой файловой системы версии 6.XX, 80387 или более поздний сопроцессор;

— наличие 25-ти пинового параллельного порта для управления подключенными приводами;

— не менее 1Mb свободного дискового пространства (7M для исходного текста и инструментальных средств разработки — самой программы).

TurboCNC реализуется в режиме реального времени в MS-DOS для обеспечения максимальной скорости и наивысшей надежности контроля в работе приводов станка, подключенных к параллельному порту ЭВМ. Питание блока управления осуществляется от блока питания компьютера.

При наладке станка выполняются закрепление инструмента в шпинделе, установка и закрепление заготовки на столе станка, после включения компьютера запускается программа и выполняется выход в ноль станка по всем управляемым координатам. После этого обеспечивается взаимосвязь с системой координат детали и запуск имеющейся управляющей программы на выполнение обработки детали.

С использованием станка можно проводить занятия по следующим темам:

- изучение видов станков с ЧПУ, типов ЧПУ, видов приводов методов настройки и программирования;
- изучение основных понятий принятых в работе с автоматизированным оборудованием: понятие баз, типы баз, точность, жесткость и т.п.;
- лекции по основам программирования Gcode RS-274, с примерами управляющих программ для фрезерных станков;
- разработка управляющих программ для станков с ЧПУ;
- контроль преподавателем уровня знаний и навыков учащихся;
- изучение основных узлов станка MF70-1Ф4, принципов работы, технических характеристик;
- изучение правил и последовательности работ на станках с ЧПУ (крепления заготовок, включения \выключения оборудования);
- правила техники безопасности на станках;
- изучение работы с имитатором станка с ЧПУ в среде Microsoft Windows 98;
- практические занятия с имитатором станка ЧПУ (разработка УП, реализация их на станке, контроль соответствия чертежу детали);
- изучение работы интерпретатора Gcode RS-274-TurboCNC.

Таким образом, создан новый надежный станок, доступный для учебных заведений по стоимости, позволяющий решать большое количество учебных задач.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мазеин П.Г. Концепция современного учебного оборудования с компьютерным управлением / Вестник ЮУрГУ, серия Машиностроение. Вып.1, №2 (2), 2003. — С. 13–19.
2. Мазеин П.Г., Лецковская С.А. Многофункциональные учебные комплексы (стендовые) на базе стругов и фрезерно-пробивных машин / Годишник на БСУ. Юбилейное издание, Т.1. — Бургаз: “ИРИТА” ЕООД, 2001. — С. 84–90.
3. Сверлильно-фрезерный станок с компьютерной СЧПУ: Учебное пособие / П.Г. Мазеин, В.С. Столяров, С.В. Шереметьев и др. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. — 80 с.
4. Патент №35457 на полезную модель. Учебный сверлильно-фрезерный станок с компьютерной системой ЧПУ / П.Г. Мазеин, В.С. Столяров, С.А. Псарев, Ю.С. Песоцкий. Заявка №2003128179/20, приоритет от 22.09.03, решение Роспатента о выдаче патента на полезную модель от 20.10.03. Зарегистрировано в Госреестре полезных моделей РФ 10 января 2004.

## УСТРОЙСТВА ГИБКОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МОДУЛЯ НА БАЗЕ СВЕРЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

П.Г. Мазеин, А.В. Шереметьев

Для моделирования компоновки, исследования функционирования и программирования гибких производственных систем (ГПС) и гибких производственных модулей (ГПМ) разработаны и созданы устройство автоматизированной смены заготовок и устройство автоматизированной смены инструмента.

Система автоматизированной смены инструмента (САСИ) для ГПМ выполнена на базе сверлильно-фрезерного станка с компьютерным управлением модели НСФ-4Ф4 [1, 2], робота и 4-х позиционного инструментального магазина. Робот обеспечивает смену инструмента в патроне (рис. 1), установленном на шпинделе станка. Разжим патрона обеспечивается механизмом разжима (рис. 2, 3), установленном на стойке станка. Управляющая программа робота обеспечивает следующий цикл работы САСИ:

- робот захватывает инструментальную оправку (рис. 4) (цангу с инструментом), находящуюся в позиции смены инструментального магазина;
- производится зажим схвата робота (зажим инструментальной оправки);
- рука робота перемещается вверх, вытаскивая оправку из гнезда магазина;
- по всем осям станка обеспечивается перемещение, необходимое для смены инструмента (в положение, не мешающее подводу оправки с инструментом в положение соосное шпинделю);
- робот перемещает оправку в положение соосное шпинделю станка;
- разжимное устройство перемещается вниз, сжимая пружину и тем самым, разжимая патрон;
- движением вверх робот вводит хвостовик оправки в патрон;
- разжимной механизм перемещается вверх, освобождая пружину, вследствие чего происходит зажим хвостовика инструментальной оправки в патроне;
- разжимается схват робота;
- рука робота возвращается в исходное положение;
- управление передается управляющей программе (УП) станка;
- на станке производится обработка детали;
- если в очередном кадре УП имеется команда смены инструмента, узлы станка по всем осям перемещаются в положение смены и управление передается программе робота;
- робот охватывает схватом инструментальную оправку;
- происходит зажим схвата;
- разжимной механизм разжимает оправку;
- робот вытаскивает оправку из патрона и переносит ее в то же свободное гнездо магазина;
- происходит разжим схвата;
- рука робота возвращается в исходное положение;



— стол поворачивается, пока в позицию смены не установится заданный в УП станка инструмент. Далее все движения повторяются.

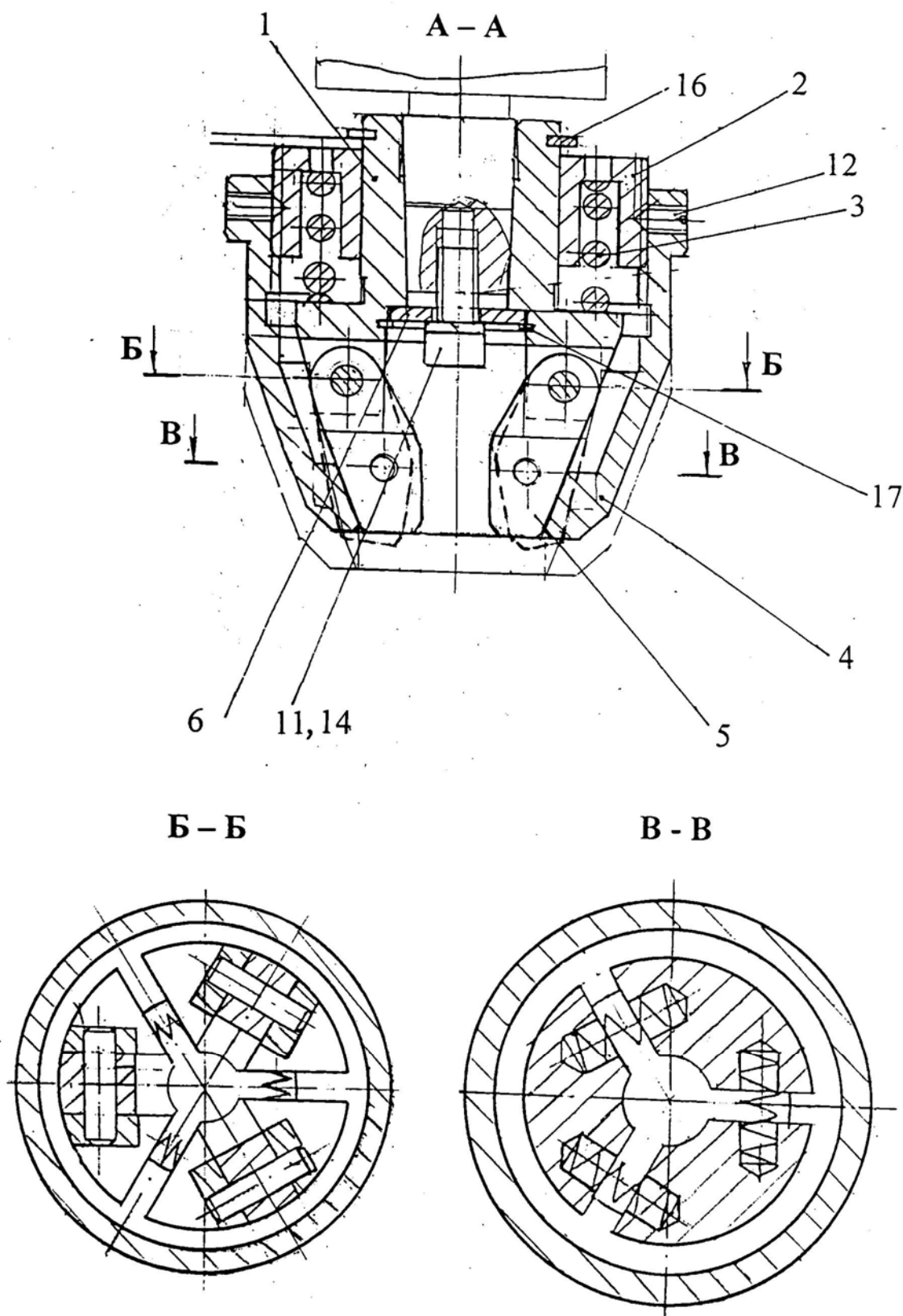


Рис. 1. Конструкция патрона

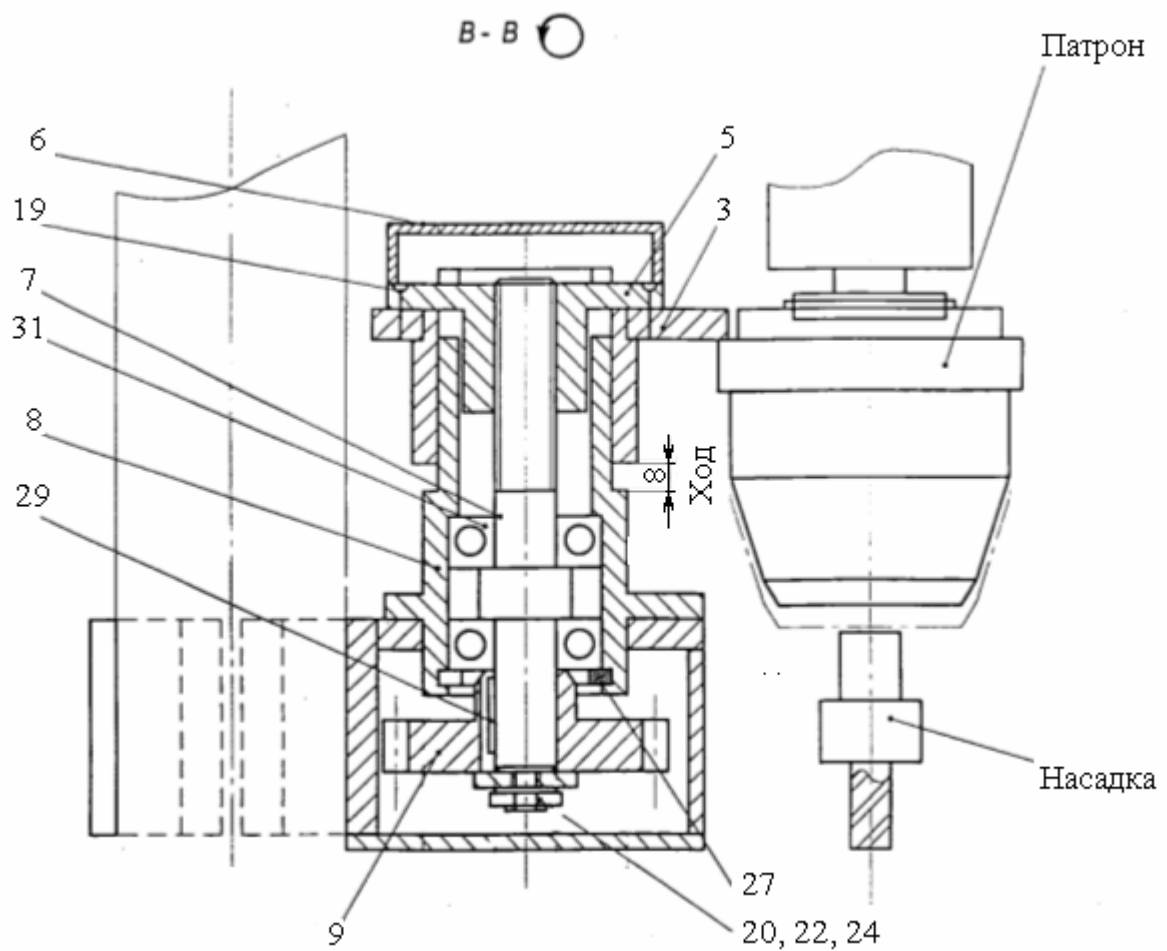


Рис. 2. Разжимной механизм (компоновка на станке и разрез)

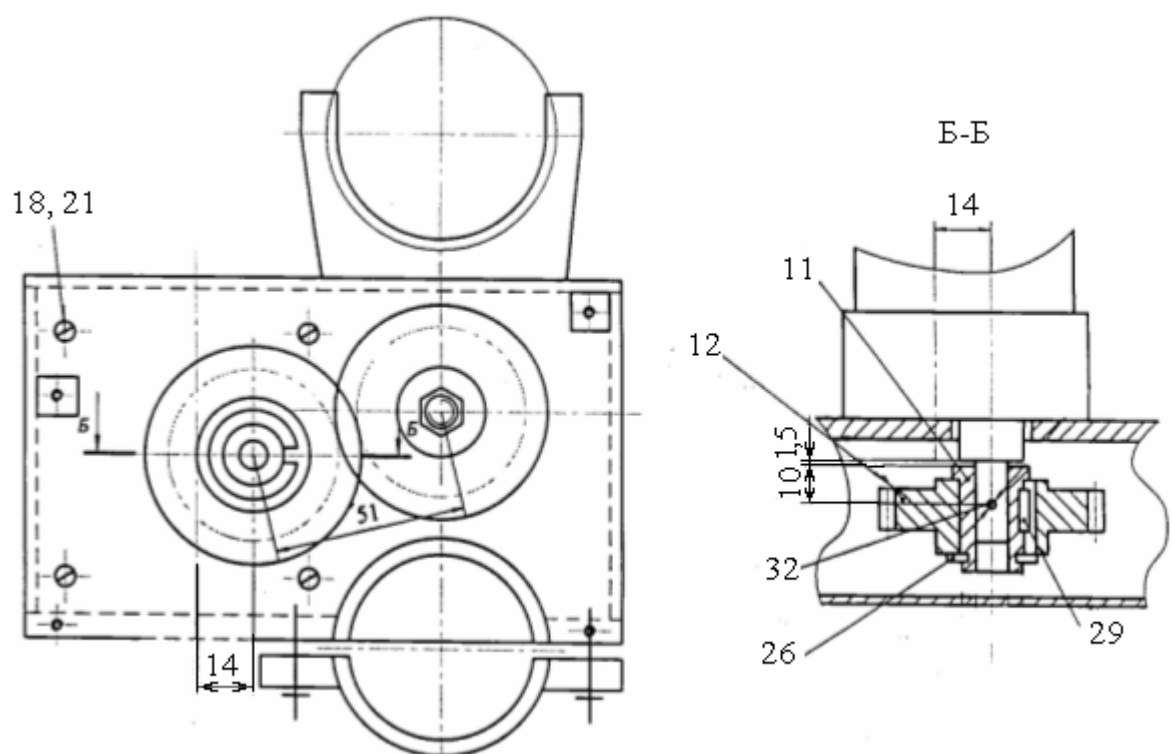


Рис. 3. Разжимной механизм (компоновка и разрез по оси двигателя)

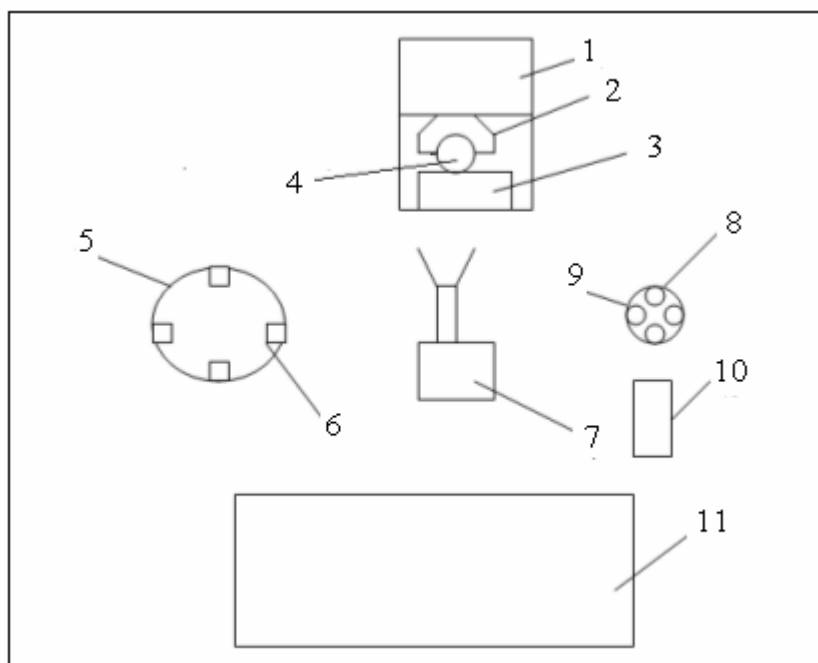


Рис. 4. Компоновка ГПМ и ГПС

**Патрон** имеет следующую конструкцию. Корпус 1 патрона (см. рис. 1) закреплен на шпинделе станка с помощью шайб 6, 11 винтом 14 и зафиксирован в осевом направлении кольцом 17. В корпусе патрона на осях 8 установлены три зажимных кулачка 5. Гильза 4 патрона вместе с закрепленной на нем втулкой 2 имеют возможность осевого перемещения относительно корпуса 1, которое возможно при осевом воздействии через деталь 2 на пружину 3. Осевое положение конусного отверстия гильзы 4 зависит от сжатия пружины и, в свою очередь, определяет поворот кулачков относительно осей 8 и, следовательно, радиальное расстояние между их зажимными поверхностями. Так, при сжатии пружины 3 (при перемещении втулки 2 вместе с гильзой 4 вниз) кулачки поворачиваются вокруг осей 8 по часовой стрелке и радиальное расстояние между ними увеличивается, т.е. происходит разжим инструментальной оправки. При разжипе пружины 3 втулка 2 и гильза 4 перемещаются вверх, заставляя кулачки 5 поворачиваться против часовой стрелки, при этом уменьшается радиальное расстояние между их зажимными поверхностями и происходит зажим инструмента в патроне. Расчетное зажимное усилие патрона составляет 320 Н. Для обеспечения одновременности расхождения кулачков при разжипе, между ними размещены пружины 9 (см. рис. 1).

**Разжимной механизм** (см. рис. 2, 3) имеет следующее устройство.

От двигателя через шестерни 12 и 9 вращение передается на винт 7. Винт перемещаться в осевом направлении не может, поэтому происходит перемещение гайки 5. При перемещении гайки вниз вилка 3 воздействует на втулку 2 (см. рис. 1) патрона, заставляя сжиматься пружину 3 и разжиматься кулачки 5.

При реверсировании двигателя гайка с вилкой перемещаются вверх, пружина 3 патрона разжимается, а кулачки 5 сжимаются. Зажим инструмен-

та в цанге обеспечивается гайкой. Все цанги набора (для зажима инструментов с диаметрами 4–8 мм) имеют хвостовики диаметром 10 мм.

**Инструментальный магазин** имеет следующее устройство.

В корпусе установлен электродвигатель, на валу электродвигателя установлена 4-х позиционная планшайба (круглый поворотный стол). Планшайба опирается на шарики установленные в кольцевом пазу основания. Конечный выключатель, установленный на корпусе стола, взаимодействует со штырьками, установленными на планшайбе. На планшайбе имеются гнезда для размещения оправок с инструментом. Оправки располагаются в гнездах хвостовиком вверх.

Автоматизированную смену заготовок обеспечивает робот. Паллеты с заготовками устанавливаются на 4-х позиционном тактовом столе-накопителе. Робот поочередно устанавливает паллеты в зажимное приспособление станка, после зажима паллеты в зажимном приспособлении станка, схват робота разжимается, и рука робота возвращается в исходное положение. Далее управление передается УП станка. Остальные этапы цикла смены заготовок аналогичны этапам смены инструмента.

**Приводы** инструментального магазина, накопителя инструмента и разжимного механизма обеспечиваются от асинхронных конденсаторных электродвигателей. Для позиционирования магазина и накопителя предусмотрены конечные выключатели, установленные на корпусах и штырьки, установленные на планшайбах.

При наезде штырька на конечный выключатель в систему управления подается сигнал о достижении заданной позиции, и система управления обеспечивает останов соответствующего электродвигателя.

**Управление приводом** разжимного механизма обеспечивается программно по времени. Момент включения электродвигателя задается программно, продолжительность перемещения вилки вниз и выключение электродвигателя определяются при отладке работы механизма и обеспечиваются программно, время нахождения вилки в нижнем положении, момент включения реверса двигателя и продолжительность перемещения вилки в верхнее исходное положение, определяются также при отладке и обеспечиваются программой.

**Конструкция накопителя заготовок** аналогична конструкции инструментального магазина. На планшайбе накопителя заготовок размещены конические штыри, обеспечивающие положение 4-х паллет с заготовками.

Оборудование ГПМ: сверлильно-фрезерный станок НСФ-4Ф4 1 (см. рис. 4) 4-х позиционный тактовый стол-накопитель заготовок 5, 4-х степенной робот 7, инструментальный магазин 8, разжимное устройство 2, зажимной патрон 4 и зажимное приспособление 3 входит в состав ГПС, включающей, кроме того, стеллаж-накопитель заготовок 10, токарный станок Т-4Ф3, персональный компьютер и блок управления.

Робот имеет возможность в соответствии с управляющей программой:

— захватывать паллеты с заготовками из позиции смены заготовок 6 стола 5 и устанавливать их в приспособление 3 сверлильно-фрезерного станка 1, а также извлекать паллету из приспособления и устанавливать на тактовый стол;

— выполнять смену инструмента, извлекая его из гнезда 9 магазина 8 и устанавливая в патрон 4 станка, разжим которого осуществляется механизмом 2, а также извлекать инструмент из патрона и устанавливать в гнездо инструментального магазина;

— выполнять извлечение из накопителя 10 заготовки и установку ее в центра токарного станка 11, а также возврат обработанной заготовки в накопитель или установку ее в приспособление 3 сверлильно-фрезерного станка 1.

Управление циклом работы ГПМ и ГПС выполняется системой компьютерной системой ЧПУ класса PRCNC, которая аппаратно реализована на базе системного блока компьютера и блоков управления станков.

ГПМ и ГПС можно применять в учебном процессе для: изучения вариантов состава, структуры и компоновки станочных систем; изучения систем управления; изучения программирования; исследования погрешностей; изучения конструкции устройств и механизмов станочных систем; получения навыков программирования работы ГПС; разработки и оптимизации циклограмм ГПС; изучения роботов; изучения электроавтоматики; изучения систем управления; оценки технико-экономической эффективности станочных систем; проверки расчетных методик; разработки вариантов компоновок и конструкций механизмов ГПМ и ГПС; разработки 3D моделей станочных систем и их механизмов; разработки имитационных моделей; разработки математических моделей.

С помощью созданной станочной системы можно решать задачи подготовки бакалавров, инженеров и магистров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сверлильно-фрезерный станок с компьютерной СЧПУ: Учебное пособие / П.Г. Мазеин, В.С. Столяров, А.Н. Серебряков, С.В. Шереметьев. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. — 80 с.

2. Пат. РФ 35437 на полезную модель, МПК G09B 5/00, 19/00/ Учебный сверлильно-фрезерный станок с компьютерной системой ЧПУ / П.Г. Мазеин, В.С. Столяров, С.А. Псарев, С.К. Сергеев. Приоритет от 22.09.03, решение РОСПАТЕНТА о выдаче патента на полезную модель от 20.10.03. Зарегистрировано в Госреестре полезных моделей РФ 10 января 2004.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРОБЕСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

А.В. Шаламов

Дробеструйная обработка является одним из технологических способов упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием (ППД). По сравнению с прочими она имеет следующие преимущества: возможность обработки деталей сложного профиля, высокая стойкость де-

формирующих элементов (ДЭ) и др. На Западе дробеструйная обработка получила широкое распространение как в авиа- и машиностроении, так и в других областях, применяются 6–9-ти координатные дробеструйные станки с ЧПУ, робототехника.

По данным Кудрявцева И.В. [1], усталостная прочность деталей обрабатываемых ППД на 30% зависит от величины остаточных сжимающих напряжений и на 70% от наклепа. В отличие от гладких образцов, повышение усталостной прочности деталей с концентраторами напряжений, по сведениям [2, 3], достигается главным образом за счет возникновения в рабочем слое сжимающих остаточных напряжений, при этом влияние наклепа мало или вовсе отсутствует. В ряде работ [4–6] приводится эпюра остаточных напряжений, возникающих в обрабатываемой детали при гидродробеструйном упрочнении (рис. 1). Как видно, в рабочем слое, у поверхности детали, образуются растягивающие остаточные напряжения. Наличие растягивающих напряжений в рабочем слое детали является нежелательным, так как они являются причиной возникновения микротрещин, снижающих усталостную прочность детали. Повлиять на образование растягивающих напряжений в поверхностном слое можно только, зная причины их образования.

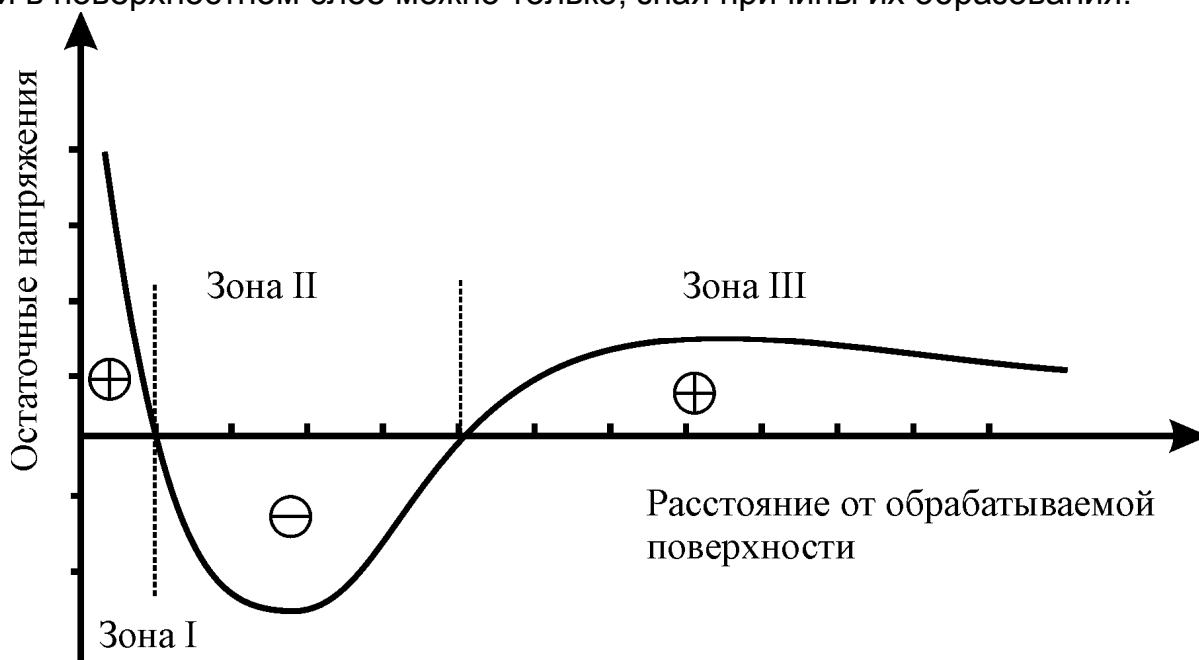


Рис. 1. Характерная эпюра остаточных напряжений, образующихся при гидродробеструйном упрочнении (ГДУ)

Эпюра характеризуется наличием следующих зон:

- I — растягивающие напряжения в поверхностном слое;
- II — сжимающие напряжения в подповерхностном слое;
- III — растягивающие напряжения в глубине детали.

До сих пор не существует единого мнения по поводу механизма образования растягивающих напряжений на поверхности при ГДУ. Саверин М.М. [5], предполагал, что появление растягивающих напряжений следует объяснять увеличением площади поверхности обрабатываемой детали. Петросов [6] объясняет это явление действием термопластичных напряжений, по его расчетам прирост температуры от одного удара составляет порядка

600–1000° С. Кастерин А.В. [7] объясняет это тем, что при упругой разгрузке обратного пластического течения в радиальном направлении (перпендикулярно оси удара) не происходит, что приводит к образованию растягивающих остаточных напряжений.

Ранее образование остаточных напряжений изучалось без учета динамики формирования напряженного состояния. Это связано с тем, что осуществить такие исследования на реальном физическом объекте не представляется возможным.

Для выявления причин образования поверхностных растягивающих напряжений было предложено выполнить моделирование процесса ГДУ с учетом динамики протекания процесса. При моделировании был применен метод конечных элементов (МКЭ), в частности, использовался математический аппарат программы LS-DYNA. При построении расчетной модели были сделаны следующие допущения:

- моделировался однократный удар;
- материал шарика идеально-упругий;
- поверхности шарика и пластины являются абсолютно гладкими;
- температурные эффекты, возникающие при ударе, не учитываются;
- расчетная модель 2-х мерная, что допустимо для осесимметричных задач.

При построении модели были приняты следующие исходные данные:

- заготовка–пластина (12×5 мм);
- материал–сталь 65Г в не наклепанном состоянии ( $\sigma_{0,2} = 400$  МПа,  $\sigma_B = 780$  МПа);
- модель с билинейным кинематическим упрочнением;
- начальная скорость шарика – 8 м/с;
- удар осуществлялся под углом 90° к поверхности пластины.

Так как задача осесимметричная, то интересуют нас напряжения в направлении оси удара (осевые), направленные перпендикулярно ей (радиальные) и напряжения сдвига. Полученные в результате моделирования эпюры остаточных напряжений, изображены на рис. 2.

Для анализа динамики формирования напряженного состояния, приведем график изменения напряжений на поверхности в момент удара.

Анализируя полученные эпюры, отметим:

- этап внедрения шарика в деталь характеризуется нарастанием как осевых, так и радиальных сжимающих напряжений в теле пластины (рис. 3, эпюры 1, 2), причем радиальные не достигают предела текучести;

- при разгрузке наблюдается резкое уменьшение сжимающих напряжений, причем осевые напряжения падают практически до нуля (см. рис. 3, эпюра 2);

- радиальные напряжения, меняя знак (см. рис. 3, эпюра 1), изменяются по гармоническому закону с амплитудой порядка 100 МПа, причем амплитуда колебаний постепенно снижается до нуля (данный участок на рисунке не приводится). Объяснить это следует волнами распространения деформаций. Система после снятия нагрузки приходит в новое равновесное состояние. За  $2 \cdot 10^{-4}$  секунды амплитуда колебаний падает примерно в 100 раз.

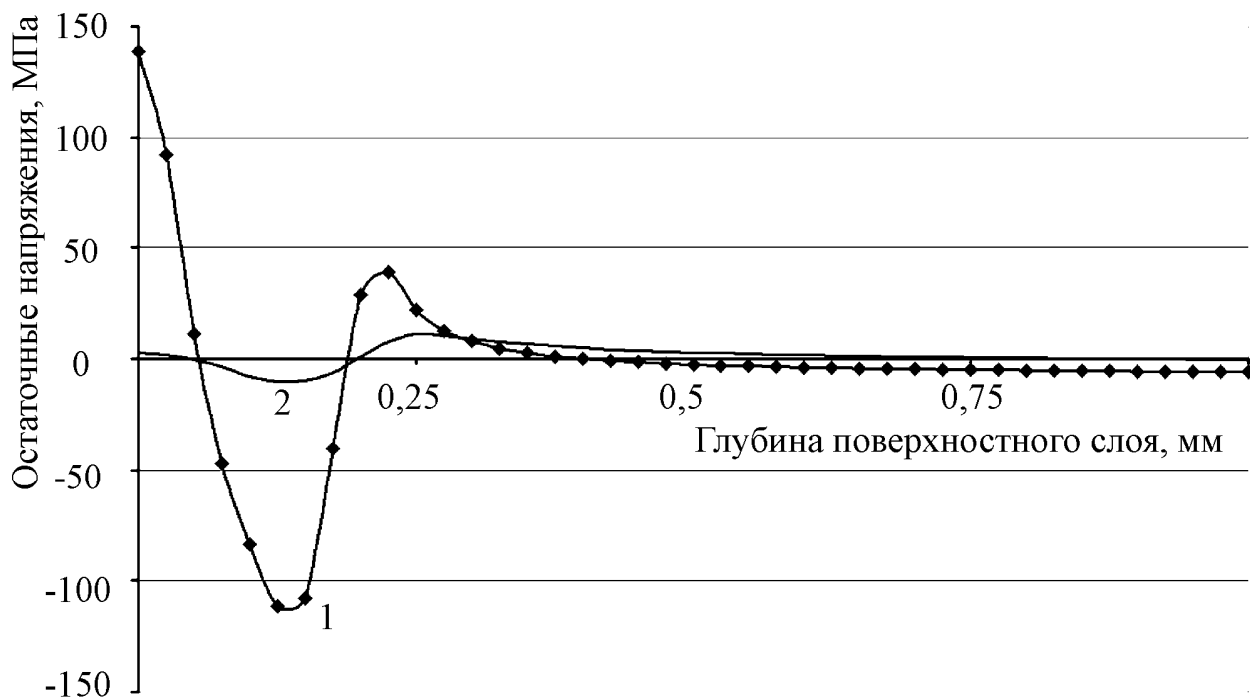


Рис. 2. Распределение остаточных напряжений по глубине пластины на оси удара: 1 — радиальные напряжения, 2 — осевые напряжения

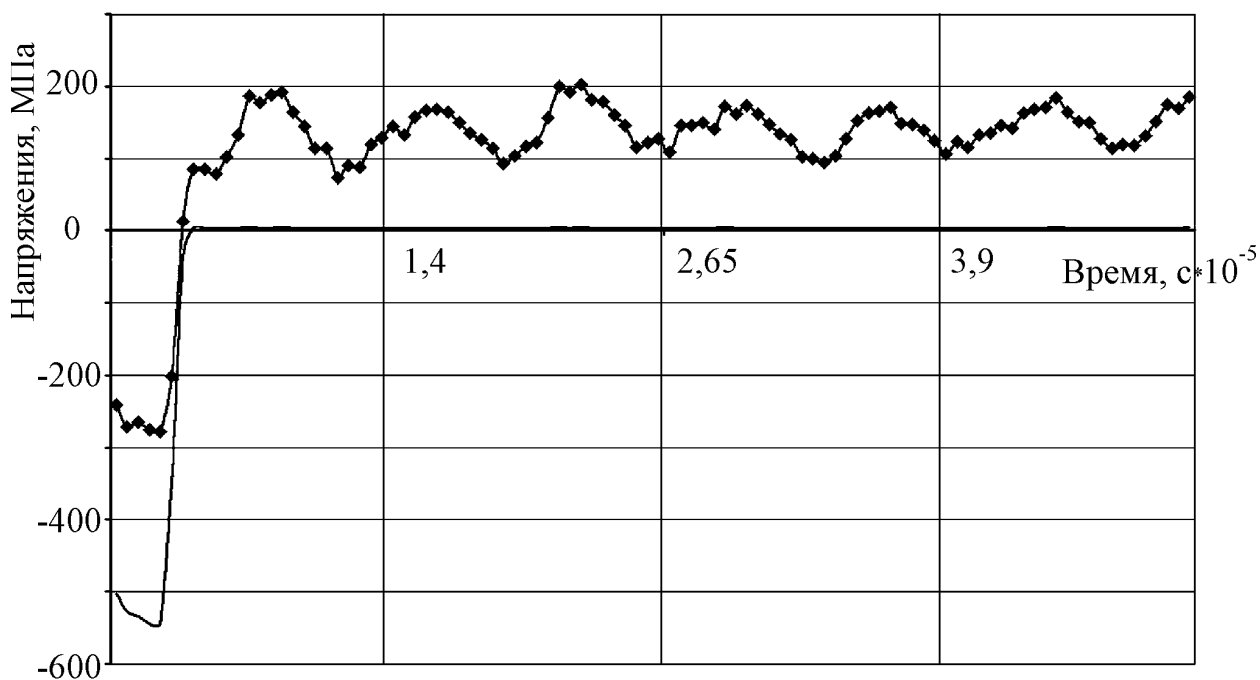


Рис. 3. Изменение напряжений на поверхности, на оси удара: 1 — радиальные напряжения, 2 — осевые напряжения

— на эпюрах как радиальных, так и осевых остаточных напряжений четко определены три характерных участка (см. рис. 2, эпюры 1, 2), что подтверждается исследованиями [1, 2, 4, 9];

— осевые остаточные напряжения малы по сравнению с радиальными и на поверхности практически равны нулю;



— растягивающие остаточные напряжения в поверхностном слое имеют достаточно большую величину ( $\sigma_{\text{ост макс}} \approx 140$  МПа).

Также отметим, что предположения, Петросова В.В. [4] не нашли подтверждения. Приращение температуры от одного удара на дне лунки составило всего 19°C. Было принято, что 95% работы, затрачиваемой на пластическое деформирование, переходит в тепло. Результаты моделирования совпадают с аналитическими расчетами Рыковского Б.П. [6] (9,5–74°C). Таким образом, температурные напряжения не могут оказать существенного влияния на образование остаточных напряжений. Но необходимо учитывать, что при многократных ударах детали малого размера могут нагреваться на существенную величину.

Осевые напряжения, образующиеся при внедрении шарика, практически полностью снимаются при разгрузке. Сжимающие напряжения, создаваемые в радиальном направлении в теле детали, в условиях всестороннего сжатия, не имеют возможности релаксировать полностью (см. рис. 2, 3). После снятия внешней нагрузки, материал приходит в новое равновесное состояние. При этом при разгрузке обратного пластического течения материала не происходит, так как предел текучести не превышает, что подтверждается аналитическими расчетами Джонсона [8]. На поверхности и в глубине детали (см. рис. 2) радиальные напряжения сжатия переходят в растягивающие, уравнивая и как бы запирая, сжимающие напряжения.

Наиболее отвечает полученным результатам положения, высказанные Джонсоном К. [8], которые дальше развивались в работах Мазеина П.Г. [2] и Кастерина А.В. [7]. Они отмечают, что при вдавливании индентора в условиях полной пластичности на поверхности наблюдаются радиальные напряжения порядка  $0,4\sigma_{0,2}$ , при этом они являются растягивающими. Создаются эти напряжения под действием радиального движения материала при пластическом внедрении ДЭ, что также подтверждается результатами выполненного моделирования.

Ранее считалось, что течение материала начинается на оси контакта сферы с заготовкой. При моделировании было отмечено, что градиент пластических деформаций не совпадает с осью удара, а находится под некоторым углом к ней и смещен к краю лунки (рис. 4). Это объясняется тем, что течение материала в данном случае возникает за счет действия касательных напряжений, так как касательные напряжения при внедрении достигают максимума в точке смещенной к краю лунки.

В заключение, отметим, что в результате выполненного моделирования:

- выявлена динамика формирования напряженного состояния при ГДУ;
- выявлены причины формирования остаточных напряжений в поверхностном слое;
- выявлено, что пластическое течение материала заготовки возникает в точке, смещенной от оси удара к краю лунки;
- установлено, что наибольшее влияние на формирование растягивающих напряжений оказывает радиальное течение материала, возникающее при пластическом внедрении деформирующего элемента;

— предположено, что растягивающие напряжения будут возрастать от воздействия температурных напряжений, возникающих при ударе и от взаимной адгезии материала обрабатываемой заготовки и ДЭ.

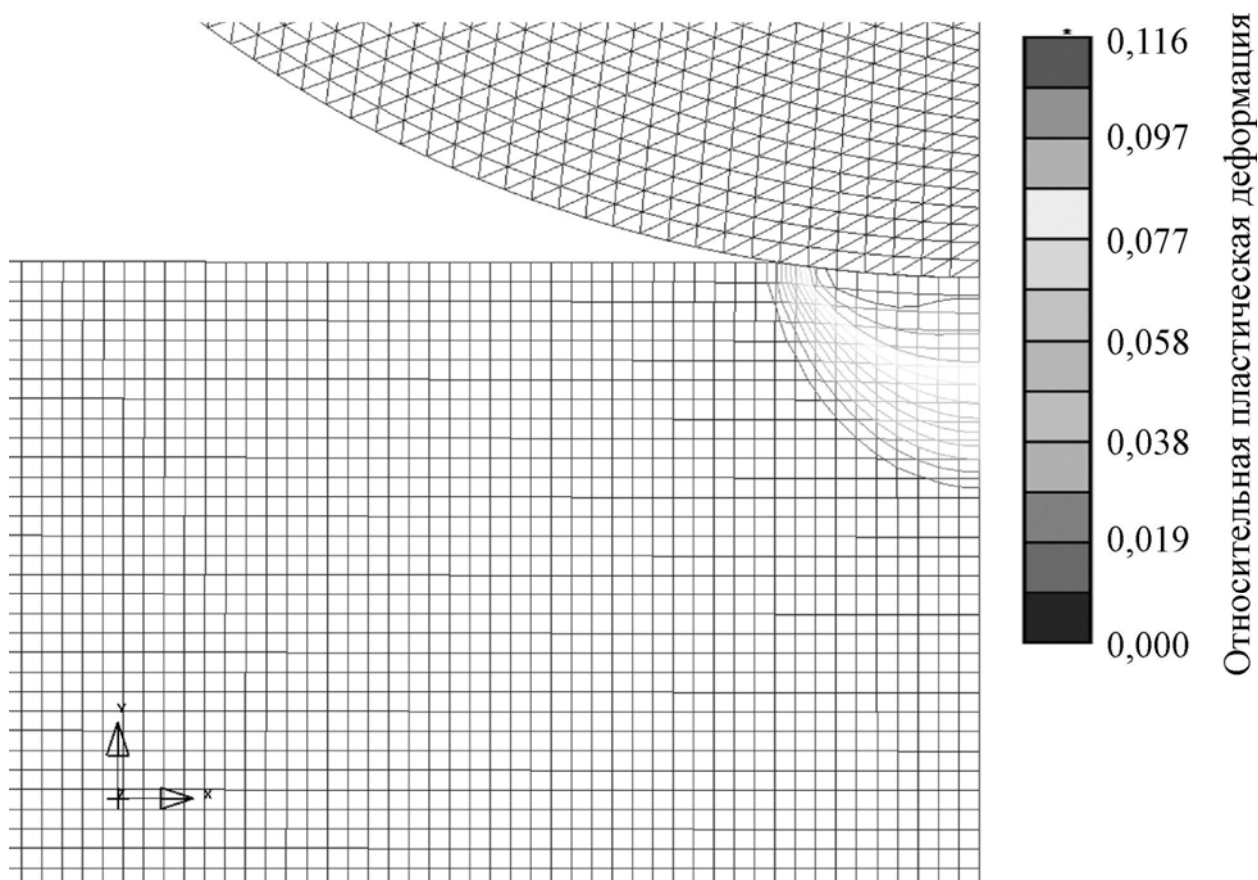


Рис. 4. Эпюра пластических деформаций (размер конечного элемента 0,02 мм)

В связи с большими перспективами развития данного метода обработки [10] предлагается для повышения качества дробеструйного упрочнения разработать математическую модель, устанавливающую связь между режимами упрочнения и качеством поверхностного слоя с учетом всех выявленных особенностей процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцев И.В. и др. Повышение прочности и долговечности крупных деталей машин поверхностным наклепом. — М.: Машиностроение, 1970. — 153 с.
2. Мазеин П.Г. Аналитический расчет напряжений при поверхностном пластическом деформировании// Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки. — Челябинск, Изд-во ЧПИ, 1980. — С.104–107.
3. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. — М.: Машиностроение, 2002. — 300 с.
4. Петросов В.В. Гидродробеструйное упрочнение деталей и инструментов. — М.: Машиностроение, 1997. — 166 с.

5. Рыковский Б.П., Смирнов В.А., Щетинин Г.М. Местное упрочнение деталей поверхностным наклепом. — М.: Машиностроение, 1985. — 152 с.
6. Школьник Л.М., Девяткин В.П. Повышение прочности шестерен дробеструйным наклепом. — Вестник машиностроения, 1950. — №12. С.17.
7. Кастерин А.В. Расчетное определение остаточных напряжений при гидродробеструйном упрочнении. — Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1991. — 43 с. — Деп. в ВИНТИ 12.02.91, №717-В91.
8. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. — М.: Мир, 1989. — 510 с.
9. Саверин М.М. Дробеструйный наклеп. — М.: Машгиз, 1955. — 152 с.
10. The Shot Peneer, Electronics Incorporated, Fall 2004, Volume 18, р 6–12, р 14–16, р 30–34.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ РУЖЕЙНЫМИ СВЕРЛАМИ**

В.И. Гузеев, И.П. Дерябин, И.Н. Миронова

В машиностроении одними из самых трудоемких являются операции обработки глубоких и точных отверстий. Рационально для обработки таких отверстий использовать инструменты одностороннего резания (сверла, развертки и т.д.). При проектировании технологических операций обработки точных отверстий большое значение имеет прогнозирование точности обработки, которая неразрывно связана с конструктивными параметрами инструмента, применяемой оснастки и условиями работы инструмента на различных этапах формообразования поверхности отверстия.

При обработке ружейными сверлами вследствие одностороннего расположения режущей кромки в процессе обработки возникают неуравновешенные силы резания, что вызывает необходимость применения в момент врезания различных методов направления инструмента [1]:

- 1) направление по кондукторным втулкам;
- 2) направление по отверстию.

Наиболее предпочтительным методом направления инструмента из условия обеспечения наивысшей точности обработки является метод направления по кондукторной втулке, а при пониженных требованиях точности допускается направление инструмента по цилиндрическому или коническому отверстию, что легко осуществить на универсальном оборудовании. Вне зависимости от методов направления после вхождения кулачков в образующееся отверстие начинается процесс установившегося резания. В установившемся режиме положение режущих кромок будет определяться расположением кулачков на обработанной поверхности. Это связано с тем, что стыковая жесткость направляющих базирующих элементов (взаимодействие поверхности втулки с кулачком) как минимум на 1–2 порядка превосходит контактную жесткость режущего элемента (взаимодействие вершины режущего лезвия и заготовки), поэтому в моделях формирования погрешностей отверстий такими инструментами допустимо не учитывать силы резания, выглаживания, инерции и т.д., а только геометрические соотношения, отражающие смены баз инструмента в процессе обработки [1].

Рассмотрим случай, когда направление инструмента осуществляется по кондукторной втулке. В момент засверливания инструмент базируется под действием неуравновешенных сил резания в кондукторной втулке на кулачки В и С (рис. 1). При формообразовании в начальный момент, когда текущий угол поворота сверла  $\psi \leq \psi_1$  ( $\psi$  — текущий угол поворота инструмента,  $\psi_1$  — угол между калибрующим кулачком и режущей кромкой) кулачки скользят по поверхности кондукторной втулки, отслеживая её форму и расположение, а любая точка режущей кромки инструмента воспроизводит эту форму и расположение с некоторым приближением, то есть если форма кондукторной втулки близка к окружности, то и любая точка режущей кромки опишет окружность, но меньшего диаметра. Далее при  $\psi_1 < \psi \leq \psi_2$  ( $\psi_2$  — угол между упорным кулачком и режущей кромкой) направляющий кулачок В выходит с поверхности втулки и начинает скользить по обработанной поверхности, инструмент получает поперечное перемещение, а режущая кромка описывает некоторую линию. Затем на обработанную поверхность вступает и кулачок С (при  $\psi > \psi_2$ ). После полного вхождения кулачка С в отверстие начинается устойчивый процесс обработки: оба кулачка следуют за режущей кромкой и базируются по обработанной ею поверхности, которая представляет собой сочетание дуг окружностей.

Таким образом, расчет траектории движения режущей кромки ружейного сверла производится в три этапа.

Этап I. На рис. 1 кондукторная втулка изображена в виде окружности радиусом R, а ружейное сверло упрощенно показано в виде треугольника с вершинами А, В и С, где А — режущая кромка В, С — кулачки.

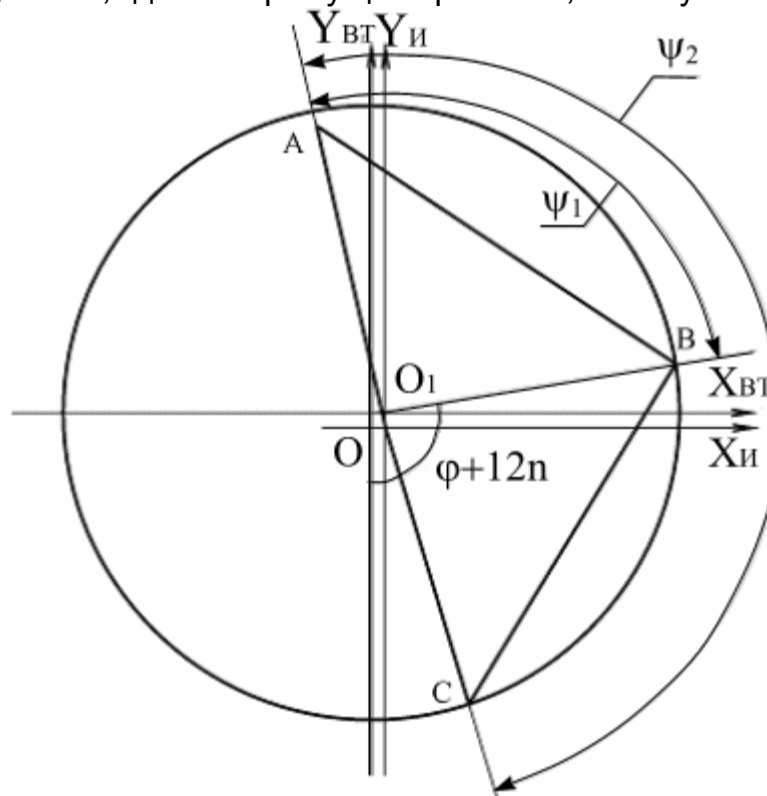


Рис. 1. Схема формообразования (этап I)

В начальный момент точки В и С расположены на поверхности кондукторной втулки, а точка А зависит от их положения. В начале обработки кулачки скользят по поверхности кондукторной втулки, а режущая кромка инструмента будет формировать обработанную поверхность. Координаты точек будем рассчитывать с определенным шагом.

Этап II. После того, как кулачок В выходит с поверхности втулки (рис. 2), под действием радиальной силы он начинает скользить по обработанной поверхности, определяемой координатами точки А. Кулачок С продолжает перемещаться по втулке, то есть по окружности.

Этап III. После того, как кулачок С выходит из втулки (рис.3), то под действием тех же радиальных сил кулачки В и С прижимаются к поверхности обработанного отверстия и скользят по ней. При этом положение точки А, то есть обрабатываемой поверхности, определяется положением точек В и С.

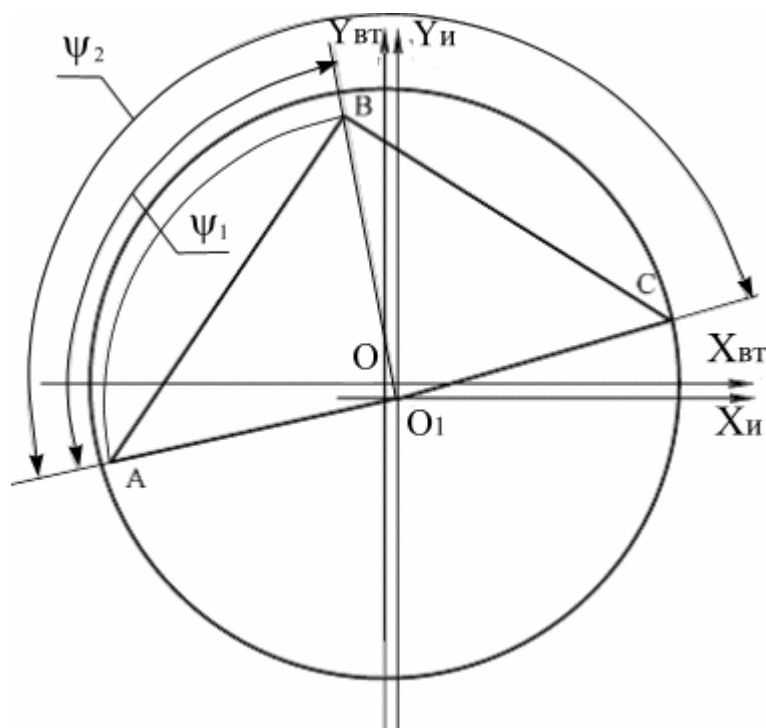


Рис. 2. Схема формообразования (этап II)

Положение кулачков В и С на обработанной поверхности зависит от главных углов в плане (рис. 4): режущего лезвия  $\varphi_A$ , упорного кулачка  $\varphi_B$  и калибрующего кулачка  $\varphi_C$ , а также от осевых отставаний  $\tau_1$  и  $\tau_2$  этих кулачков от режущего лезвия.

Таким образом, разработанная компьютерная модель позволяет вычислить координаты профиля обработанного отверстия, по которым легко определить параметры точности обработки, а именно точность диаметра и формы отверстия.

Были проведены компьютерные и натурные эксперименты, на рис. 5 показан профиль отверстия в продольном сечении — компьютерная модель и в поперечном сечении: компьютерная модель (рис. 6) и натурная модель (рис. 7).

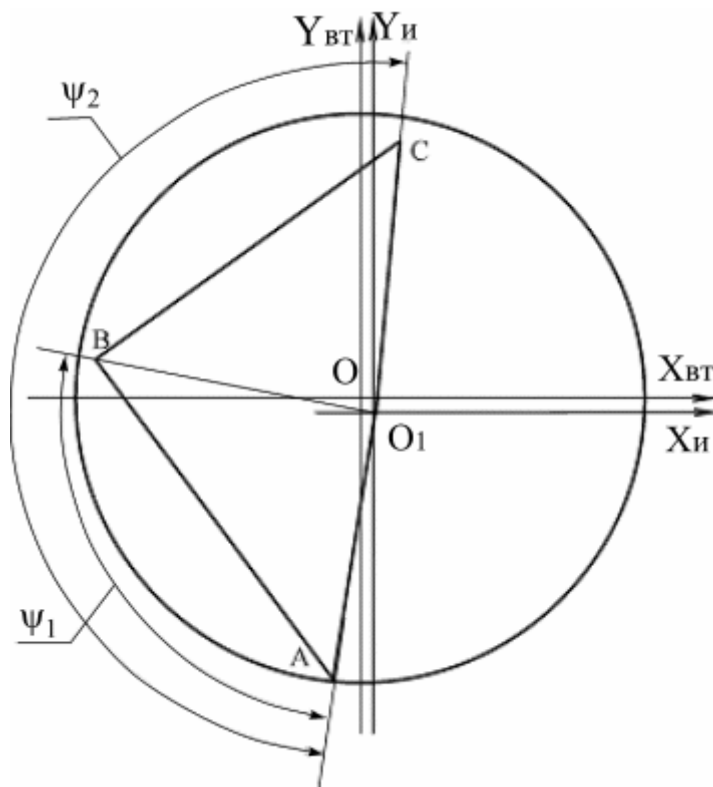


Рис. 3. Схема формообразования (этап III)

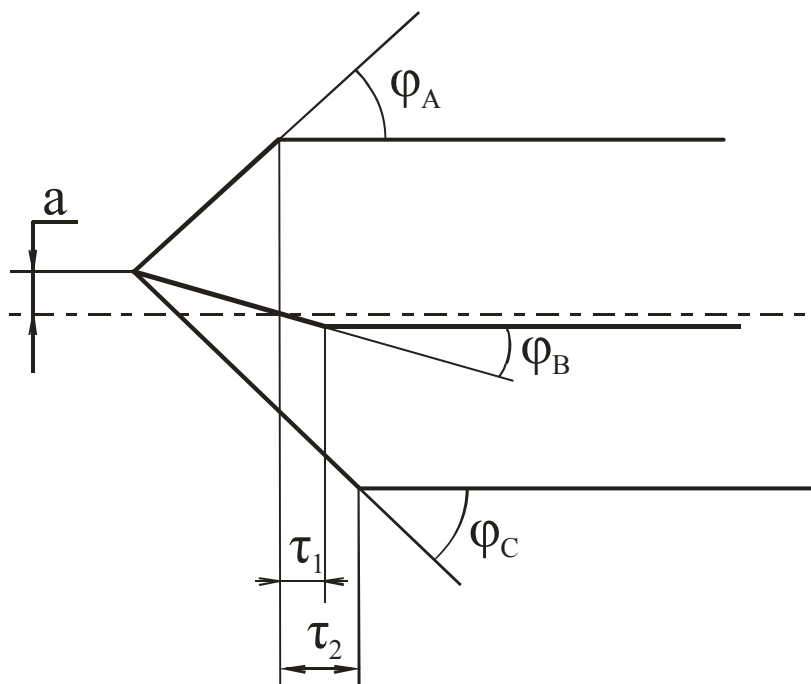


Рис. 4. Основные геометрические параметры сверла

При направлении инструмента по кондукторной втулке вследствие зазора между инструментом и кондукторной втулкой сначала формируется участок длиной  $t$  (см. рис. 5), диаметром меньше диаметра кондукторной втулки. В процессе последующей обработки участок длиной  $t$  является направляющей поверхностью для следующего участка длиной  $t_1$ , диаметр которого будет больше диаметра инструмента.

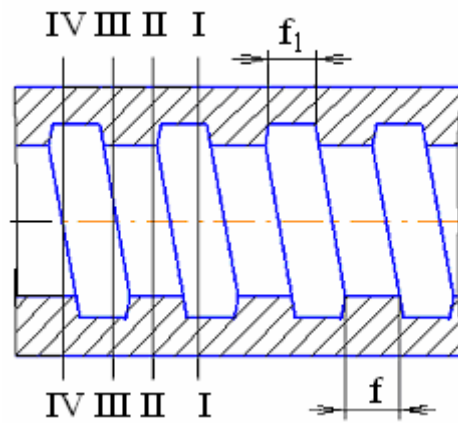


Рис. 5. Схема профиля отверстия в продольном сечении

С учетом подачи  $S$  инструмента в результате образуется винтовая линия из кольцевых канавок различных диаметров. Из-за винтового положения канавок в поперечных сечениях образуется различный профиль отверстия. Если поперечное сечение попадает на участок I-I или II-II, то в сечении будет поверхность, близкая к окружности (рис. 6,а и 7,а), на участках III-III и IV-IV в сечении будет поверхность, состоящая из нескольких дуг окружностей (рис. 6,б и 7,б). Для определения точности диаметрального размера и формы поверхности отверстия в сечениях необходимо построить вписанные окружности.

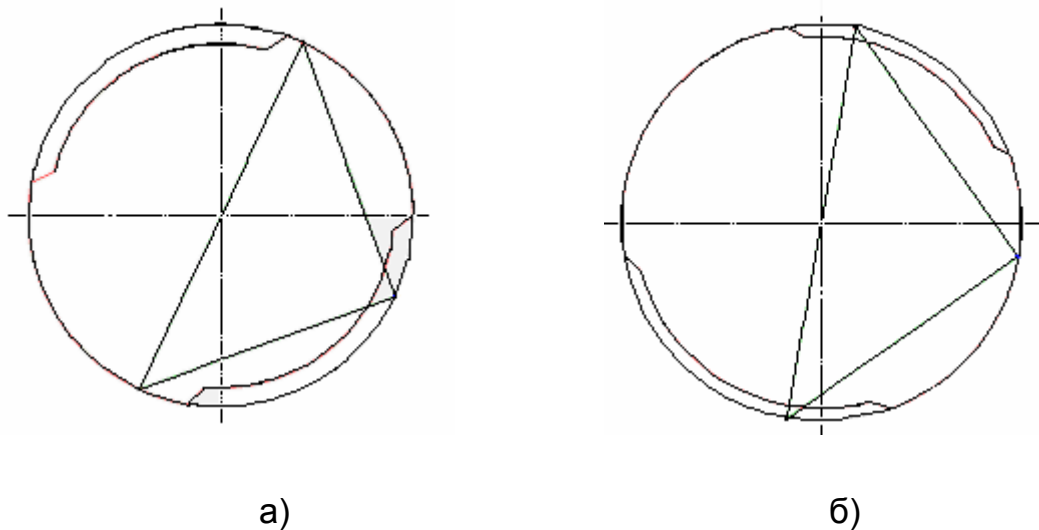


Рис. 6. Профили отверстия в поперечном сечении, компьютерный эксперимент

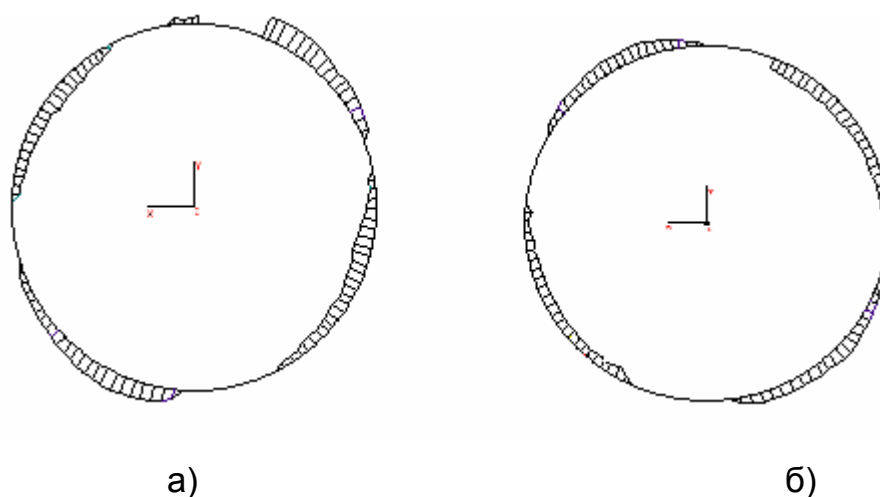


Рис. 7. Профили отверстия в поперечном сечении, натурный эксперимент (координатно-измерительная машина)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лакирев С.Г., Хилькевич Я.М. Вибрационная механика процессов формообразования отверстий вращающимися инструментами. — Челябинск: ЧГТУ, 1993. — 164 с.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Гузев В.И., Дерябин И.П.

При проектировании технологических процессов (ТП) механической обработки деталей одной из ключевых задач является назначение параметров точности или допусков на операционные размеры, форму и пространственные отклонения поверхностей. Особенно актуальна эта проблема при решении задач размерного анализа ТП, где величины допусков не только размеров, но и пространственных отклонений (например, увода оси отверстия) участвуют в расчетах размерных цепей. Поэтому возможность иметь надежные методы прогноза параметров точности может значительно повысить достоверность результатов проектных работ. Актуальна эта проблема также и в САПР ТП, так как эти системы дают основной эффект в снижении времени проектирования ТП, однако в технологической подготовке производства (ТПП) этот эффект может быть значительно меньшим. Особенно часто это наблюдается при проектировании ТП обработки деталей с такими распространенными поверхностями как точные отверстия. Дело в том, что после проектирования ТП идет довольно сложный и иногда длительный этап его отладки в производстве. А в связи с низкой надежностью прогнозов точности, многие параметры ТП приходится уточнять в производстве из-за точностных отказов (или брака).

В настоящее время основным источником для назначения параметров точности на операции обработки поверхностей являются различные справочники, данные в которых являются среднестатистическими. Так для опе-



раций обработки отверстий в них указываются допуски на размер, форму и увод оси для различных методов обработки с указанием типа оборудования и оснастки (в основном это обработка по кондуктору или без него). Однако известно из практики и многих исследований, что на точность обработки отверстий концевыми мерными инструментами (КМИ) значительное влияние оказывают такие параметры процесса обработки, как режимы резания (особенно подача), геометрия и точность изготовления инструмента, точность оборудования, марка обрабатываемого материала и др. Поскольку в справочных данных по точности обработки эти параметры не указаны, то технологи зачастую назначают их, исходя из других соображений: производительности, стойкости инструмента, возможностей оборудования и др. Поэтому в процессе отладки ТП заданная по справочным данным точность может быть не обеспечена, и многие параметры технологических операций и переходов приходится уточнять. В связи с этим возникает необходимость создания справочных данных по точности обработки, которые бы включали не только методы, но другие основные параметры процесса обработки. Такие данные можно получить не только на основе натуральных экспериментов, что крайне трудоемко и даже невозможно, но и на основе проведения компьютерных экспериментов, для чего необходимы математические модели расчета точности обработки.

Наиболее полно процессы обработки отверстий могут быть описаны моделями, представляющими собой системы дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом. Существенная нелинейность таких моделей и крайнее разнообразие видов отклонений от симметрии инструментов для обработки отверстий приводит к неосуществимости непосредственного компьютерного моделирования на динамическом уровне рассмотрения. Уже сам вид типичных одномассовых динамических моделей многолезвийных инструментов с двумя степенями подвижности (рис. 1) показывает, что устойчивость тривиальных статических решений не может иметь места при любых режимах обработки и любых параметрах системы:

$$\begin{cases} mY''(t) + JY(t) = -\sum_i Pr_i \cos \psi_i - \sum_i P\tau_i \sin \psi_i; \\ mX''(t) + JX(t) = -\sum_i Pr_i \sin \psi_i + \sum_i P\tau_i \cos \psi_i, \end{cases} \quad (1)$$

где:  $m$  – приведенная масса;  $J$  – жесткость инструмента;  $\psi_i$  – текущий угол поворота  $i$ -го лезвия;  $Pr_i$  – радиальная сила на лезвиях;  $P\tau_i$  – тангенциальная сила на лезвиях;  $i$  – номер лезвия инструмента;  $t$  – время;  $X$  и  $Y$  – координаты центра инструмента.

В работе [1] показана возможность моделирования низкочастотных колебаний инструмента (статические модели), частота которых сравнима с частотой его вращения, отдельно от высокочастотных динамических его колебаний. То есть разделением высокочастотных и низкочастотных колебаний удастся получить простые функциональные модели с запаздывающим аргументом не содержащие дифференциалов и описывающие процессы обработки отверстий на квазистатическом и кинематическом уровнях. Простота моделирования на этих уровнях позволяет рассматривать необ-

ходимое большое количество разнообразных моделей, учитывающих все возможные факторы и сценарии образования погрешностей обработки, и выявлять их основные механизмы. Сами по себе количественные оценки параметров высокочастотных автоколебаний большого значения не имеют, кроме некоторого уточнения динамической части разбивки отверстий (в основном для многолезвийных инструментов).

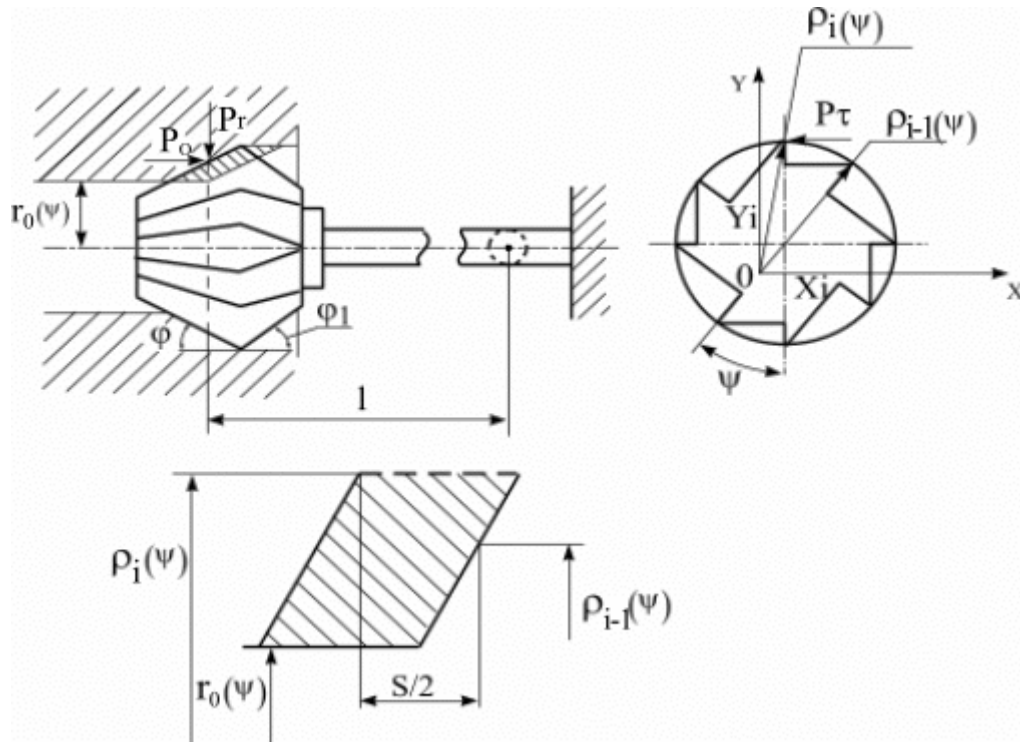


Рис. 1. Общая модель формообразования отверстий КМИ

Статические модели позволяют показать закономерности возникновения и накопления детерминированных погрешностей, обусловленные геометрической диссимметрией инструмента или заготовки и продольными колебаниями инструмента, возникающих из-за осевых биений шпинделя станка. Ниже приведена одна из статических моделей формообразования отверстия спиральными и перовыми сверлами (2). Траектория движения режущих кромок, а следовательно, и координаты (в полярной системе) полученной поверхности описываются уравнением с запаздывающим аргументом:

$$\rho(\Psi) = \frac{A + S \cdot 2 \cdot O_s \cdot \cos(n\Psi) \cdot (K_2' - K_1')}{C} + \frac{B}{C} \cdot \rho(\Psi - \pi), \quad (2)$$

где  $\rho(\psi)$  — текущий радиус-вектор вершины лезвия;

$$A = \tau \cdot S(K_2 - K_1) + \frac{S^2}{2}(K_2 - K_1) + D(-S \cdot K_2 \operatorname{ctg} \varphi_1 - S \cdot K_1 \operatorname{ctg} \varphi_2 + \\ + j \frac{\operatorname{ctg} \varphi_1 - \operatorname{ctg} \varphi_2}{2}) + (\ln + \tau) \left( \frac{\operatorname{ctg} \varphi_1}{\operatorname{ctg} \varphi_2} - 1 \right) K_2 \cdot S;$$

$S$  – подача;  $O_s$  - амплитуда осевых биений шпинделя станка;  $n$  — количество осевых биений шпинделя за один оборот;  $\psi$  — текущий угол поворота инструмента вокруг своей оси;  $K_1, K_2, K_1', K_2'$  — коэффициенты пропорциональности сил резания площадям срезаемых слоев,

$$B = S(K_1 \operatorname{ctg} \varphi_2 + K_2 \operatorname{ctg} \varphi_1), \quad C = S(-K_2 \operatorname{ctg} \varphi_1 - K_1 \operatorname{ctg} \varphi_2) + j(\operatorname{ctg} \varphi_1 - \operatorname{ctg} \varphi_2),$$

$\rho(\psi - \pi)$  — положение текущего радиус-вектора пол-оборота назад;  $\tau$  — осевые биения режущих кромок сверла;  $D$  — диаметр инструмента;  $l_n$  — длина заборного конуса;  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  — главные углы в плане режущих лезвий.

На основе таких моделей формообразования была разработана компьютерная система расчета точности обработки отверстий [2]. Эта система позволяет проводить вычислительные эксперименты с различными параметрами процесса обработки: подачи, углов заточки инструмента, марки материалов инструмента и детали, точности оборудования и др. В таблице приведен фрагмент результатов компьютерных экспериментов, где указаны величины уводов оси и разбивки (разность между диаметрами инструмента и обработанного отверстия) для различных значений подач и углов при вершине сверла.

Также были получены графики зависимости точности обработки от различных параметров технологической операции (рис. 2). По графикам можно определить характер и степень влияния различных факторов на параметры точности. На основании результатов исследований разработаны также рекомендации по назначению параметров операций для обеспечения точности обработки.

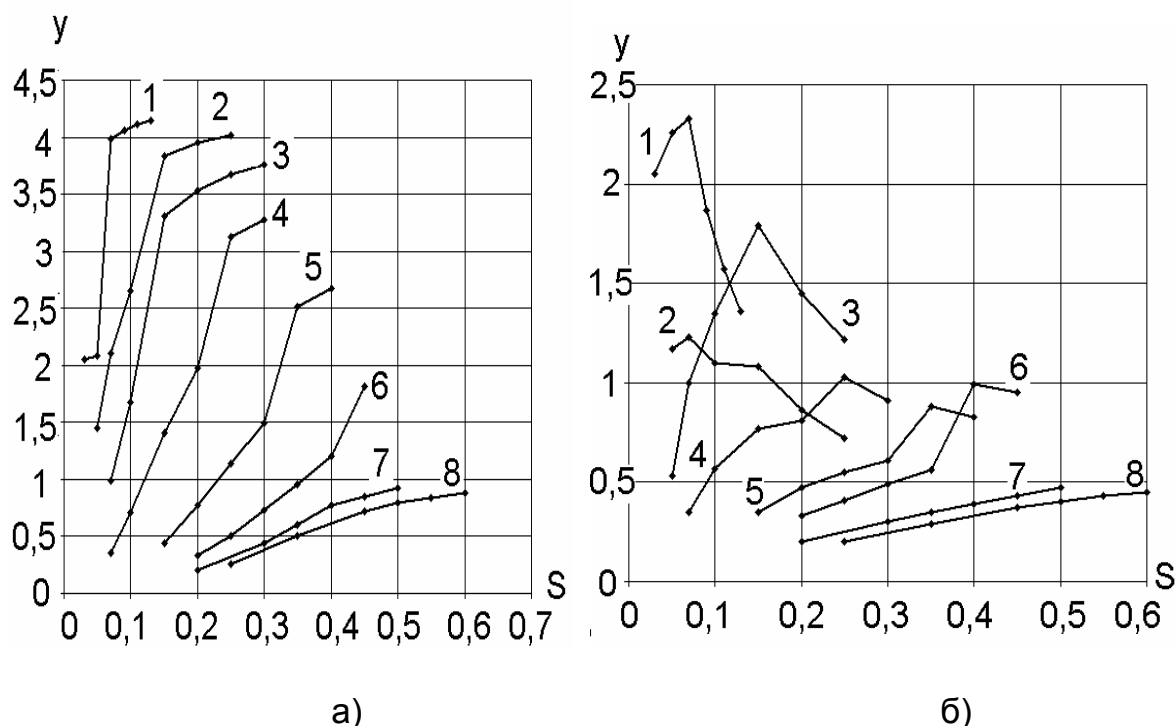


Рис. 2. Графики зависимости увода (на 100 мм длины) оси отверстия  $U$  от подачи  $S$  при сверлении (диаметры сверл: 1 – 3 мм; 2 – 5 мм; 3 – 7 мм; 4 – 10 мм; 5 – 15 мм; 6 – 20 мм; 7 – 25 мм; 8 – 30 мм) отверстий по кондукторной втулке на оборудовании: а) нормальной точности; б) повышенной точности.

Таблица

Диаметр сверла		Поддача		Углы при вершине сверла 2φ, град												Сверление спиральными сверлами			
				90		100		110		118		130		140				150	
				Увод	Раз-бивка	Увод	Раз-бивка	Увод	Раз-бивка	Увод	Раз-бивка	Увод	Раз-бивка	Увод	Раз-бивка			Увод	Раз-бивка
5	0,05	0,20	0,11	0,38	0,1	0,55	0,1	0,66	0,09	0,78	0,09	0,84	0,09	0,86	0,11				
	0,07	0,33	0,11	0,65	0,1	0,97	0,09	1,20	0,08	1,49	0,08	1,63	0,08	1,68	0,09				
	0,1	0,48	0,1	0,96	0,09	1,47	0,08	1,91	0,07	2,55	0,06	3,02	0,06	3,31	0,06				
	0,15	0,76	0,05	1,44	0,06	2,13	0,07	2,65	0,09	3,34	0,11	3,75	0,14	3,92	0,20				
	0,2	0,80	0,05	1,56	0,06	2,33	0,07	2,96	0,09	3,88	0,11	4,55	0,15	4,98	0,20				
0,25	0,83	0,05	1,63	0,06	2,47	0,08	3,18	0,09	4,28	0,12	5,16	0,15	5,87	0,20					
10	0,07	0,02	0,24	0,05	0,22	0,07	0,08	0,20	0,10	0,10	0,20	0,10	0,10	0,24					
	0,1	0,05	0,23	0,09	0,21	0,14	0,16	0,18	0,19	0,18	0,20	0,21	0,21	0,21					
	0,15	0,11	0,21	0,21	0,19	0,31	0,37	0,44	0,44	0,44	0,47	0,47	0,48	0,16					
	0,2	0,19	0,20	0,37	0,17	0,54	0,65	0,78	0,78	0,78	0,84	0,84	0,85	0,12					
	0,25	0,45	0,10	0,78	0,12	1,02	1,15	1,15	1,25	1,25	1,26	1,26	1,22	0,39					
0,3	0,49	0,10	0,88	0,12	1,18	1,35	1,35	1,48	1,48	1,49	1,49	1,45	0,39						
20	0,2	0,01	0,45	0,02	0,40	0,03	0,04	0,35	0,05	0,05	0,34	0,05	0,05	0,39					
	0,25	0,02	0,43	0,04	0,39	0,05	0,06	0,33	0,08	0,08	0,32	0,08	0,08	0,35					
	0,3	0,03	0,42	0,05	0,37	0,08	0,09	0,31	0,11	0,11	0,29	0,12	0,12	0,31					
	0,35	0,04	0,41	0,07	0,36	0,10	0,13	0,29	0,15	0,15	0,27	0,16	0,16	0,27					
	0,4	0,05	0,39	0,09	0,34	0,14	0,14	0,16	0,27	0,19	0,24	0,21	0,21	0,22					
0,45	0,15	0,20	0,24	0,24	0,29	0,29	0,32	0,34	0,33	0,43	0,34	0,33	0,33	0,74					

Разработанные таблицы могут быть использованы как справочные данные при проектировании ТП, размерном анализе, проектировании оснастки и др. При этом надежность прогноза точности обработки значительно повысится.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лакирев С.Г., Хилькевич Я.М., Дерябин И.П. Математическое моделирование технологических операций в САПР: Учебное пособие. — Ч.2. — Челябинск: ЧГТУ, 1993. — 99 с.

2. Лакирев С.Г., Хилькевич Я.М., Дерябин И.П. Методика компьютерного прогноза точности, диагностики и отладки операций обработки отверстий // Прогрессивные технологии в машиностроении. — Челябинск: ЧГТУ, 1996. — 8 с.

## РАСЧЕТ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

В.А. Батуев, И.В. Гузеев

Спиральное сверло работает в тяжелых условиях и испытывает большие напряжения, вызываемые силами резания, так как в срезании стружки принимают участие два главных лезвия и перемычка (поперечная режущая кромка). На каждой из трех режущих кромок действует сила резания, которую можно разложить на три взаимно перпендикулярные составляющие. Силу резания, действующую на первом главном лезвии, разложим на силу  $P_Z^1$ , касательную к окружности, на которой расположена рассматриваемая точка лезвия, на силу  $P_Y^1$ , проходящую через ось сверла, и на силу  $P_X^1$ , параллельную оси сверла. На втором главном лезвии действует аналогичная система сил  $P_Z^2$ ,  $P_Y^2$ ,  $P_X^2$ . Сила резания, действующая на половине поперечной режущей кромки, также может быть разложена на три силы  $P_{Zп}^1$ ,  $P_{Yп}^1$ ,  $P_{Xп}^1$ .

В идеальном случае силы  $P_Z^1 = P_Z^2$ ,  $P_Y^1 = P_Y^2$ ,  $P_X^1 = P_X^2$ ,  $P_{Zп}^1 = P_{Zп}^2$ ,  $P_{Yп}^1 = P_{Yп}^2$ ,  $P_{Xп}^1 = P_{Xп}^2$ , причем силы  $P_Y$ , направленные навстречу друг другу, теоретически должны уравновешиваться. Однако, вследствие неточности заточки сверла (неодинаковой величине углов в плане  $\phi$ , длин главных лезвий, смещения перемычки и осевого сдвига лезвий) все перечисленные выше соотношения не выполняются. Поэтому появляется равнодействующая сила, которая вызывает напряжения изгиба сверла и влияет на точность размеров и формы обрабатываемого отверстия. Под действием этой силы происходит «разбивание» отверстия (увеличение диаметра отверстия по сравнению с диаметром сверла) и увод сверла от геометрической оси отверстия.

Для описания и исследования процесса формообразования отверстий необходима разработка математических зависимостей для расчета сил ре-

зания адекватно отражающих силовые взаимодействия инструмента и детали.

Силовые зависимости для процесса сверления, основанные на расчете площади срезаемого слоя с экспериментальным определением удельной силы резания, носят частный и приближенный характер, так как они не отражают связь сил резания с такими изменяющимися параметрами как кинематический передний угол, скорость резания, толщина срезаемого слоя. Кроме того, такие зависимости не учитывают влияние переменности величины износа вдоль режущих кромок на составляющие силы резания. Также с их помощью невозможно исследовать влияние геометрических неточностей заточки режущих кромок сверла на процесс формообразования отверстия.

Все эти недостатки могут быть устранены в аналитических зависимостях, отражающих особенности многовариантных способов и погрешностей заточки сверла, а также условий обработки во всем диапазоне варьирования переменных, влияющих на силы резания.

Как было отмечено выше, при сверлении в работе участвуют различные режущие кромки. Кроме этого, процесс стружкообразования протекает при переменных скоростях главного движения резания. Поэтому для аналитического расчета сил резания целесообразно рассматривать любую режущую кромку не как непрерывную линию, а как последовательность участков, имеющих неодинаковые геометрические параметры и условия резания.

В процессе стружкообразования, возникшие при пластической деформации напряжения действуют вдоль линии сдвига. Положение линии сдвига характеризуется углом сдвига  $\beta_1$ . Угол  $\beta_1$  связан с коэффициентом утолщения стружки  $K_a$  зависимостью, которая имеет вид:

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{\cos\gamma}{K_a - \sin\gamma},$$

где  $\gamma$  — передний угол инструмента.

В теории резания металлов нет методов аналитического определения коэффициента утолщения стружки, поэтому его численные значения устанавливаются экспериментальным путем применительно к конкретным условиям обработки. Исследуя влияние скорости резания, толщины среза, переднего угла режущего инструмента, механических и физических свойств обрабатываемого материала и других факторов на коэффициент утолщения стружки, авторами [1] было получено обобщенное степенное уравнение для определения коэффициента утолщения стружки  $K_a$ :

$$K_a = C \cdot a^x \cdot V^y,$$

где  $a$  — толщина среза;  $V$  — скорость главного движения резания;  $C$ ,  $x$ ,  $y$  — коэффициенты, зависящие от обрабатываемого материала и переднего угла инструмента.

Данное уравнение целесообразно применять для определения угла сдвига  $\beta_1$  при сверлении, который изменяется вдоль режущих кромок, уча-

стки которых имеют переменные передний угол, толщину среза и скорость резания.

Для расчета составляющих силы резания, действующих на элементарном участке  $dL$  режущих кромок сверла разработаны следующие зависимости:

$$dP_z = \frac{1,15 \cdot \sigma_i \cdot \cos \beta}{\sin \beta_1} \cdot a \cdot dL + 0,252 \cdot \sigma_i \cdot \mu \cdot l_3 \cdot dL;$$

$$dP_x = \left( \frac{1,15 \cdot \sigma_i \cdot \sin \beta}{\sin \beta_1} \cdot a \cdot dL + 0,252 \cdot \sigma_i \cdot l_3 \cdot dL \right) \cdot \sin \varphi;$$

$$dP_y = \left( \frac{1,15 \cdot \sigma_i \cdot \sin \beta}{\sin \beta_1} \cdot a \cdot dL + 0,252 \cdot \sigma_i \cdot l_3 \cdot dL \right) \cdot \cos \varphi,$$

где  $\sigma_i$  — интенсивность напряжений в движущемся объеме деформируемого металла;  $\beta$  — угол действия (угол между линией среза и направлением равнодействующей среза);  $\mu$  — коэффициент трения;  $l_3$  — величина фаски затупления.

Данные зависимости устанавливают функциональную взаимосвязь между составляющими силы резания с элементами режимов резания, геометрическими параметрами зоны резания, физико-механическими свойствами обрабатываемого материала и степенью износа режущей кромки. Силовые зависимости также позволяют учитывать изменяющиеся условия стружкообразования (толщина среза, кинематический передний угол, скорость резания и т.д.) вдоль разных режущих кромок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Палк К.И., Переломов Н.Г., Свинин В.М. Расчет силы резания при работе концевыми сфероцилиндрическими фрезами // Труды ЛПИ. — 1980. — №368. — С.71–76.

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ЧИСТОВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ**

Батуев В.В.

Для проектирования операций механической обработки пространственно-сложных поверхностей на фрезерных станках с ЧПУ в настоящее время используются САМ системы. Они служат для расчета траекторий движения инструмента и создания управляющих программ. Движение инструмента задается с помощью стратегий обработки — набора стандартных траекторий для обработки типовых поверхностей, таких как сфера, уступ, плоскость

и т.д. В свою очередь стратегии обработки корректируются при помощи специальных параметров, определяющих направление движения инструмента относительно обрабатываемой поверхности. Например, можно задать направление движения инструмента поперек, вдоль или под углом к обрабатываемой поверхности. При этом в зависимости от направления движения инструмента и углов наклона обрабатываемой поверхности будут различные длины путей рабочих и холостых перемещений инструмента.

Существует несколько вариантов обработки пространственно-сложных поверхностей. Один из них предусматривает первоначальную черновую обработку, с послойной выборкой металла. В этом случае осуществляется снятие напуска слоями с определенной шириной слоя. Последующая чистовая обработка заключается в снятии ступенчатого припуска, оставшегося после черновой обработки. В данном случае направление движения инструмента можно задать поперек, вдоль или под углом к ступенькам. На рис. 1 представлена схема перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности, имеющей ступенчатый припуск.

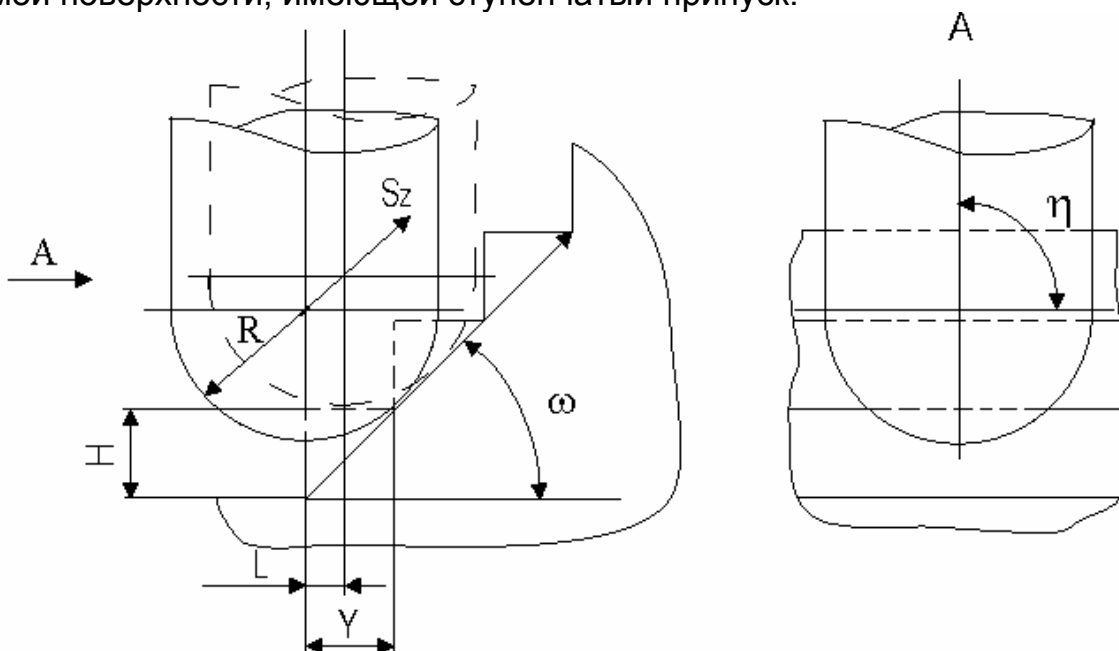


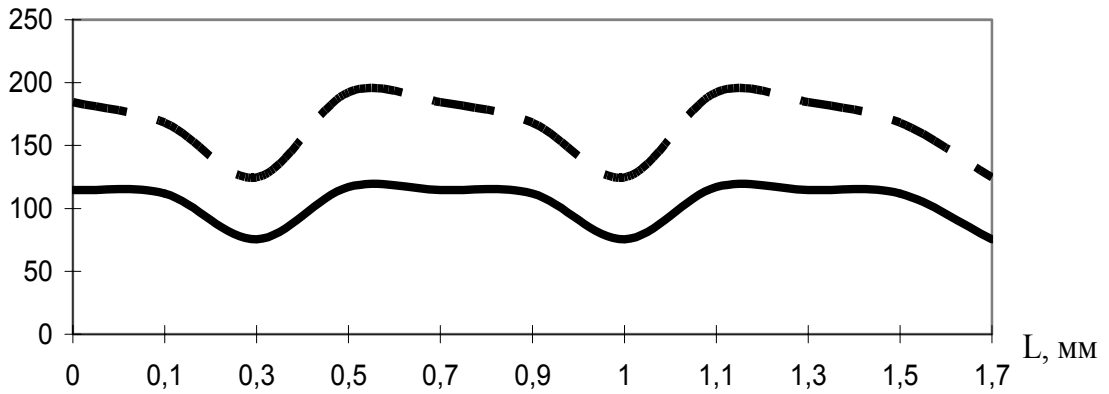
Рис. 1. Схема перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности:

- $\omega$  — угол наклона обрабатываемой поверхности в направлении подачи;
- $\eta$  — угол наклона обрабатываемой поверхности перпендикулярный направлению подачи;  $R$  — радиус фрезы;  $H$  — высота ступеньки;  $Y$  — длина ступеньки;
- $L$  — путь, пройденный инструментом;  $S_z$  — подача.

Процесс фрезерования пространственно-сложных поверхностей связан с непрерывным изменением величины и положения активной части режущей кромки. Следовательно, будет иметь место изменение направления и величины силы резания и погрешности размера динамической настройки (отклонения запрограммированной траектории движения инструмента от реальной в направлении нормали к обрабатываемой поверхности). На рис. 2 показаны графики изменения силы резания  $P_\Sigma$  и погрешности дина-

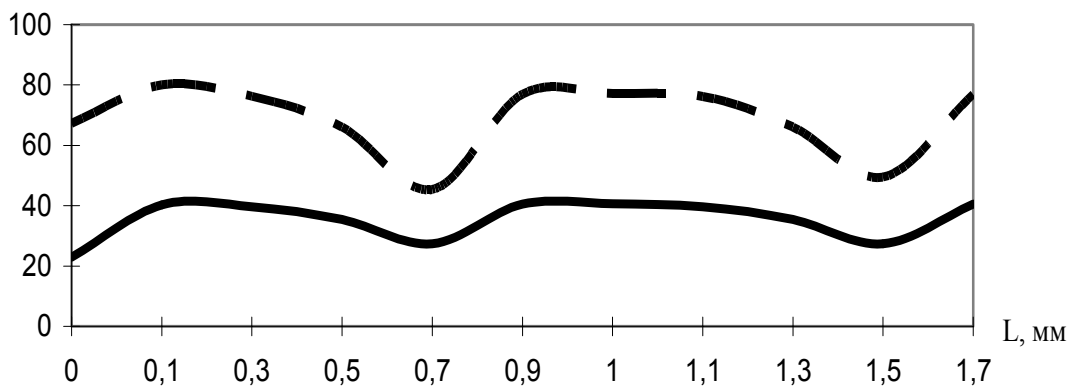


$P\Sigma, H / \Delta N, \text{ мкм}$



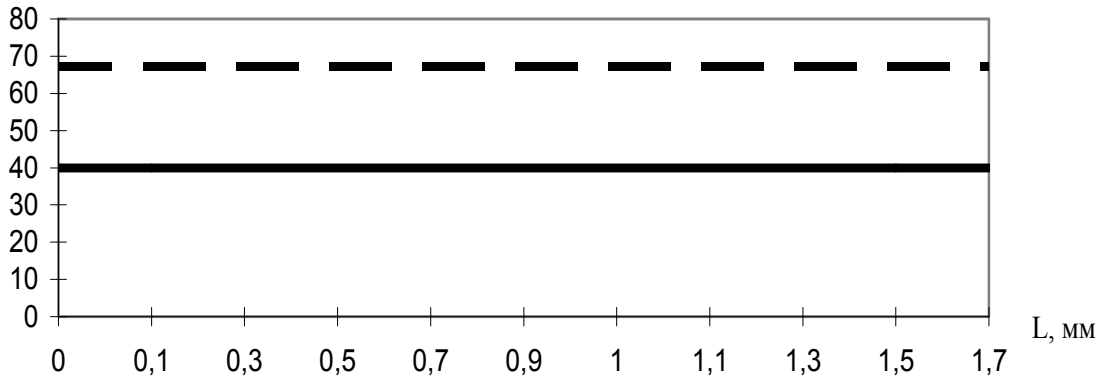
а)

$P\Sigma, H / \Delta N, \text{ мкм}$



б)

$P\Sigma, H / \Delta N, \text{ мкм}$



в)

Рис. 2. Графики изменения силы резания и погрешности динамической настройки при фрезеровании поверхности, имеющей ступенчатый припуск: а) поперек ступенек; б) под углом 45 градусов к ступенькам; в) вдоль ступенек;

мической настройки  $\Delta N$  при фрезеровании поверхности, имеющей ступенчатый припуск в направлениях: рис. 2,а — поперек ступенек, рис. 2,б — под углом 45 градусов к ступенькам и рис. 2,в — вдоль ступенек. Силы резания и погрешность размера динамической настройки рассчитаны для обработки

поверхности с углом наклона в направлении подачи  $\omega = 60$  градусов, высотой ступеньки  $H = 1$  мм, радиусом фрезы  $R = 6$  мм и подачей  $S_z = 0,1$  мм/зуб.

На графиках видно, что при обработке пространственно-сложной поверхности, имеющей ступенчатый припуск, происходит периодичное изменение силы резания и погрешности размера динамической настройки.

Это связано с неравномерностью ступенчатого припуска. Изменение направления движения инструмента приводит к изменению таких геометрических параметров как угол наклона обрабатываемой поверхности в направлении подачи  $\omega$ , угол наклона обрабатываемой поверхности перпендикулярный направлению подачи  $\eta$  и длина ступеньки  $Y$ . Следствием этого является изменение величины, направления и фазы колебания силы резания. Фрезерование поверхности поперек ступенек приводит к появлению наибольшей силы резания и как следствие к наибольшей погрешности размера динамической настройки. При фрезеровании поверхности под углом  $45$  градусов к ступенькам наблюдается значительное уменьшение силы резания (примерно в 3 раза) и погрешности размера динамической настройки. При фрезеровании поверхности вдоль ступенек происходит наименьшее колебание силы резания и погрешности размера динамической настройки. Наиболее благоприятным с точки зрения точности и стабильности процесса резания является случай обработки вдоль ступенек, но при обработке некоторых пространственно — сложных поверхностей не всегда целесообразно использовать данное направление движения инструмента из-за появления лишних рабочих и холостых перемещений.

Просчитав варианты различных сочетаний стратегий обработки с направлениями движения инструмента и режимами резания при обеспечении заданной точности, можно выбрать вариант, обеспечивающий наибольшую производительность.

## **ОСОБЕННОСТИ ВИЗУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ВУЗА В РАМКАХ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА В ПОНИМАНИИ СЕРИИ СТАНДАРТОВ ISO 9000:2000**

П.П. Переверзев

Улучшение деятельности современных вузов требует разработки новых технологий и приемов ведения образовательной деятельности, повышения качества конечных результатов деятельности и, конечно, внедрения новых, более эффективных методов управления и организации деятельности вуза.

Ректору вуза и другим руководителям верхнего уровня хорошо известно, как работает вуз в целом. Но они не в состоянии детально знать специфику и особенности деятельности не только профессорско-преподавательского состава, но и научных сотрудников, программистов, сотрудников финансовых и хозяйственных служб и др. И наоборот, рядовой сотрудник хорошо знает свои обязанности, но плохо разбирается в том, как работают его коллеги в других подразделениях, а также вуз в целом. Для проведения анализа деятельности вуза необходимо объединить знания множества людей в одно целое, то есть необходимо создать модель деятельности вуза.

Модель позволяет провести всесторонний анализ объекта. Взглянуть на процессы вуза со всех точек зрения, и увидеть то, что, возможно, не видят все работники предприятия, в том числе и руководство. Анализ вуза в виде функциональной графической модели представляет собой удобный способ ответа на вопрос, что необходимо и достаточно ввести в модель для достижения конкретной поставленной цели. Только при наличии модели вуза, всех его бизнес-процессов, сориентированных на конкретную цель (внедрение системы менеджмента качества, реинжиниринг процессов), возникает реальная возможность их совершенствования.

Для решения подобных задач при моделировании сложных систем существуют хорошо известные и обкатанные методологии и стандарты. К таким стандартам относятся методологии семейства IDEF (INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELING), которые представляют собой методологию функционального моделирования, в основе которой лежит представление любой изучаемой и (или) описываемой системы в виде набора взаимодействующих и взаимосвязанных блоков, отображающих процессы, операции, действия.

В настоящее время к семейству IDEF можно отнести следующие наиболее распространенные стандарты:

- IDEF0 -- Function Modeling -- методология функционального моделирования. С помощью наглядного графического языка IDEF0, изучаемая система предстает перед разработчиками и аналитиками в виде набора взаимосвязанных функций (функциональных блоков - в терминах IDEF0). Как правило, моделирование средствами IDEF0 является первым этапом изучения любой системы;

- IDEF3 -- Process Description Capture – методология документирования процессов, происходящих в системе, которая используется, например, при исследовании технологических процессов на предприятиях. С помощью IDEF3 описываются сценарий и последовательность операций для каждого процесса. IDEF3 имеет прямую взаимосвязь с методологией IDEF0, в которой каждая функция (функциональный блок) может быть представлена в виде отдельного процесса средствами IDEF3;

- DFD -- "Data flow diagram", "диаграммы потоков данных" -- широко распространенная методология моделирования процессов. Диаграмма DFD показывает: внешние по отношению к системе адресаты и адресанты данных; идентифицирует логические функции (процессы) и группы элементов данных, связывающие одну функцию с другой (потоки); идентифицирует накопители (хранилища) данных, к которым осуществляется доступ. С их помощью система разбивается на функциональные компоненты (процессы) и представляется в виде сети, связанной потоками данных.

В последние годы семейство методологий IDEF получило дальнейшее распространение, став полноценной системой разработки систем управления, от концепции проекта до создания кода программного продукта, выполняющего определенные на концептуальном уровне задачи.

Для целей внедрения системы менеджмента качества, на начальных этапах вполне достаточно использовать две нотации: IDEF0 и IDEF3. С по-

мощью IDEF3 описываются сценарий и последовательность операций для каждого процесса. IDEF3 имеет прямую взаимосвязь с методологией IDEF0

Автоматизация бизнес-моделирования поддерживается CASE-средствами:

1. CASE (Computer Aided System Engineering) -- Технология автоматизированной разработки систем.

2. CASE (Computer Aided Software Engineering) -- Технология автоматизированной разработки программного обеспечения

Наиболее распространенным CASE-средством, является пакет BPwin компании Computer Associates - ведущий инструмент визуального моделирования бизнес-процессов. Полное название BPwin: AllFusion Process Modeler. Этот пакет дает возможность наглядно представить любую деятельность или структуру в виде модели, что позволит оптимизировать работу организации, проверить ее на соответствие стандартам ISO9000, спроектировать организационную структуру, снизить издержки, исключить ненужные операции, повысить гибкость и эффективность. BPwin поддерживает три нотации моделирования: IDEF0, IDEF3 и DFD.

Блоки в IDEF0 модели представляются в соответствии с рис. 1. С их помощью можно эффективно отображать и анализировать модели деятельности широкого спектра сложных систем в различных разрезах (рис. 2). При этом ширина и глубина обследования процессов в системе определяется самим разработчиком, что позволяет не перегружать создаваемую модель излишними данными.

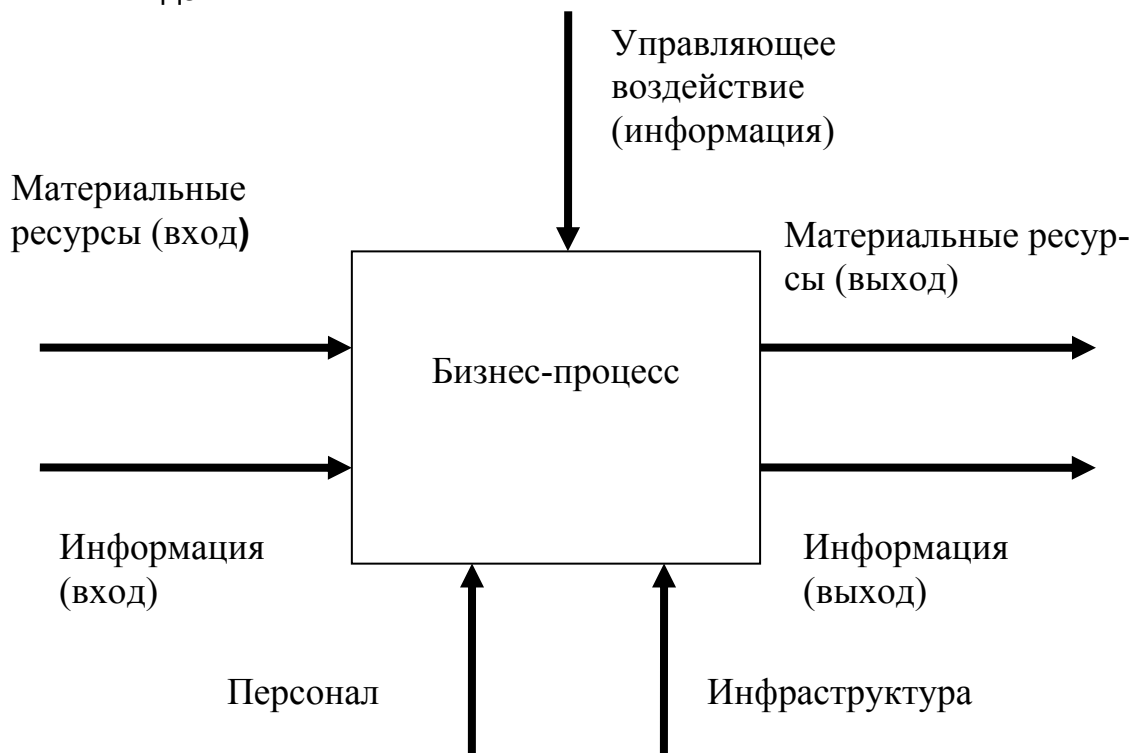


Рис. 1. Функциональный блок IDEF0-диаграммы

BPwin поддерживает три нотации моделирования: IDEF0, IDEF3 и DFD. Полное название BPwin: AllFusion Process Modeler. Этот пакет дает воз-

возможность наглядно представить любую деятельность или структуру в виде модели, что позволит оптимизировать работу организации, проверить ее на соответствие стандартам ISO9000, снизить издержки, исключить ненужные операции, повысить гибкость и эффективность.

Стандарт ISO 9000:2000 (и последующие серии) устанавливает требования к системе менеджмента качества (СМК) на базе процессного подхода и его можно применить в любой сфере деятельности, в том числе к управлению деятельностью вуза (рис. 2). Основанная на процессном подходе модель СМК представляет собой так называемый цикл управления PDCA, который включает четыре шага:

- планирование процесса (Plan);
- выполнение процесса (Do);
- анализ показателей эффективности процесса (Check);
- корректировка процесса (Act).

В соответствии со стандартом, цикл PDCA должен быть построен с учетом следующих требований:

1. Поскольку количество уровней системы управления вузом зависит от количества уровней вложенности процессов, то на первом уровне управленческие решения принимает ректор вуза («первое лицо»). На втором уровне - владелец процесса (проректор). На третьем и последующих уровнях – владельцы процессов низших уровней (деканы, заведующие кафедрами и т.д.)

2. Цикл PDCA должен иметь регламентированные обратные связи.

3. Все этапы цикла PDCA должны быть регламентированы.

4. Для проведения анализа в цикле PDCA необходимо обязательно использовать четыре потока информации: а) показатели процесса; б) показатели продукта; в) показатели удовлетворенности потребителя; г) показатели результатов аудитов процессов.

5. Для каждого показателя необходимо четко определить методики сбора, обработки информации, границы показателей для нормального хода процесса и критерии для принятия корректирующих действий.

6. Управленческое решение об изменении регламентов или ресурсов должно приниматься на основании строгих фактов.

7. Для каждого процесса необходимо обязательно назначить владельцев процессов, которые управляют процессами, отвечают за их результативность и обладают необходимыми ресурсами и полномочиями.

8. Взаимодействие владельцев процессов строго определено и формализовано.

9. Принцип PDCA необходимо тиражировать на нижние уровни управления.

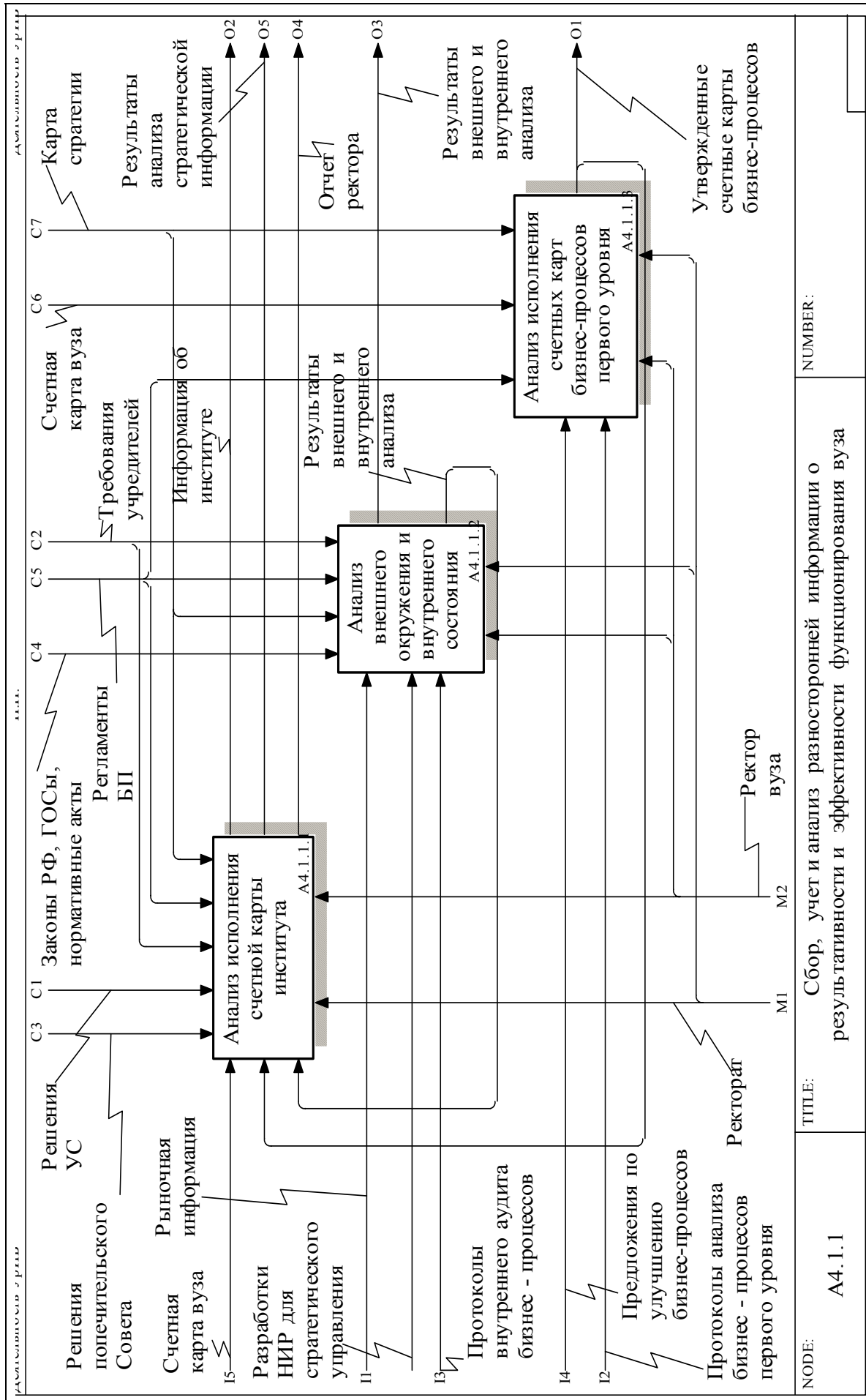


Рис. 2. Фрагмент графической модели деятельности вуза в нотации IDEF0

10. Модель бизнес-процесса вуза должна включать следующую информацию:

- входы и поставщики процесса;
- выходы и клиенты процесса;
- ресурсы (персонал, оборудование, информация, среда);
- технология выполнения процесса;
- все этапы цикла управления;
- контрольные точки для измерения показателей;
- возможные отклонения от нормального хода процесса;
- показатели процесса, продукта и данные удовлетворенности клиентов;
- участие руководителя.

Разработка графической модели деятельности вуза представляет собой сложную задачу, т.к. требует специального обучения сотрудников группы внедрения технике создания графических диаграмм для проведения последующего, сложного и длительного этапа разработки графической модели, путем обобщения всей информации о деятельности вуза и ее адекватный учет в множестве диаграмм декомпозиции процессов вуза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Елиферов В.Г., Репин В.В. Бизнес-процессы: Регламентация и управление: Учебник. — М: ИНФРА-М, 2004. — 319 с.
2. Левшина В.В., Бука Э.С. Формирование системы менеджмента качества вуза: Монография. — Красноярск: СибГТУ, 2004. — 324 с.
3. Маклаков С.В. Моделирование бизнес-процессов с AllFussion Process Modeler (BPWin 4.1). — М.: ДИАЛОГ\_МИФИ, 2003. — 240 с.
4. Марка Д.А., МакГоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования. — М.: "МетаТехнология", 1993. — 220 с.
5. Методология функционального моделирования IDEF0: Руководящий документ. — М.: Госстандарт России, 2000. — 75 с.
6. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. — М.: РИА "Стандарты и качество", 2004. — 408 с.

#### **ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ-СПУТНИКИ В СТРУКТУРЕ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Ю.И. Мясников, Г.И. Карпенко

В настоящее время машиностроительная продукция (автомобили, станки, приборы и др.) изготавливается серийно в условиях гибкого автоматизированного производства и характеризуется частой сменой номенклатуры. Детали такой продукции изготавливаются, в основном, на металлорежущих станках. Для изготовления деталей в условиях гибкого и часто перестраиваемого производства необходима (рис. 1) переналаживаемая технологическая оснастка (ТО):

- переналаживаемые станочные приспособления;

- быстро настраиваемая и переналаживаемая инструментальная оснастка (режущие и вспомогательные инструменты);
- переналаживаемые и быстро настраиваемые средства измерения и контроля;
- и другие.



Рис. 1. Состав технологической оснастки металлорежущих станков

Станочные приспособления используются при обработке деталей резанием на металлорежущих станках практически во всех отраслях современного производства – машиностроении, приборостроении, авиастроении и других. Они предназначены для базирования и закрепления заготовок (Зг) на металлорежущих станках и являются наиболее многочисленной и сложной частью технологических приспособлений, используемых в структуре технологической оснастки металлорежущих станков.

Особенности СП связаны с выполнением различных функций в структуре технологической системы и технологического процесса, с обработкой деталей на настроенных станках, со структурой функциональных частей СП и других.

В связи с частой сменой номенклатуры изделий и перестройкой производства необходимо использовать переналаживаемые станочные приспособления (П\_СП), которые обеспечивают гибкость современного производства. По функциональному назначению П\_СП различаются как стационарные и приспособления-спутники. Примеры схем таких приспособлений приведены на рис. 2 и рис. 3.

В стационарных П\_СП (см. рис. 2,а и рис. 3,а) заготовки (Зг) устанавливаются (базируются и закрепляются) в предварительно настроенных на станках приспособлениях (СП). В приспособлениях-спутниках (см. рис.2,б и рис. 3,б) заготовки (Зг) вначале устанавливаются (базируются и закрепляются) в приспособлениях (СП) вне станка, образуя подсистемы «СП+Зг». Эти подсистемы устанавливаются в шпиндель или на стол (паллету) станка.

В структуре (рис. 4) технологической системы «станок–приспособление–инструмент–деталь» (а) функции стационарных приспособлений и приспособлений-спутников значительно различаются. Применение стационарных приспособлений (б) характеризуется тем, что установка заготовки в СП представляет встраивание ее в систему «станок–приспособление–инструмент». При использовании приспособлений-спутников (в) в систему «станок–инструмент» встраивается подсистема «приспособление–деталь».



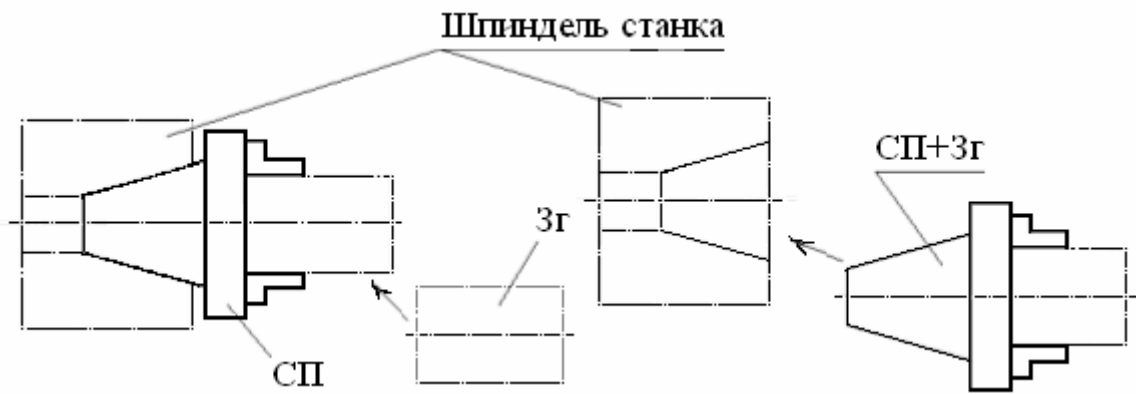


Рис. 2. Переналаживаемые станочные приспособления (П\_СП) нашпиндельного типа: стационарное (а) и приспособление-спутник (б)

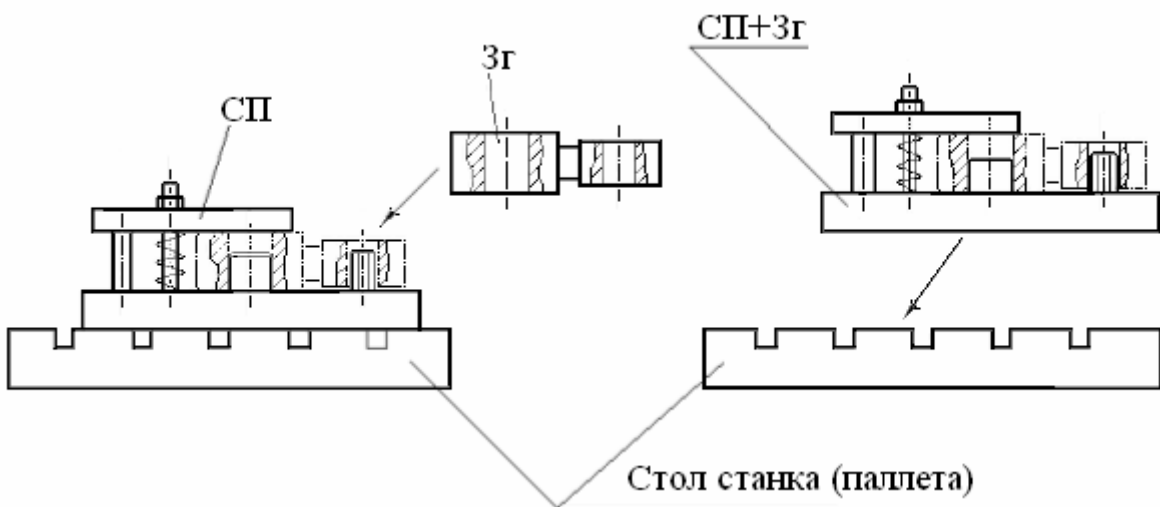


Рис. 3. Переналаживаемые станочные приспособления (П\_СП) настольного типа: стационарное (а) и приспособление-спутник (б)

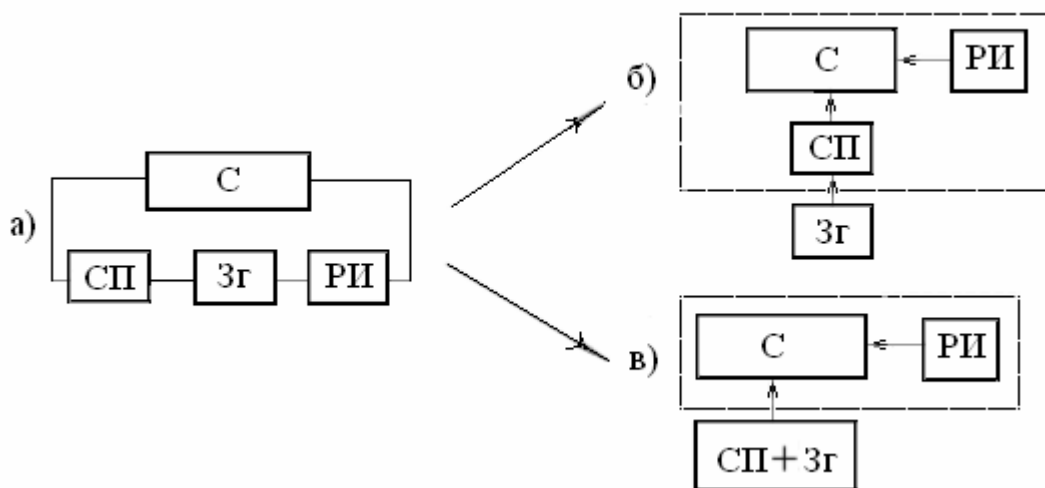


Рис. 4. Станочные приспособления в структуре технологической системы «станок – приспособление – инструмент – деталь»: а) в общем виде; б) при использовании стационарного СП; в) при использовании приспособления-спутника

Процесс создания приспособлений-спутников (П-С) — это многокомпонентный процесс [1, 2], который включает в себя следующие стадии (рис. 5): проектирование (1), комплектация сборочными единицами (2), сборка (3), контроль (4) и эксплуатация (5).

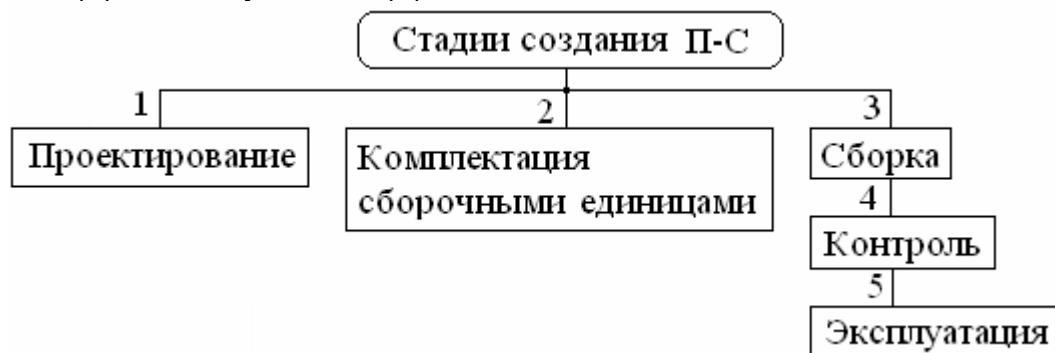


Рис. 5. Стадии создания приспособлений-спутников (П-С)

Из этих стадий наиболее трудоемкой и ответственной является стадия проектирования. Применительно к перенастраиваемым П-С процесс проектирования является малоизученным. Трудности при проектировании П-С в целом обусловлены различными обстоятельствами. В том числе тем, что исходные данные для проектирования П-С берутся из уже спроектированного технологического процесса. Более рациональным будет проектирование П-С параллельно с технологическим процессом.

Применение приспособлений-спутников в технологии обработки деталей на металлорежущих станках способствует повышению производительности обработки деталей за счет исключения (перекрытия) времени на установку заготовок (Зг) в приспособление. Такие приспособления позволяют устанавливать заготовки (Зг) на участке подготовки производства. В настоящее время наблюдается тенденция к широкому применению П-С, что подтверждает актуальность рассматриваемого вопроса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мясников Ю.И. Проектирование станочных приспособлений: Учебное пособие. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. — 481 с.
2. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. — М.: Машиностроение, 1990. — 512 с.

## ФОРМИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА

Исаков Д.В.

Рельеф рабочей поверхности шлифовального круга формируется на основе его внутреннего строения, зависящего от характеристики круга. Обычно теоретическое описание внутреннего строения представляется в виде совокупности абразивных зерен, которые по форме приближаются к форме шара диаметром  $d_3$ , а по объему равны среднему объему реального зерна в круге. Такие зерна равномерно распределены в объеме круга, покрыты слоем материала связки и соединены между собой мостиками из этой связки. Относительное объемное содержание абразивных зерен  $W_3$ , связки  $W_c$  и пор  $W_{\Pi}$ , приводимое в рецептуре кругов разных характеристик, обуславливает взаимосвязь размеров мостиков связки с размерами зерен, определяющими прочность закрепления зерен в круге. Такая модель позволяет по параметрам характеристики круга рассчитать концентрацию зерен в объеме матрицы круга, концентрацию зерен, работающих в поверхностном слое круга, а также параметры мостиков связки.

Вершина не затупленного зерна может быть аппроксимирована острым конусом с углом  $2\gamma$ , а затупленного (с площадкой износа) — усеченным конусом. На границе поверхностного слоя с матрицей круга концентрация зерен на секущей плоскости  $Z_0$  определяется только внутренним строением шлифовального круга и рассчитывается по формуле

$$Z_0 = \frac{6W_3}{\pi d_3^2}. \quad (1)$$

Закономерность изменения концентрации вершин работающих зерен по глубине поверхностного слоя зависит от особенностей износа шлифовального круга при различных режимах работы. В соответствии с распространенной классификацией режимов работы круга по характерным признакам износа его рабочей поверхности принято различать: режим работы с самозатачиванием (или осыпанием), с частичным самозатачиванием и частичным затуплением зерен на поверхности круга и режим работы с преимущественным затуплением зерен (рисунок).

Характерным видом износа при работе шлифовального круга в режиме самозатачивания является преимущественное вырывание зерен из связки под действием критической силы, возникающей при критической толщине среза. При этом на зернах не успевают образовываться площадки затупления.

Глубина, измененного по концентрации зерен поверхностного слоя, равна диаметру зерна  $d_3$  (см. рисунок, а).

Параметры рельефа определяются на глубине равной максимальной толщине среза единичным зерном —  $a_{kc}$ , при которой происходит интен-

сивный износ (осыпание) круга. Концентрация зерен на этой глубине определяется уравнением

$$Z_{a_k} = Z_0 \frac{a_{k_c}}{d_3} = \frac{6W_3 a_{k_c}}{\pi d_3^3}. \quad (2)$$

Величина относительной опорной площади  $\eta_{a_k}$  на глубине  $a_{k_c}$  определяется по формуле

$$\eta_{a_k} = \frac{2W_3 a_{k_c}^3 \operatorname{tg}^2 \gamma}{d_3^3}. \quad (3)$$

Расстояние между вершинами зерен  $L_3$ , определяется как

$$L_3 = \frac{2d_3^3}{3\sqrt{3}W_3 a_{k_c}^2 \operatorname{tg} \gamma}. \quad (4)$$

При работе шлифовального круга в режиме частичного самозатачивания и частичного затупления (см. рисунок, б) на вершинах режущих зерен вначале образуются небольшие площадки затупления. По мере радиального износа шлифовального круга площадки затупления увеличиваются. Силы, действующие на единичное зерно, возрастают, как из-за увеличения силы трения, так и в связи с увеличением ширины среза (длины режущей кромки зерна). При некоторой (критической) площадке затупления с диаметром  $b_k$

и максимальной (критической) толщине среза  $a_k$  возникает сила резания, под действием которой зерно вырывается из связки. На основе экспериментальных данных Н. Пекленика, Мацуи и других исследователей [1] принят равномерный закон распределения площадок затупления по глубине. Исходя из этого, выведена формула для расчета концентрации зерен в пределах максимальной толщины среза

$$Z_{a_k} = \frac{3W_3 (2a_k \operatorname{tg} \gamma + b_k)}{\pi d_3^3 \operatorname{tg} \gamma}. \quad (5)$$

Величина относительной опорной площадки на глубине  $a_k$  в этом случае рассчитывается по формуле

$$\eta_{a_k} = \frac{W_3 (2a_k \operatorname{tg} \gamma + b_k)^3}{4d_3^3 \operatorname{tg} \gamma}; \quad (6)$$

а расстояние между зернами рассчитывается по формуле

$$L_3 = \frac{b_{cp}}{\eta_{a_k}} = \frac{8d_3^3 \operatorname{tg} \gamma}{3\sqrt{3}W_3 (2a_k \operatorname{tg} \gamma + b_k)^2}. \quad (7)$$

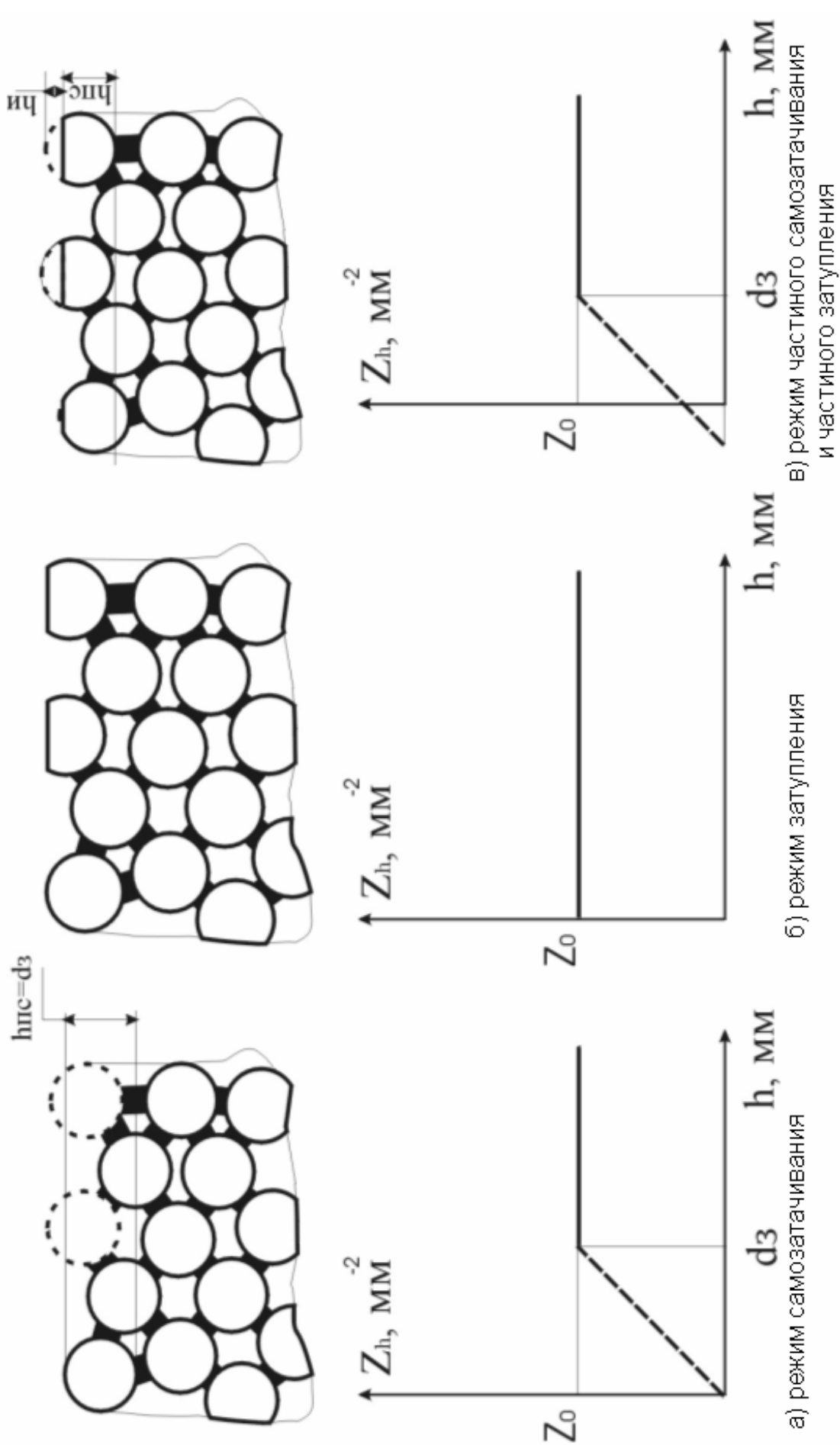


Рисунок. рельеф рабочей поверхности шлифовального круга, сформированный при различных режимах шлифования

Для расчета по выведенным формулам параметров рельефа необходимо определить максимальную (критическую) толщину среза  $a_k$  и диаметр критической площадки затупления  $b_k$ , величины которых зависят от твердости кругов, то есть от размеров и прочности мостиков связки, а при одинаковой твердости кругов от режимов шлифования, определяющих толщину срезов на единичных зернах.

При выводе формулы для расчета величины  $a_k$  по кинематическим параметрам процесса шлифования учитывалась меняющаяся от величины  $a_k$  шероховатость шлифуемой поверхности. Для этого построена модель зоны контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью заготовки, в которой периодическая составляющая микропрофиля аппроксимирована синусоидой. Получены формулы для расчета величин толщины срезов для разных видов износа кругов.

При работе шлифовального круга в режиме самозатачивания

$$a_{k_c} = d_3 \sqrt[3]{\frac{5.6V_d}{3\sqrt{3}V_k W_3 \operatorname{tg}^2 \gamma} \sqrt{t \frac{D_k + d_d}{D_k d_d}}}; \quad (8)$$

где  $V_k$  — скорость шлифовального круга;  $V_d$  — скорость обрабатываемой поверхности заготовки;  $D_k$  — диаметр шлифовального круга;  $d_d$  — диаметр обрабатываемой поверхности заготовки;  $t$  — подача шлифовального круга за один оборот заготовки.

При работе шлифовального круга в режиме частичного самозатачивания и частичного затупления (вершины зерен с площадками износа)

$$a_k = \frac{2.8V_d}{V_k} \frac{8d_3^3 \operatorname{tg} \gamma}{3\sqrt{3}W_3 (2a_k \operatorname{tg} \gamma + b_k)^2} \sqrt{t \frac{D_k + d_d}{D_k d_d}}. \quad (9)$$

Формулы (8) и (9) учитывают кинематику резания и не учитывают силы, приходящиеся на единичное зерно. Определить действительные величины  $a_k$  и  $b_k$  можно на основе расчета сил на работающих зернах и прочностных характеристик закрепления зерен в шлифовальных кругах.

Сила, под действием которой происходит вырывание зерна из связки, зависит от прочностных свойств материала связки, размеров зерна, объемного содержания зерна и связки в круге. Величина этой разрушающей силы рассчитывалась по методике А.В. Королева [2]. Для того, чтобы связать величину этой силы с параметрами среза использовались расчетные значения составляющих сил шлифования на единичном зерне, разработанные С.Н. Корчаком [3]

$$P_{y_{3кр}} = \sigma_i (K_1 a_k b_k + K_2 b_k^2); \quad (10)$$

$$P_{z_{3кр}} = \sigma_i (K_3 a_k b_k + K_2 \mu b_k^2). \quad (11)$$

где  $K_1 = \sigma_i \varepsilon_i \operatorname{tg} \beta$ ;  $K_2 = \frac{\pi \sigma_i}{4c}$ ;  $K_3 = \sigma_i \varepsilon_i$ ;  $\sigma_i$  — средняя интенсивность

напряжений в пределах напряженной зоны;  $\varepsilon_i$  — интенсивность деформации в зоне контакта зерна с металлом;  $\mu$  — коэффициент трения материала зерна о металл;  $c$  — постоянный коэффициент, учитывающий соотношение между касательными и нормальными средними напряжениями.

Из условия равенства сил, рассчитанных из прочностных характеристик мостиков связки и сил, установленных по параметрам среза, получены расчетные зависимости для определения величины  $a_{k_c}$  при работе шлифовального круга в режиме самозатачивания

$$a_{k_c} = \sqrt{\left(\frac{W_c}{W_c + W_{\Pi}}\right)^{2/3} \frac{d_3^2 [\sigma_c]_p}{(N_2 K_3 - N_3 K_1) \sigma_i \operatorname{tg} \gamma}}. \quad (12)$$

При работе шлифовального круга в режиме частичного самозатачивания и частичного затупления (вершины зерен с площадками износа) установлена взаимосвязь между величинами  $a_k$  и  $b_k$

$$a_k = \left(\frac{W_c}{W_c + W_{\Pi}}\right)^{2/3} \frac{d_3^2 [\sigma_c]_p}{\sigma_i b_k (N_2 K_3 - N_3 K_1)} + \frac{N_3 K_2 b_{kp} (N_3 K_2 - N_2 K_3)}{N_2 K_3 - N_3 K_1}. \quad (13)$$

где  $[\sigma_c]_p$  — величина предельных напряжений материала связки на растяжение;  $N_2$  и  $N_3$  — коэффициенты, учитывающие параметры заделки зерна в связку.

Выведенные формулы (12) и (13) позволяют рассчитывать величины  $b_k$  и  $a_k$  по параметрам характеристики шлифовального круга и прочностным свойствам шлифуемого материала и связки круга.

При совместном решении уравнений (8) и (12) получена формула для расчета величины подачи шлифовального круга на 1 оборот заготовки, превышение которой приводит к самозатачиванию (осыпанию) круга

$$t_k = \left[ \left(\frac{W_c}{W_c + W_{\Pi}}\right) \left(\frac{3V_k W_3 \operatorname{tg} \gamma}{2V_k}\right) \right]^2 \left[ \frac{[\sigma_c]_p}{(N_2 K_3 + N_3 K_1) \sigma_i \operatorname{tg} \gamma} \right]^3 \frac{D_k d_d}{D_k + d_d}. \quad (14)$$

При совместном решении уравнений (9) и (13) рассчитана подача на оборот детали, обеспечивающая режим частичного самозатачивания и частичного затупления кругов, и дающая наибольшую производительность при чистовом и получистовом шлифовании точных деталей

$$t = \left[ \left( \frac{W_c}{W_c + W_{II}} \right)^{2/3} \frac{d_3^2 [\sigma_c]_p}{\sigma_i b_k (N_2 K_3 + N_3 K_1)} + \frac{N_3 K_2 \mu b_k (N_3 K_2 - N_2 K_3)}{N_2 K_3 - N_3 K_1} \right]^2 \times \frac{D_k d_d}{D_k + d_d} \left[ \frac{V_k 3\sqrt{3} W_3 (2a_k \operatorname{tg} \gamma + b_k)^2}{22.4 V_d d_3^3 \operatorname{tg} \gamma} \right]^2. \quad (15)$$

Полученные зависимости позволили рассчитать основные эксплуатационные показатели шлифовальных кругов при работе на разных режимах резания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Байкалов А.К. Введение в теорию шлифования материалов. — Киев: Наукова думка, 1978. — 207 с.
2. Королев А.В., Новоселов Ю.К. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. — Саратов: Изд-во саратовского университета, 1987. — 156 с.
3. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. — М.: Машиностроение, 1974. — 279 с.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕЙ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА С ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗАГОТОВКИ

Д.В. Исаков, А.А. Дьяконов, Д.В. Ардашев

Для оценки износостойкости шлифовальных кругов, расчета сил резания и определения средней температуры в зоне контакта необходимо установить площадь трения шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью заготовки.

В настоящее время площадь трения определяется путем измерения параметров рельефа шлифовального круга с помощью различных приборов (микроскопов, профилометров и др.). Трудоемкость таких измерений достаточно высока. Обычно, на основе полученных данных строят модели рельефа рабочей поверхности шлифовального круга или непосредственно определяют суммарную величину площадок затупления вершин абразивных зерен, отождествляя ее с площадью трения [3]. Установленная таким способом площадь трения не учитывает ряд важных факторов, главными из которых являются следующие.

1. В процессе шлифования круг изнашивается, изменяется рельеф его рабочей поверхности (скалывание и истирание вершин абразивных зерен, происходит объемное разрушение и выпадение зерен из связки). Прогнозировать вновь формирующийся рельеф практически невозможно.

2. В зоне шлифования в контакте с металлом заготовки кроме абразивных зерен находятся материал связки и стружка, попадающая в поры круга и налипающая на вершины зерен. Эти компоненты могут существенно увеличить площадь трения.



В различных условиях шлифования степень влияния каждого из перечисленных факторов на увеличение площади трения может быть различной.

С целью сокращения трудоемкости определения средней площади трения разработан экспериментально-расчетный метод, в основу которого положены установленные С.Н. Корчаком [1] взаимосвязи составляющих силы резания с площадью трения (1), (2).

$$P_y = P_{y_s} + P_{y_{TP}} = \left( \frac{\sqrt{3,25} \cdot a \sin \beta}{\sqrt{3} \sin \beta_1} + \frac{0,5}{\sqrt{3}} \cdot l_3 \right) \cdot \sigma_i(\varepsilon, U), \quad (1)$$

$$P_z = P_{z_s} + P_{z_{TP}} = \left( \frac{\sqrt{3,25} \cdot a \cos \beta}{\sqrt{3} \sin \beta_1} - \frac{0,5}{\sqrt{3}} \cdot l_3 \mu \right) \cdot \sigma_i(\varepsilon, U), \quad (2)$$

где  $a$  — толщина среза;  $\beta$  — угол между линией среза и равнодействующей силой среза;  $\beta_1$  — угол сдвига;  $l_3$  — длина площадки затупления абразивного зерна;  $\mu$  — коэффициент трения площадки износа зерна о металл;  $\sigma_i(\varepsilon, U)$  — интенсивность сопротивления сталей разрушению при скорости и температуре шлифования.

Установленные С.Н. Корчаком аналитические зависимости, получили дальнейшее развитие в работах П.П. Переверзева [3] выведенные им силовые зависимости для круглого наружного шлифования с поперечной подачей имеют следующий вид

$$P_y = \left( \frac{\sqrt{3,25} \cdot \pi \cdot d_d \cdot S_{\text{поп}} \cdot \sin \beta}{\sqrt{3} \cdot \sin \beta_1 \cdot V_k} + \frac{0,5}{\sqrt{3}} \eta \cdot L \right) \cdot \sigma_i(\varepsilon, U), \quad (3)$$

$$P_z = \left( \frac{\sqrt{3,25} \cdot \pi \cdot d_d \cdot S_{\text{поп}} \cdot \cos \beta}{\sqrt{3} \cdot \sin \beta_1 \cdot V_k} + \frac{0,5}{\sqrt{3}} \eta \cdot \mu \cdot L \right) \cdot \sigma_i(\varepsilon, U), \quad (4)$$

где  $d_d$  — диаметр детали;  $S_{\text{поп}}$  — скорость радиальной подачи шлифовального круга;  $V_k$  — скорость вращения шлифовального круга;  $\eta$  — относительная площадь трения шлифовального круга о металл;  $L$  — длина дуги контакта шлифовального круга с заготовкой.

В формулах (3) и (4) величины сил приведены к 1 мм высоты круга.

Разделив формулу (3) на (4) и решив, полученное выражение относительно  $\eta$  находим

$$\eta = \frac{h_3}{L} \left( \frac{k_1 \cdot P_z - k_3 \cdot P_y}{k_2 (P_y \cdot \mu - P_z)} \right), \quad (5)$$

где  $k_1 = \frac{\sqrt{3,25} \cdot \sin \beta}{\sqrt{3} \cdot \sin \beta_1}$ ;  $k_2 = \frac{0,5}{\sqrt{3}}$ ;  $k_3 = \frac{\sqrt{3,25} \cdot \cos \beta}{\sqrt{3} \cdot \sin \beta_1}$ ;  $h_3 = \frac{\pi \cdot d_d \cdot S_{\text{поп}}}{V_k}$ .

Относительная площадь трения определяется отношением фактической площади контакта ( $F_{\phi}$ ) ко всей площади контакта ( $F_{\kappa}$ ). На 1 мм круга  $F_{\kappa} = L \cdot 1$  мм, поэтому

$$\eta = \frac{F_{\phi}}{F_{\kappa}} = \frac{F_{\phi}}{L}.$$

Тогда фактическая площадь трения на 1 мм высоты круга будет равна

$$F_{\phi} = \eta L.$$

Длина дуги контакта определяется по формуле Е.Н. Маслова [2]. Методика определения средней площади контакта заключается в шлифовании образца, из определенной марки стали, на специальном стенде. Шлифование производится при постоянных режимах резания. В серии экспериментов изменяют скорость радиальной подачи и с помощью измерительной системы стенда регистрируют значения радиальной и нормальной составляющей силы резания при шлифовании ( $P_y$  и  $P_z$ ). По полученным данным и установленной зависимости (5) рассчитывают относительную площадь трения  $\eta$ .

На рисунке приведены аппроксимированные графики изменения относительной площади контакта  $\eta$  от времени работы круга 92A25НСМ2 7К при разных величинах скорости подачи.

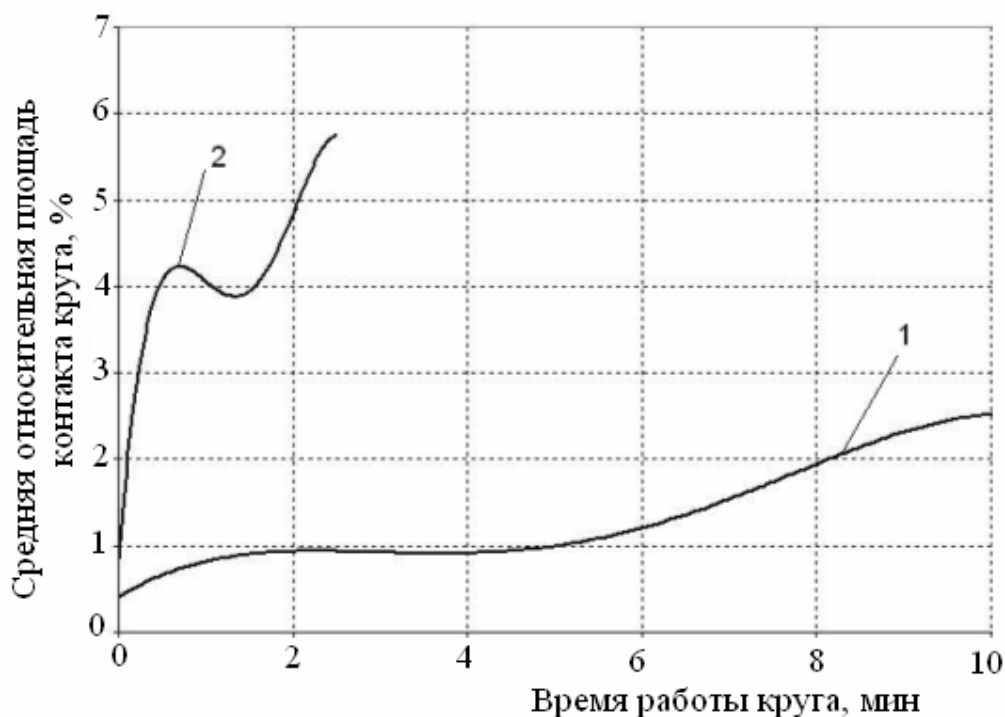


Рисунок. Зависимость изменения относительной площади контакта  $\eta$  от времени работы круга при скорости подачи  $S_{\text{поп}} = 0,2$  мм/мин (1);

$$S_{\text{поп}} = 0,5 \text{ мм/мин (2)}$$

Из графика следует, что при меньшей величине подачи интенсивность нарастания относительной площади затупления меньше, чем при шлифовании с большей скоростью подачи.

На кривых износа можно выделить участки относительно стабильного протекания процесса (без резких изменений площади трения). Причем при

шлифовании с большими подачами этот участок по времени значительно меньше.

Таким образом, разработанная методика позволяет непосредственно в процессе шлифования получать достоверные данные о величине площади трения и о характере изменения этой величины в зависимости от времени шлифования.

Эти данные необходимы для оценки эксплуатационных свойств шлифовальных кругов, а также могут быть использованы при расчетном определении температуры в зоне контакта и для решения многих других задач.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. — М., «Машиностроение», 1974. — 280 с.
2. Маслов Е.Н. Основы теории шлифования металлов. — М., Машгиз, 1951. — 179 с.
3. Переверзев П.П. Взаимосвязь производительности и точности операций шлифования с интенсивностью затупления кругов из различных абразивных материалов. — Автореф. дис. канд. техн. наук, Челябинск, 1981. — 18 с.

### ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ПРИ ПЛОСКОМ ГЛУБИННОМ ШЛИФОВАНИИ

А.А. Николаенко

Показатели качества деталей при механической обработке во многом зависят от податливости (жёсткости) технологической системы.

Основные принципы моделирования податливости технологической системы сформулированы В.С. Корсаковым. Разработанная им математическая модель податливости имеет следующий вид:

$$f_c = \frac{1}{J_c} = \frac{1}{J_1} + \frac{1}{J_2} + \dots + \frac{1}{J_n}, \quad (1)$$

где  $f_c$  и  $J_c$  — соответственно податливость, и жёсткость системы;

$J_1, J_2, \dots, J_n$  — жёсткости элементов системы.

Для расчёта податливости (жёсткости) отдельных элементов (деталей) технологической системы используется интеграл О. Мора:

$$\Delta_{1P} = \int_1 \frac{M_{xp} M_1}{E J_x} dz, \quad (2)$$

где  $\Delta_{1P}$  — величина упругого перемещения сечения детали (для линейного перемещения  $\Delta_{1P} = y$ );  $E J_x$  — жёсткость сечения детали при упругом изгибе;  $M_{xp}, M_1$  — соответственно моменты в сечении от нагрузки  $P$  и единичной силы.

Численные значения податливости технологической системы  $f_c$  можно получить экспериментально, но для расчета режимов резания необходимы аналитические (универсальные) математические модели пригодные для различных условий шлифования.

Точность обработки рассмотрим на примере операций плоского глубинного шлифования периферией круга.

Шпиндель станка нагружается радиальной составляющей силы резания  $P_y$  (причем по третьему закону Ньютона радиальная составляющая силы резания равна силе противодействия  $P_y = P_{yN}$ ).

При моделировании податливости технологической системы приняты соответствующие допущения.

Метод Мора и правило Верещагина позволяют определить величину упругого перемещения  $Y_c$  шпинделя в точке С, к которой прикладывается нагрузка. Шпиндель разбивается на два участка АВ и ВС. Строится грузовая эпюра М. К сечению С (в направлении перемещения) прикладывается сила равная единице и строится единичная эпюра М1.

Расчет величин упругого перемещения шпинделя производится на участках по следующей формуле:

$$y_i = \frac{l_i}{6EI_x} \left( M^H M_1^H + 4M^C M_1^C + M^K M_1^K \right), \quad (3)$$

где  $l_i$  — длина  $i$ -го участка шпинделя;  $E$  — модуль упругости материала шпинделя;  $I_x$  — момент инерции сечения шпинделя;  $M^H$  — величина грузовой эпюры М в начале участка;  $M_1^H$  — величина единичной эпюры М1 в начале участка;  $M^C$  — величина грузовой эпюры М в середине участка;  $M_1^C$  — величина единичной эпюры М1 в середине участка;  $M^K$  — величина грузовой эпюры М в конце участка;  $M_1^K$  — величина единичной эпюры М1 в конце участка.

Для определения конечных величин упругого перемещения шпинделя в точке приложения сил используется следующая формула:

$$y_c = \sum_{i=1}^n y_i. \quad (4)$$

После подстановки в формулу (4) соответствующих значений получим для схемы нагружения I (для круга прямого профиля) зависимость для расчета величины упругого перемещения шпинделя в точке приложения сил:

$$y^I = \frac{l_1}{6EJ_x} \left( P_y l_2 l_2 + 4 \frac{P_y l_2}{2} \frac{l_2}{2} + 0 \right) + \frac{l_2}{6EJ_x} \left( 0 + 4 \frac{P_y l_2}{2} \frac{l_2}{2} + P_y l_2 l_2 \right) = \frac{P_y l_2^2 (l_2 + l_1)}{3EJ_x}. \quad (5)$$

где  $y^I$  — величина упругого перемещения шлифовального круга в точке приложения сил резания при схеме нагружения I;  $P_y$  — радиальная составляющая силы резания;  $l_1$  — длина пролета;  $l_2$  — длина консоли;  $E$  — модуль упругости материала.

Момент инерции круглого сечения рассчитывается по формуле:

$$J_x = \frac{\pi d^4}{64}, \quad (6)$$

где  $\pi = 3,14$ ;  $d$  — диаметр сечения.

Из формулы (5) следует, что для схемы нагружения I податливость технологической системы равна:

$$f^I = \frac{l_2^2(l_2 + l_1)}{3EJ_x}. \quad (7)$$

Численные значения податливости технологической системы используются для расчета режимов резания.

Пример расчета численных значений податливости станка с ЧПУ модели ЛШ-220 и упругих перемещений технологической системы по разработанным математическим моделям. Исходные данные для расчета:

$$l_1 = 1 \text{ м}, l_2^I = 0,16 \text{ м}, d = 0,07 \text{ м}, E = 2,1 \cdot 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}, P_{y(E)} = 300 \text{ Н}.$$

Здесь  $l_1$  — длина пролета шпинделя;  $l_2^I$  — длина консоли для участка со схемой нагружения I;  $d$  — диаметр шпинделя;  $E$  — модуль упругости материала шпинделя;  $P_{y(E)}$  — радиальная составляющая силы резания.

Податливость станка в точке приложения сил резания (E) при схеме нагружения I рассчитывается по формуле (7) и составляет:

$$f_E^I = \frac{(0,14 \text{ м})^2 (0,16 \text{ м} + 1 \text{ м}) 64}{6,3 \cdot 10^{11} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} 3,14 (0,07 \text{ м})^4} = 0,04 \frac{\text{мкм}}{\text{Н}}. \quad (8)$$

Упругое перемещение в точке E при схеме нагружения I рассчитывается по формуле (5) и составляет:

$$y_E^I = P_{y(E)} f_E^I = 300 \text{ Н} \cdot 0,04 \frac{\text{мкм}}{\text{Н}} = 12 \text{ мкм}. \quad (9)$$

Экспериментальное определение податливости станка производилось при помощи запатентованного автором устройства [1, 2, 3]. Экспериментально определенная динамическая податливость станка с ЧПУ модели ЛШ-220 составила:

$$f_d = \frac{36 \text{ мкм}}{1000 \text{ Н}} = 0,036 \frac{\text{мкм}}{\text{Н}}. \quad (10)$$

Проведенные эксперименты подтвердили адекватность разработанных моделей податливости технологической системы реальному процессу.

Расчетная схема для определения упругих перемещений при многохо-

довом шлифовании представлена на рисунке. Расчет отклонений размеров, формы и взаимного расположения поверхностей детали при многоходовом шлифовании производится последовательно по ходам.

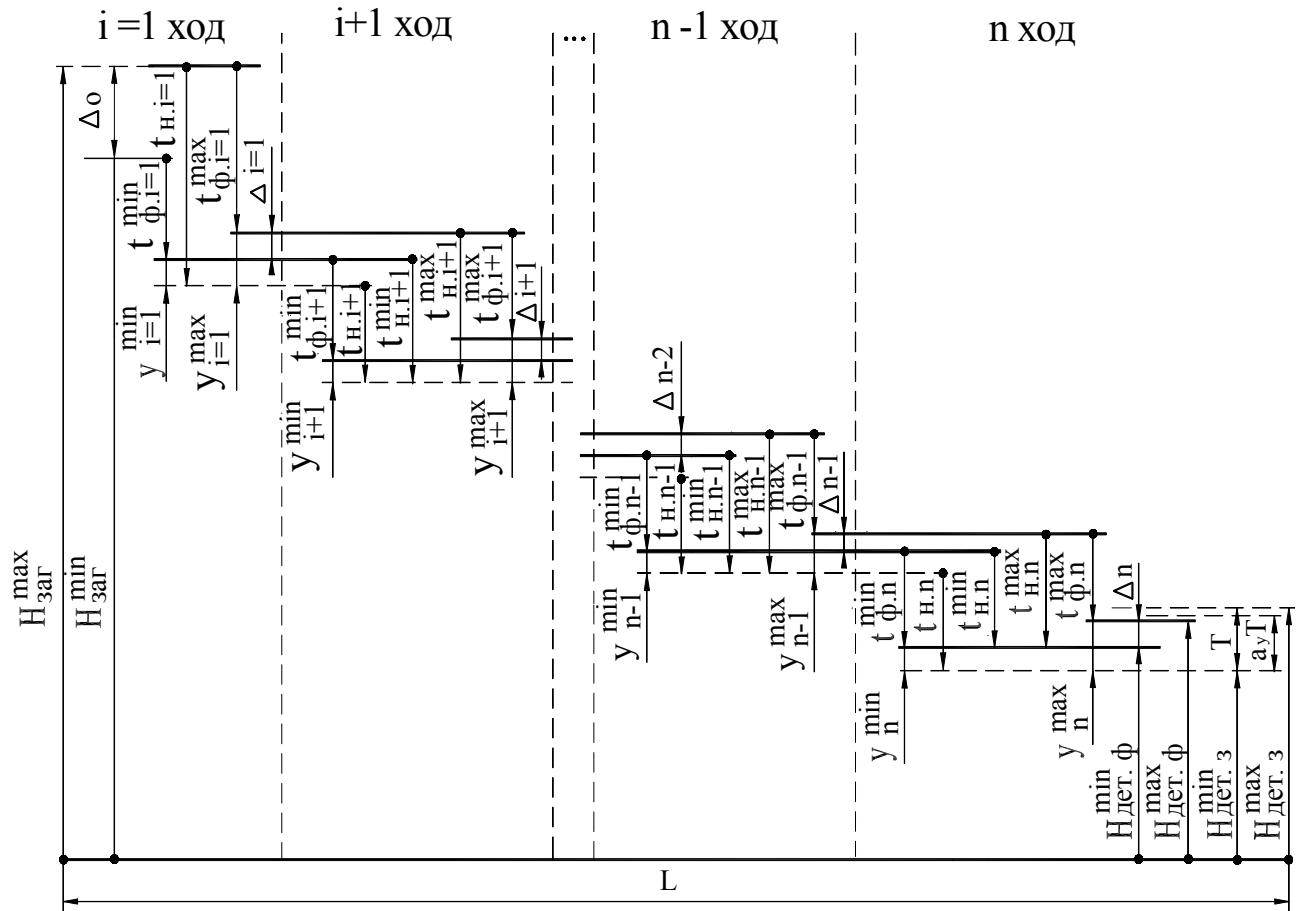


Рисунок. Расчетная схема для определения упругих перемещений

Используя расчетную схему (см. рисунок) получены зависимости для расчета значений фактической глубины резания на  $n$ -м рабочем ходе многоходового шлифования:

$$t_{\phi n}^{\max} = \left[ \frac{-f_i B_i + \sqrt{(f_i B_i)^2 + 4 t_{H_i} (1 + f_i A_i)}}{2(1 + f_i A_i)} \right]^2, \quad (11)$$

$$t_{\phi n}^{\min} = \left[ \frac{-f_i B_i + \sqrt{(f_i B_i)^2 + 4(t_{H_i} - \Delta_{n-1})(1 + f_i A_i)}}{2(1 + f_i A_i)} \right]^2. \quad (12)$$

На базе моделей (11) и (12) получены зависимости для расчета упругих перемещений в технологической системе на  $n$ -м рабочем ходе многоходового шлифования:

$$y_n^{\max} = t_{Hn} + y_{n-1}^{\max} - \left[ \frac{-f_i B_i + \sqrt{(f_i B_i)^2 + 4 t_{Hi} (1 + f_i A_i)}}{2(1 + f_i A_i)} \right]^2. \quad (13)$$

$$y_n^{\min} = t_{Hn} + y_{n-1}^{\min} - \left[ \frac{-f_i B_i + \sqrt{(f_i B_i)^2 + 4 (t_{Hi} - \Delta_{n-1}) (1 + f_i A_i)}}{2(1 + f_i A_i)} \right]^2. \quad (14)$$

Полученные зависимости (13) и (14) позволяют перейти к моделированию параметров точности обработки (см. рисунок).

Математическая модель обеспечения точности размеров детали для схемы нагружения I имеет следующий вид:

$$y_n^{I \max} = t_{Hi} - \left[ \frac{-f^I B_i + \sqrt{(f^I B_i)^2 + 4 t_{Hi} (1 + f^I A_i)}}{2(1 + f^I A_i)} \right]^2 \leq a_y T, \quad (15)$$

где  $y_n^{I \max}$  — максимальное упругое перемещение в технологической системе на завершающем n-м рабочем ходе при схеме нагружения I;  $f^I$  — податливость технологической системы при схеме нагружения I;  $a_y < 1$  — часть допуска на размер детали, используемая для упругих перемещений;  $T$  — допуск на размер детали.

Математическая модель обеспечения прямолинейности поверхности детали запишется как:

$$\Delta_{-n}^I = \left[ \frac{-f^I B_i + \sqrt{(f^I B_i)^2 + 4 (t_{Hi}^I - \Delta_{-n-1}^I) (1 + f^I A_i)}}{2(1 + f^I A_i)} \right]^2 + \Delta_{-n-1}^I - \left[ \frac{-f^I B_i + \sqrt{(f^I B_i)^2 + 4 t_{Hi}^I (1 + f^I A_i)}}{2(1 + f^I A_i)} \right]^2 \leq T_{-} = a_i T, \quad (16)$$

где  $\Delta_{-n}^I$  — расчетное отклонение поверхности детали от прямолинейности на завершающем n-м рабочем ходе при схеме нагружения I;  $T_{-}$  — допуск прямолинейности;  $a_i$  — коэффициент, устанавливающий соотношение между допуском формы и допуском размера;  $T$  — допуск на размер детали.

Математическая модель обеспечения параллельности запишется следующим образом:

$$\Delta_{=n}^I = \left[ \frac{-f^I B_i + \sqrt{(f^I B_i)^2 + 4(t_{Hi}^I - \Delta_{=n-1}^I)(1 + f^I A_i)}}{2(1 + f^I A_i)} \right]^2 + \Delta_{=n-1}^I - \left[ \frac{-f^I B_i + \sqrt{(f^I B_i)^2 + 4t_{Hi}^I(1 + f^I A_i)}}{2(1 + f^I A_i)} \right]^2 \leq T_{=} = a_i T, \quad (17)$$

где  $\Delta_{=n}^I$  — расчетное отклонение от параллельности на завершающем  $n$ -м рабочем ходе при схеме нагружения  $I$ ;  $T_{=}$  — допуск параллельности.

Таким образом, для многоходового плоского глубинного шлифования периферией круга полученные неравенства (15), (16), (17) являются математическими моделями точности обработки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Николаенко А.А. Повышение производительности и точности обработки при профильном глубинном шлифовании // Вестник машиностроения, 1997. — №2. — С. 21–23.
2. Николаенко А.А., Кулыгин В.Л. Устройство для определения жесткости шпинделей: Патент №1833249, В23В25/00. — М.: Госпатент СССР, 1993.
3. Николаенко А.А., Сырейщикова Н.В. Способ определения радиальной составляющей силы резания при глубинном плоском шлифовании периферией круга: Патент №2086938, G24L5/12. — М.: Комитет РФ по патентам и товарным знакам, 1997.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ГИБКОГО АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА ПО ПОКАЗАТЕЛЮ РЕЛЬЕФА РАБОЧЕГО СЛОЯ

А.А. Сырейщиков, Н.В. Сырейщикова

Рост конкуренции на рынке станкоинструментальных изделий, к которым относится и абразивная продукция, происходит из-за участия в нем зарубежных производителей, а также из-за перспектив скорого вступления России в ВТО. Это обуславливает жизненную необходимость повышения конкурентоспособности изделий абразивного производства на внутреннем рынке и создания условий для выхода на международный рынок. Решение данной проблемы возможно на основе обеспечения высокого уровня стабильности качества абразивных изделий, и, в частности, одних из самых распространенных — гибких абразивных инструментов.

Практическая реализация мероприятий по повышению стабильности качества гибких абразивных инструментов (ГАИ) предусматривает проведение оценки качества ГАИ.

На кафедре «Технология машиностроения» Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ) проведены научно-исследовательские ра-



боты по оценке качества ГАИ из шлифовальной шкурки по технологическим свойствам. Была разработана методика по оценке качества ГАИ по показателю рельефа рабочего слоя при сертификационных испытаниях в условиях испытательной лаборатории (ИЛ) Центра сертификации (ИС) «Политех-Тест» ЮУрГУ. Методика может использоваться практически на всех этапах жизненного цикла абразивной продукции, как производителем, так и потребителем при ее эксплуатации. Методика предназначена для оценки качества ГАИ из шлифовальной шкурки, изготавливаемой на тканевой, бумажной, фибровой, комбинированной основах; на натуральной, синтетической, комбинированной и других связках; для выпускаемого диапазона зернистостей M28–125.

В настоящее время для оценки рельефа рабочего слоя шлифовальной шкурки (и вообще абразивной поверхности) нет стандартизированных показателей. Многие исследователи придерживаются показателей, которые определены действующим стандартом на шероховатость поверхности (ГОСТ 2789-73):  $Ra_1$ ,  $Rz$ ,  $R_{max}$ ,  $S$ ,  $S_m$ ,  $t_p$ . Первые три показателя являются высотными, а остальные три — шаговыми. В исследовательских работах по оценке абразивной поверхности наряду со стандартными применяются показатели, оценивающие специфические свойства поверхности абразивного инструмента, такие как: многовершинность выступов, радиус закругления вершин, углы при вершине зерна, эффективное расстояние между зернами; величина площади режущих кромок, отнесенная к единице поверхности инструмента; показатель остроты — отношение среднего числа выступов на единице площади исследуемой поверхности к радиусу закругления при вершине выступов; число «активных» (то есть контактирующих с заготовкой) режущих кромок абразивных зерен на единице высоты или поверхности круга и многое другое. Кроме количественных оценок рельефа рабочей поверхности устанавливались и частотные характеристики распределения показателей рельефа, размеров самих зерен и законы их распределения [1, 2 и другие].

Таким образом, хотя во многих работах рассматривались показатели оценки рельефа рабочей поверхности абразивного инструмента, единого показателя или единой количественной совокупности показателей абразивных поверхностей не установлено. Исходя из вышеизложенного, было принято наиболее целесообразным считать введение нескольких взаимосвязанных показателей или показателя, отражающего в совокупности такие основные характеристики рельефа, как: величина выступления зерна из связки (или величина залегания зерна), межзерновое расстояние и объем между зернами, как включающий все вышеприведенные.

Геометрические параметры режущего пространства, их взаимосвязи, объем режущего пространства тесно связаны с физической основой процесса резания, оказывают значительное влияние на стабильность качества абразивного инструмента при эксплуатации и, следовательно, должны учитываться в характеристике шлифовальной шкурки (и оцениваться).

На рабочей поверхности шлифовальной шкурки (рис. 1) показаны зерна: А — зерно предельной фракции, В — зерно мелкой фракции и Д — зерно основной фракции, расположенные беспорядочно, окруженные связкой,

создавая большую или меньшую разновысотность зерен и различные расстояния между ними ( $S_{AB}$ ,  $S_{\delta D}$ ).

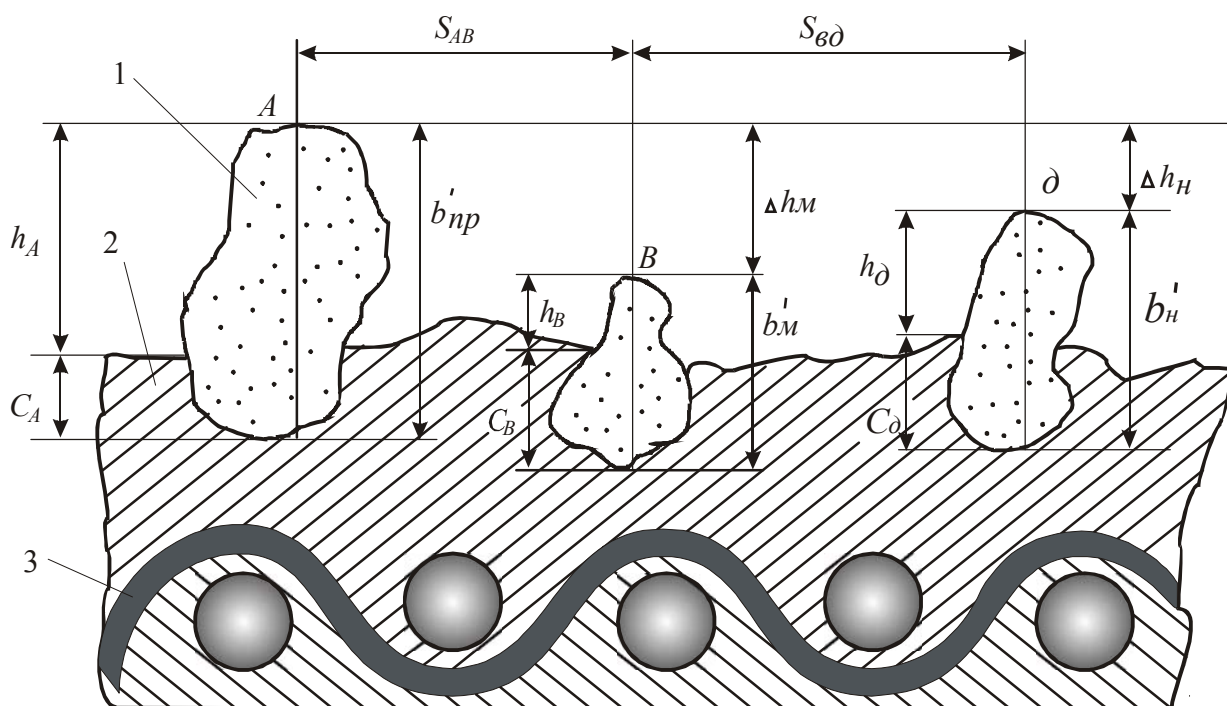


Рис. 1. Схема расположения зерен на рабочей поверхности:  
1 — зерно, 2 — связка, 3 — основа

Отталкиваясь от принятой схемы формы зерна (в виде прямоугольного параллипеда), объем межзернового пространства был выражен через геометрические параметры, представленные на схеме (см. рис. 1).

Таким образом, технологические свойства шлифовальной шкурки для ГАИ было принято оценивать показателем рельефа рабочего слоя ( $R$ ), отражающим связь геометрических параметров режущего пространства инструмента и их взаимосвязь с количественным соотношением зерна, связки и пор. Показатель  $R$  количественно оценивается объемом межзернового пространства:

$$R = \bar{h} \times \bar{S}_{M3} \times b \times 49, \text{ мм}^3, \quad (1)$$

где  $\bar{h}$  — средняя величина выступания зерна из связки, мм;  $\bar{S}_{M3}$  — средняя величина расстояния между зернами, мм;  $b$  — номинальный размер зерна основной фракции, мм; 49 — число замеренных зерен на рабочей поверхности абразивного инструмента без единицы.

Метод основан на измерении параметров рельефа рабочего слоя ГАИ, по которым рассчитывается показатель  $R$ , выражающий среднестатистический объем межзернового пространства измеряемого инструмента.

Обозначение параметров рельефа на профилограмме рабочего слоя ГАИ показано на рис. 2, а расположение трасс измерения рельефа рабочей поверхности — на рис. 3.

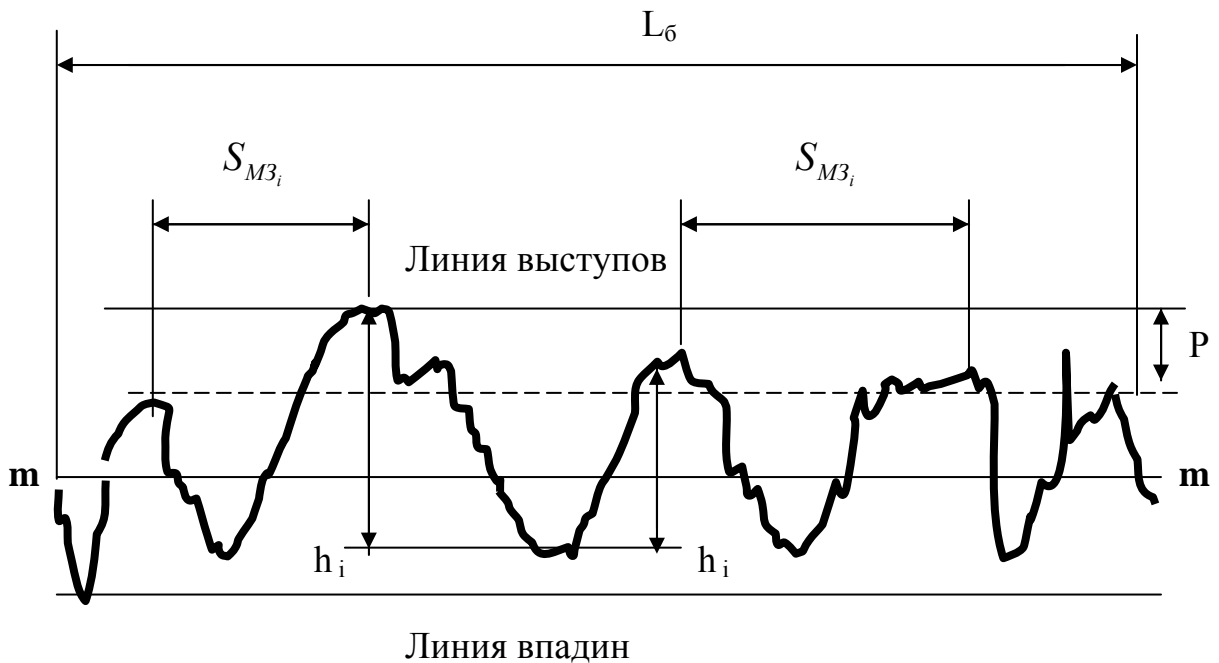


Рис. 2. Основные параметры профиля рабочего слоя ГАИ:

$L_б$  — базовая длина измерения профиля;  $p$  — уровень сечения профиля,

$m - m$  — средняя линия профиля;  $h_i$  — высота профиля;

$S_{MЗ_i}$  — расстояние между выступами

Длина участка измерения должна обеспечить на длине трассы профилографирования не менее 50-ти пересечений профиля со средней линией:

$$\alpha_N = (2 - 3) \times N, \quad (2)$$

где  $N$  — зернистость инструмента.

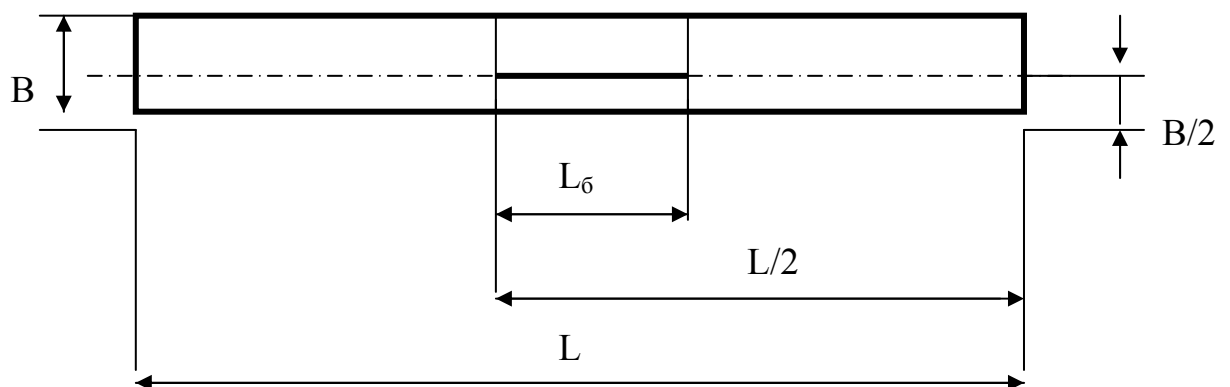


Рис. 3. Расположение трасс измерения рельефа рабочей поверхности ГАИ:

$L$  — длина инструмента;  $B$  — ширина инструмента

Производится геометрическая обработка параметров профилографирования (см. рис. 2). Математическая обработка результатов измерения производится по расчетной формуле (1).

Полученное значение показателя  $R$  сопоставляется со значениями  $R$  по таблице.

Значения показателей рельефа рабочего слоя шлифовальной шкурки

Группа шкурки	Зернистость	Диапазон R	Средние значения R для связок	
			С	М
1	M28	0,005–0,03	0,01	–
	M40		0,02	0,03
2	M50;4	0,008–0,06	0,02	0,04
	M63;5		0,05	0,04
	6		0,05	0,05
3	8	0,01–0,21	0,05	0,06
	10		0,09	0,08
	12		0,10	0,10
4	16	0,05–0,33	0,12	0,13
	20		0,17	0,17
5	25	0,05–0,53	0,23	0,20
	32		0,26	0,25
6	40	0,05–0,83	0,31	0,28
	50		0,34	0,31
7	63	0,10–2,49	–	0,33
	80		–	0,41
8	100	0,29–3,65	–	0,58
	125		–	0,60

Разработанная методика также может быть использована предприятиями-изготовителями ГАИ для градуации инструмента по конкретным операциям применения и может быть использована предприятиями-потребителями ГАИ для обоснованного назначения характеристики и режимов применения инструмента с целью рационального использования ГАИ при наивысшей эффективности обработки деталей по рекомендациям, разработанным на кафедре «Технология машиностроения» ЮУрГУ.

Внедрение и использование разработанной методики оценки качества ГАИ по технологическим свойствам (по показателю рельефа рабочего слоя шлифовальной шкурки) на ОАО «Красногорский завод абразивного инструмента» позволили получить годовой экономический эффект в объеме 32,6 тыс. руб.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зубарев Ю.М. Теоретические и технологические основы высокопроизводительного плоского шлифования: Автореф. докт. дисс. — СПб.: Изд-во ОАО «ЛМЗ», 2001. — 49 с.
2. Михрютин О. В. Повышение эффективности шлифования деталей ГТД на основе контроля качества абразивного инструмента с учетом структурной неоднородности: Автореф. канд. дисс. — Рыбинск: Изд-во РГАТА, 2000. — 16 с.

## РАБОЧИЕ СИМВОЛЫ КОДИРОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА И ПОСТРОЕНИЯ РАЗМЕРНЫХ СХЕМ

Е.В. Пугач, П.Г. Пугач, В.Ю. Шамин

Обычно, ручное построение размерной схемы действующего или вновь проектируемого технологического процесса осуществляется по рисункам операционных эскизов с учетом установов и технологических переходов. Для наглядности, навигация маршрута и последовательность выполнения операций и переходов отмечается на схеме графическими символами технологических и измерительных баз. Выделяются поверхности заготовки до, и после обработки. Здесь же прорисовываются припуски, слои покрытий, глубины насыщения поверхностей заготовки, допуски соосностей и другие конструктивные элементы изделия.

Ручное построение схемы позволяет использовать огромный символичный арсенал знаков для обозначения практически любых из перечисленных особенностей технологического процесса.

Подготовка и кодирование размерной информации для автоматизированного расчета и построения технологических размерных цепей ограничивается многими факторами. Это связано, прежде всего, с квалификацией пользователей, особенностями алгоритма, языка программирования, квалификацией постановщика задачи и программиста, техническими возможностями вычислительной техники, на которой будет эксплуатироваться грузочный модуль программного продукта.

На сегодняшний день, самым большим тормозом активного использования программных продуктов по расчету и построению размерных схем является квалификация рядового пользователя-технолога, который, за редким исключением, слабо знаком с теорией и практикой анализа и синтеза технологических процессов на этапах размерно-точного проектирования изделия. Профессиональное владение этой теорией позволяет технологом, используя графику размеров-звеньев, разрабатывать маршрут и строить размерную схему технологического процесса без предварительной подготовки рисунков операционных эскизов.

Но как для начинающих пользователей, так и для технологов профессионалов необходим элементарный набор символов и альтернативный алгоритм программных приемов, которые позволили бы осуществлять навигацию по размерной схеме технологического процесса.

В любой программе предусматриваются простейшие и обязательные символы, которыми пользуются при построении размерных схем отдельных проекций как действующего, так и проектного вариантов технологического процесса. Эти символы должны визуальным образом помочь в построении и последующем прочтении информации маршрута технологического процесса.

Символьные знаки могут обозначать: варианты прямой или обратной задачи в уравнениях размерной цепи или в целом всей схемы; технологические и измерительные базы; поверхности заготовки до и после воздействия на них режущего инструмента, термических или гальванических процессов; величины и направления удаляемых слоев материала (припусков-глубин резания) в роли составляющих или замыкающих звеньев; принад-

лежность размерного звена схемы к известному (исходному) чертежному размеру, к известному окончательному или промежуточному размеру, к определяемому составляющему звену (без номинального значения), к заменяющему-замыкающему звену или к непосредственно невыполняемому в технологическом процессе чертежному размеру, который выступает в роли замыкающего звена.

Эти и другие символичные значения являются информационным языком размерного анализа и синтеза при обработке технологичности изделия.

Если алгоритм размерного расчета хорошо отработан во многих известных программных продуктах, то факт автоматизированного построения технологических размерных схем недостаточно освещен в технической литературе. На сегодня можно с уверенностью сказать, что нет никакой информации о построении размерных схем, в которых содержалось бы до 500 и более размеров-звеньев. Такие схемы строятся для корпусных деталей, колленчатых валов мощных двигателей, валов с колесом турбины и т.д.

Кодирование и ввод размерной информации для автоматизированного расчета и построения больших размерных схем довольно трудоемкий процесс. И не всегда имеется реальная возможность ввести последовательно все размеры-звенья от исходных чертежных размеров до размеров исходной заготовки. Но даже в тех случаях, когда эту последовательность ввода можно выдержать, пользователь игнорирует предписанные правила и в вольном режиме начинает импровизировать, выбирая удобные последовательности вводимых размеров-звеньев.

После беспорядочного ввода размерной информации в программном продукте должен вступить в работу специальный альтернативный алгоритм, который бы позволил сделать необходимые перестановки размеров-припусков и размеров-звеньев в месиве исходной размерной информации. Только в этом случае возможно построения размерной схемы.

Загрузочный модуль по расчету и построению размерных цепей — «Visual KursAR» дополнен подпрограммой, которая позволяет вводить в размерную информацию символичные обозначения технологических и измерительных баз, а при автоматизированном построении размерной схемы про-рисовывать эти базы на полотне рисунка схемы.

В табл. 1 проставлены символы, которые активно участвуют в построении размерных схем как действующих, так и вновь проектируемых технологических процессов:

- «#» — обратная (проверочная) задача;
- «=» — прямая (проектная) задача;
- «+» — известный исходный размер (группа «9»),  
окончательный размер (группа «8»),  
промежуточный размер (группа «7») и  
рассчитанный определяемый размер (группа «6»);
- «-» — определяемый (номинальный) размер группы «6»;
- «~» — заменяющее-замыкающее звено (группа «5») в прямой задаче.

1. Номера групп звеньев1.1. Замыкающие размеры-звенья  
в обратной (проверочной) задаче:

0	#	Расч.	Звено, исходные параметры которого не заданы, но могут быть установлены его предельные значения в результате <u>расчета</u> размерной цепи.
1	#	Пров.	Звено с заданными для <u>проерки</u> предельными значениями.

1.2. Замыкающие размеры звенья  
в прямой (проектной) задаче:

2	=	Мин.	Звено с заданным <u>наименьшим</u> предельным значением (или предельными значениями). Расчет от <u>наименьшего</u> предельного значения.
3	=	Сред.	Звено с известными <u>предельными</u> значениями или с заданным <u>средним</u> значением. Расчет от <u>среднего</u> значения.
4	=	Макс.	Звено с заданным <u>наибольшим</u> предельным значением (или предельными значениями). Расчет от <u>наибольшего</u> предельного значения.
5	~	3.3.	<u>Замыкающее</u> звено, с помощью которого <u>заменяются</u> составляющие размеры-звенья в цепи с компенсирующимися погрешностями.

1.3. Составляющие определяемые  
и известные размеры-звенья:

6	-	Опр.	Звено с заданными предельными отклонениями и <u>кодом</u> округления, номинальное значение которого <u>определяется</u> расчетом.
7	+	Изв.П	Звено - известный <u>промежуточный</u> операционный размер с известным номинальным значением и предельными отклонениями.
8	+	Изв.О	Звено - известный <u>окончательный</u> операционный размер с известным номинальным значением и предельными отклонениями.
9	+	Ч.	<u>Чертежный</u> (исходный) размер.

2. Коды округления групп «5» и «6»:

0	До <u>целого</u> числа.
1	До <u>первого</u> десятичного знака.
2	До <u>второго</u> десятичного знака.
3	До <u>третьего</u> десятичного знака.

На рис. 1 показана часть страничного текста результатов расчета тестового примера с закодированной исходной размерной информацией проектного варианта (прямая задача) технологического процесса механической обработки втулки кондукторной, а на рис. 2 распечатка автоматизированного построения размерной схемы этого технологического.

```
|<--->|<##>|<--->|
| Visual KursAR | Курс Автоматизированного Расчета размерных цепей
| Version 7.12 | (с) Без права эксплуатации в других организациях!
|<- ->|<==>|<- ->|
```

```
Файл: Ru_Shamin_09_2.rkc
Организация: ЮУрГУ. МТ фак. Каф. "Тех.маш.". Ауд.209.
Расчётчик: Шамин В.Ю.
Изделие: Втулка опорная
Дата (д.м.г): 20.11.2004
```

Исходная размерная информация

```
-----
1: 9 99 099 28 0 -0,15          2: 9 109 0109 20 0 -0,05
3: 9 119 0119 19 0 -0,26      4: 9 139 0139 15 0,05 0
5: 9 129 139 0,3 0,8          6: 9 0109 0139 0 0,025 -0,025
7: 9 099 0139 0 0,1 -0,1      8: 9 0119 0139 0 0,1 -0,1
9: 3 0118 0138 0 0,1 -0,1     10: 3 098 0138 0 0,1 -0,1
11: 2 128 138 0,3              12: 0 98 108
13: 8 108 0108M 20 0 -0,05     14: 8 0108 0138T 0 0,01 -0,01
15: 2 107 108 0,08             16: 3 0108 0107 0
17: 8 138 0138M 15 0,05 0      18: 2 138 137 0,08
19: 3 0138 0137 0              20: 7 0107T 0138 0 0,02 -0,02
21: 6 128 137M 0,4 0 1         22: 7 098 0107T 0 0,005 -0,005
23: 8 98 098M 28 0 -0,15      24: 2 97 98 0,2
25: 3 098 097 0                26: 0 97 137
27: 0 107 137                  28: 5 0118 0137 0,05 -0,05 3
29: 5 097 0137 0,05 -0,05 3   30: 5 097 0118 0,05 -0,05 3
31: 6R 107 0107M 0 -0,125 2    32: 8 118 0118M 19 0 -0,36
33: 6R 137 0137M 0,105 0 2     34: 7 0107 0118M 0 0,005 -0,005
35: 7 0107M 0137 0 0,005 -0,005  36: 7 097T 0107 0 0,05 -0,05
37: 6R 97 097T 0,2 -0,5 1
```

Рис. 1. Исходная размерная информация технологического процесса механической обработки втулки опорной (Проекция 2. Диаметральные размеры)

Для группы «6» допускается указание символа «R» после кода группы, где R — символ радиального (диаметрального) размера.

Рассчитанное номинальное значение определяемого размера будет удвоено до диаметрального размера.

Пример ввода группы «6» с символом радиального размера:

**6R 107 0107 0 -0,125 2**

Для групп «6», «7» и 8 допускается наличие символов «Т» или «М», которые проставляются после номера левой или правой поверхности звена, где «М» — графический символ измерительной базы;

«Т» — символ технологической базы.



Например:

6R 97 097T 0,2 -0,5 1    или  
7 0107T 0138 0 0,02 -0,02    или  
8 108 0108M 20 0 -0,05

**Диагностическая информация по схеме**

-----  
Все размеры схемы связаны и не имеют циклов.

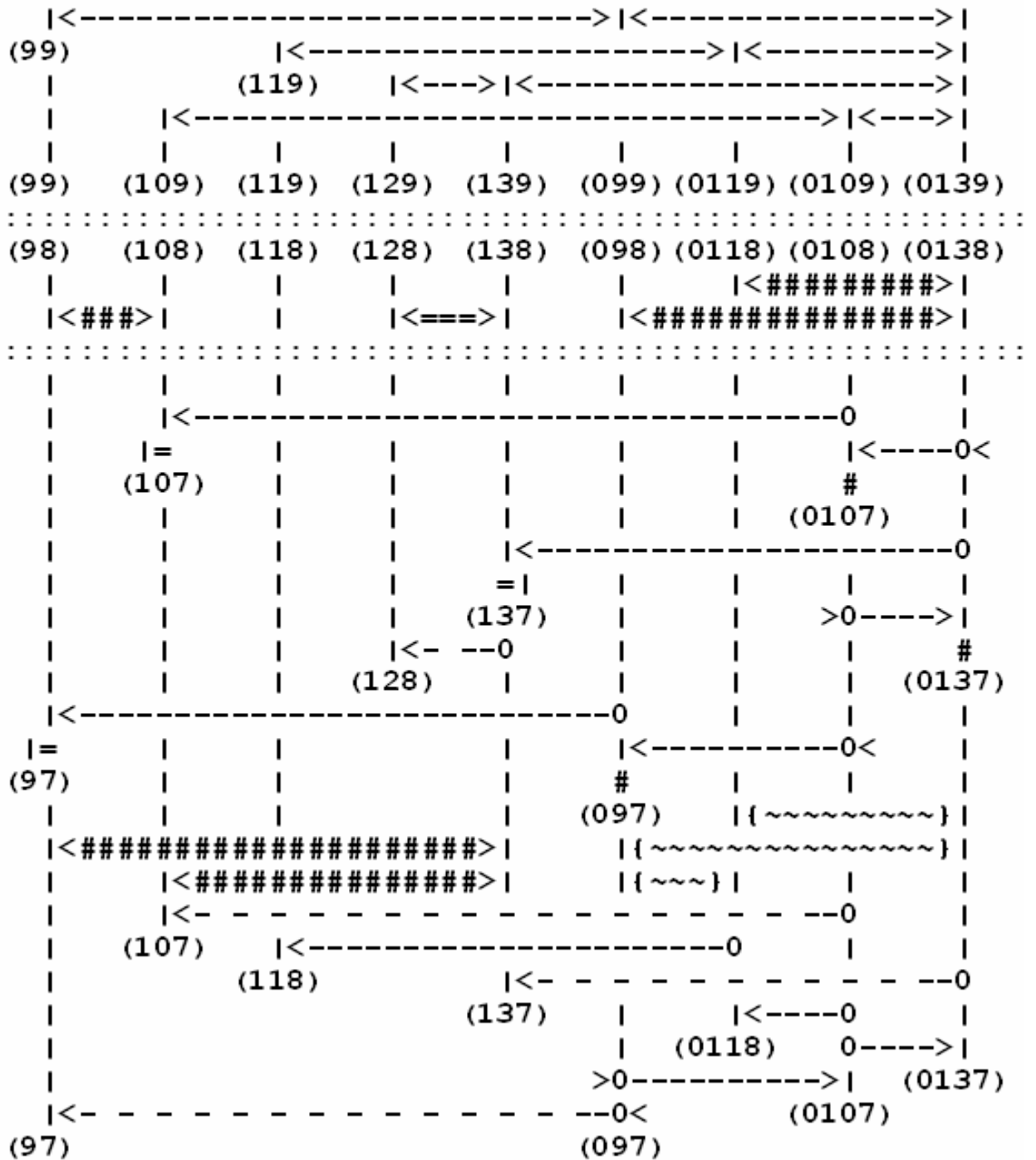


Рис. 2. Размерная схема технологического процесса  
(Проекция 2. Диаметральные размеры)

Символы «Т» и «М» используются при построении технологических размерных цепей.

Автоматизированные расчеты технологических размерных цепей в ЮУрГУ ведутся с 1970 г. За это время разработано несколько программных версий, в которых кодирование исходной размерной информации и построение полотна размерной схемы осуществляется двумя путями.

Отцами-основателями размерных расчетов в нашем городе являются работники Челябинского тракторного завода (ЧТЗ). Исторически сложилось, что построение размерных схем технологических процессов начиналось с исходных чертежных размеров, которые помещались в верхней части схемы. Все окончательные и промежуточные размеры-звенья в обратной последовательности маршрута технологического процесса помещались ниже, под авторским правом конструктора.

Основателем автоматизированных расчетов в нашем институте (ЮУрГУ) является профессор Матвеев В.В., который прошел уникальную производственную практику на ЧТЗ. Ученик ремесленного училища вырос до руководителя большого производственного подразделения. Свой опыт и знания производственных процессов действующего производства В.В. Матвеев с высочайшим профессионализмом передавал коллегам и студентам нашего университета.

Под его руководством на кафедре «Технология машиностроения» появилось новое научное направление — «Автоматизированный расчет и построение конструкторских и технологических размерных цепей». Интерес к этой научно-производственной области знаний не ослабевает вот уже более трех десятков лет. В разработке расчетных модулей участвуют не только талантливые молодые преподаватели и аспиранты, но и студенты различных специальностей университета. Чаще всего, они, совместно с постановщиками задач, вооруженные современной теорией программирования, проделывают основную работу по созданию уникальных исходных текстов программного продукта.

На рис. 1 показано кодирование исходной размерной информации одной из проекций проектного варианта технологического процесса механической обработки детали типа втулка. На рис. 2 построена размерная схема. В верхней ее части находятся исходные (конструкторские) чертежные размеры. Ниже — построены все операционные окончательные и промежуточные размеры, начиная с последней операции маршрута.

Это первый вариант построения размерной схемы.

Текстовые операционные карты и операционные эскизы в альбоме технологического процесса чаще всего начинаются с маршрута и эскиза исходной заготовки. Далее следуют черновые и все последующие операции до конечной контрольной операции, на которой проверяется соответствие конструкторских и технологических размеров и технических требований. Следуя этой логике, построение размерной схемы удобнее начинать с размеров эскиза исходной заготовки и оканчивать построение схемы чертежными размерами. В этом случае кодирование исходной размерной информации изменяется на обратное по сравнению с рис.1 и 2.

Это второй вариант построения схемы (рис. 3 и 4), в котором чертежные размеры оказываются в нижней части размерной схемы, размеры исходной заготовки помещаются в верхней части размерной схемы.

Пользователи различных приемов ручного построения размерных схем не испытывают затруднений ни в построении схемы, ни в написании уравнений замыкающих звеньев и последующих расчетах. Конечные результаты ручного и автоматизированного расчетов при различных приемах построения размерных схем аналогичны. А вот порядок ввода исходной размерной информации при различных приемах построения размерной схемы изменяется существенно на противоположный.

Алгоритм автоматизированного построения размерной схемы должен отработать любой порядок ввода размерной информации даже в том случае, когда пользователь заносит в компьютер информацию, не заботясь о правилах и порядке ввода размеров-звеньев.

На рис. 3 показана закодированная размерная информация технологического процесса, в нарушении любого здравого смысла порядка построения

Файл: Ru\_Shamin\_09\_3.rkc  
 Изделие: Втулка опорная  
 Дата (д.м.г): 21.11.2004

**Исходная размерная информация**

```

-----
1: 0 107 137                2: 0 97 137
3: 0 98 108                 4: 2 97 98 0,2
5: 2 138 137 0,08          6: 2 107 108 0,08
7: 2 128 138 0,3           8: 3 098 097 0
9: 3 0108 0107 0          10: 3 0118 0138 0 0,1 -0,1
11: 3 0138 0137 0         12: 3 098 0138 0 0,1 -0,1
13: 5 097 0118 0,05 -0,05 3  14: 5 097 0137 0,05 -0,05 3
15: 5 0118 0137 0,05 -0,05 3  16: 6 128 137M 0,4 0 1
17: 6R 97 097T 0,2 -0,5 1     18: 6R 137 0137M 0,105 0 2
19: 6R 107 0107M 0 -0,125 2   20: 7 097T 0107 0 0,05 -0,05
21: 7 098 0107T 0 0,005 -0,005  22: 7 0107M 0137 0 0,005 -0,005
23: 7 0107 0118M 0 0,005 -0,005  24: 7 0107T 0138 0 0,02 -0,02
25: 8 108 0108M 20 0 -0,05      26: 8 0108 0138T 0 0,01 -0,01
27: 8 138 0138M 15 0,05 0       28: 8 98 098M 28 0 -0,15
29: 8 118 0118M 19 0 -0,36      30: 9 0119 0139 0 0,1 -0,1
31: 9 099 0139 0 0,1 -0,1       32: 9 0109 0139 0 0,025 -0,025
33: 9 99 099 28 0 -0,15         34: 9 109 0109 20 0 -0,05
35: 9 119 0119 19 0 -0,26       36: 9 139 0139 15 0,05 0
37: 9 129 139 0,3 0,8
  
```

Рис. 3. Прием свободного ввода исходной размерной информации

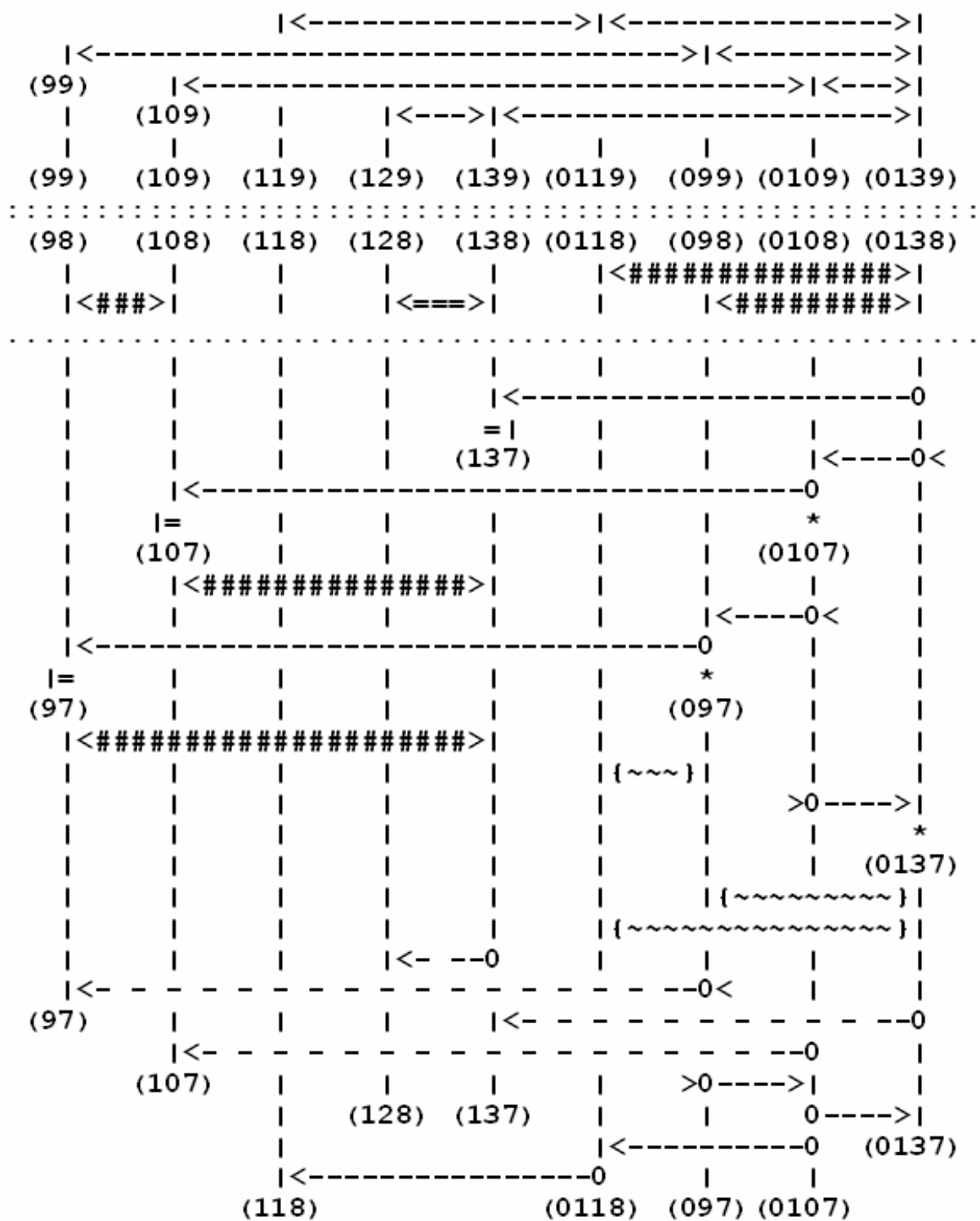


Рис. 4. Размерная схема технологического процесса, построенная после свободного ввода размеров-звеньев

размерной схемы, а на рис.4 построена сама схема. При сравнении двух вариантов ввода информации (см. рис. 1, 2, 3 и 4) хорошо виден, легко узнаваемый и сравнимый рисунок схемы. Однако порядок построения размеров-звеньев имеет заметные отличия. И все-таки обе размерные схемы построены правильно. Если в автоматизированном расчете и построении

размерных цепей пользователь будет придерживаться выбранного маршрута технологического процесса, то конечные результаты и полотно схемы не будет отличаться от ручных работ при построении и расчете окончательных и промежуточных размеров.

Узнаваемость размерных схем автоматизированного построения при беспорядочном вводе исходной размерной информации достигается в программном продукте за счет работы специального альтернативного алгоритма.

## **ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРНЫХ СХЕМ НА ПЛОСКОСТИ**

Е.В. Пугач, П.Г. Пугач, В.Ю. Шамин

Размерная сеть схемы из окончательных и промежуточных операционных размеров, наброшенная на технологический процесс изготовления детали, используется не только для оформления операционных эскизов и карт наладок. Она позволяет с высокой точностью рассчитать ускоренные и рабочие координатные перемещения инструмента до любой математической точки в расчетно-технологическую карту автоматизированной операции.

Превращение исходной размерной информации в размерную схему можно представить в виде задачи составления мозаики, где кусочками общей «картины» являются полотно из размеров-звеньев. В действительности, в обычной мозаике каждому кусочку отведено только одно свое законное место, и найти это место не составляет большого труда. Место отдельного кусочка мозаики определяется взаимным расположением соседних кусочков. Но в этой простоте есть свои особенности.

Можно начинать сборку полотна мозаики между первыми и последними кусочками. Первые кусочки не отягощены никакими связями и устанавливаются на любом свободном месте. Для постановки последних кусочков остается только один, и, возможно, единственный вариант.

Но это условие справедливо только для «правильной» мозаики, когда все частички общей картины разные и нет двух одинаковых. В такой ситуации и вариант расстановки только один.

А если в картине есть повторяющиеся участки и есть кусочки одинаковой формы и размеров?

Представим репродукцию «Черного квадрата» Малевича.

Если разрезать ее на четыре одинаковых квадрата, то и собрать их вместе можно будет по-разному, получив одинаковый результат. Прежде всего, нас интересует результат. И в данном случае, если мы не определили особенности каждого из элементов мозаики, значит, нас не должно интересовать взаимное расположение одинаковых частей — результат будет одинаков.

При разработке алгоритма построения полотна со схемой мозаики для конкретной задачи необходимо определить все связи и взаимозависимости, не оставляя компьютеру место для вариаций и «творчества». Для опреде-

ления этих связей и порядка расположения элементов необходимо намеренно нагружать задачу зависимостями, оговаривая критерии и задавая их конечный вид.

Конкретизируем эту задачу.

Построить размерную схему, для ее визуального анализа.

Для этого рассмотрим соглашения по кодированию исходной размерной информации в программе «Visual KursAR».

Кодированием правой и левой поверхности звена фактически определяются поверхности конструктивных элементов изделия, исходной заготовки, или заготовки на промежуточных операциях или технологических переходах. И здесь же фиксируется взаимное расположение этих поверхностей, которое определяется условными цифрами (номера) поверхности. В размерной схеме эти номера-поверхности выступают в роли базовых точек расчета технологического процесса. На схемах это, обычно, вертикали, которые идут вдоль условной линии обрабатываемых поверхностей по операциям и переходам. Назовем эти линии размерными вертикалями, предполагая вертикальное представление развития процесса в хронологическом измерении.

Значит, для отдельного звена можно зафиксировать его координатное расположение, учитывая положение номеров левой и правой поверхностей. Набор звеньев образует сеть схемы из связанных размеров-звеньев. Звенья, «соприкасаясь», определяют взаимное расположение. В этот момент каждое из звеньев определяет место очередной размерной вертикали.

Рассматривая, таким образом, нашу абстракцию по составлению мозаики, можно последовательно приступать к сборке общей картинке схемы. Первое звено без труда заносится на полотно схемы и фиксируется его координатное расположение между двух размерных вертикалей. Следующее звено должно быть таким, чтобы его поверхность соприкасалась с предыдущим звеном.

Вот в таком варианте мы точно знаем, куда приложить одну из поверхностей размера, и где будет расположена другая поверхность, которая должна отстоять на величину размера звена в заранее известном направлении. Очевидно, что задача построения размерной схемы решается преимущественно после размерного расчета. Чем больше размеров мы нашли и уточнили в решении, тем «точнее» будет наша схема. В первую очередь рассматривается технологический базис — чертежные конструкторские размеры. Во вторую — окончательные технологические звенья с известными размерами.

В этот момент необходимо предусмотреть некоторые особенности построения. Если от одной зафиксированной размерной вертикали нужно проставить два звена одного размера, и в одном и том же направлении, то на размерной схеме должно быть отмечено две вертикали с различными номерами.

Как эти вертикали координировать между собой?

Взаимное расположение звеньев в такой ситуации будет определяться порядковым номером звена, определенным при кодировании. Действительно, ведь никакой дополнительной информации у нас нет.

Пусть каждая последующая поверхность рассматриваемого звена с нулевым размером будет становиться рядом с поверхностью отсчета (левая поверхность рядом с правой поверхностью звена и наоборот). Таким образом, предыдущие, рядом стоящие, вертикали будут раздвигаться, уступая место новым вертикалям.

Теперь можно утверждать, что в одном измерении алгоритм расставит размерные вертикали и размеры-звенья, которые зафиксируют эти звенья в сторону измерения размеров.

Гораздо более интересной является задача расстановки звеньев в хронологическом порядке изменения технологического процесса по операциям и переходам. Здесь нашим помощником выступает кодирование последовательности выполнения операций или технологических переходов. Об этом свидетельствует последняя цифра номера поверхности. Назовем эту цифру счетчиком, который обозначает единицу технологической операции. Проходят изменения на поверхности изделия или заготовки — меняется номер цифры на счетчике.

Указанным образом кодируются и размеры-звенья по переходам, переводя рабочую поверхность на новую вертикаль с учетом смены номера на счетчике. Таким образом, технологический процесс обработки изделия хронологически представляется как вертикальное движение по схеме технологических поверхностей изделия или заготовки, которые претерпевают различные операции. Кодировав подобным образом номера поверхностей, мы задаем вертикальное взаиморасположение звеньев, где для одной размерной вертикали, поверхность с большим номером на счетчике помещается выше поверхности с меньшим номером.

Казалось бы, что же тут сложного?

Дело в том, что операции по разным размерным вертикалям одного звена не синхронизированы. Подбирая место для левой поверхности очередного звена в нашей размерной схеме-мозаике, мы легко можем нарушить порядок следования операций для правой части. Чтобы избежать таких случаев, необходимо на следующем шаге алгоритма расстановки размеров выбрать такое звено, которое потенциально меньше всего сможет нарушить целостность схемы. Конечно же, идеальным помощником нашего алгоритма выступает оператор, который занимается кодированием, а алгоритм, при выборе очередного кусочка мозаики, старается максимально учесть введенный порядок звеньев, доверяя опыту технолога, который кодирует технологический процесс.

В конечном итоге, программа лишь отображает закодированную оператором последовательность, следуя принятым соглашениям.

## **ОБНОВЛЕНИЕ ПАКЕТА ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ «ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА»**

А.С. Гладков, В.Ю. Шамин

Пакет прикладных программ «LIB» — «Электронная библиотека» предназначен для работы с электронным вариантом учебно-методической литературы. В нем фиксируется страничный макет документа Word с помощью

отдельных фото-файлов с форматом .GIF. Рисунки в этом формате, требуют меньше дискового пространства, а количество созданных файлов совпадает с количеством страниц в бумажном носителе издания.

При создании пакета решались следующие задачи:

обеспечение универсальности программы;

обеспечение способов «беспорядочной» работы с текстом;

обеспечение возможности использования содержаний (оглавления).

При обеспечении универсальности была поставлена основная подзадача — независимость программного модуля от компонентов Windows.

Один модуль — для всех изданий.

Сейчас алгоритм программы самостоятельно декодирует, масштабирует, отображает, осуществляет навигацию и создает содержание, не используя технологии HTML и Java Script. Единственный блок, интегрированный из Windows — «Проводник», который поставляется со всеми версиями Windows, и всегда устанавливается вместе с программными продуктами Windows.

Предыдущие версии этой программы выполняли навигацию файлов по поиску страничного текста лишь для одного документа и были недоступны для страничных текстов других электронных изданий. Сейчас эта проблема решена с помощью особого алгоритма и интеграции в программу «Проводник».

Для обеспечения «беспорядочной» работы с текстом были выявлены необходимые элементы, обеспечивающие удобную работу с текстом издания.

Наглядное представление этих элементов в виде интуитивно понятного интерфейса отображается на панелях экрана.

С учетом особенностей обращения человека с бумажным носителем были выявлены элементы, реализация которых повышает эффективность работы с электронными изданиями:

способность запоминать предыдущие страницы;

навигация по просмотренным ранее страницам издания;

способность к переходу на любую страницу издания по желанию пользователя простым набором номера страницы.

В пакете созданы и помещены на кнопки специальные рисунки, которые позволяют без чтения подсказки, интуитивно определить назначение клавиши. Для каждого элемента, расположенного на панели инструментов, занесена в память всплывающая подсказка.

Улучшен графический интерфейс программы и качество визуального отображения страницы. Добавлена возможность прокрутки страницы без прерывистого мелькания экранного текста.

Решена проблема написания «Содержания» («Оглавления») пользователем-непрофессионалом.

Программный пакет версии «LIB» поддерживает печать из программы с функцией «Предварительного просмотра» и позволяет разместить и скорректировать размеры изображения на бумажном листе или размещать его по умолчанию на весь лист.



Данная версия программного продукта, помимо формата .GIF, поддерживает форматы: .JPEG и .BMP.

В программе включена поддержка плагинов — Dynamic Link Library (DLL). Эта динамически подключаемая библиотека содержит в себе специальную программу для поддержки только «пассивных» плагинов, которые не оказывают влияние на среду родительского приложения.

В настоящее время в работе находится несколько подпрограмм, которые будут включены в набор поставки LIB. Среди них модуль «Тест», который позволит осуществлять тестирование по разделам изучаемых пособий. Планируется включить в раздел описания исходные коды плагина для того, чтобы любой из пользователей мог создать собственный плагин.

Работа с программой по всем разделам описана в «Справке».

«Электронная библиотека» некоммерческий проект и распространяется бесплатно. Ее можно скачать с сайта библиотеки ЮУрГУ. Особых требований к компьютеру не предъявляется.

## **ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ «ПРИЗМА»**

А.С. Гладков, В.Ю. Шамин

Работниками кафедры «Технология машиностроения» ЮУрГУ разработан, тестируется и отлаживается программный продукт «Призма», предназначенный для параметрического проектирования конструктивных элементов станочного или контрольного приспособлений с установочными опорами типа «призма».

Установочные призматические элементы являются основными опорами приспособлений для базирования заготовок с цилиндрическими поверхностями. В машиностроении призматические опоры используют для фрезерования и шлифования шпоночных пазов и лысок, для сверления центровых и крепежных отверстий, для контроля формы и расположения сопрягаемых поверхностей и т.д. Причем, выполняемые или контролируемые размеры задаются от различных измерительных баз (рис. 1):

нижней образующей вала (линией), связанной с обрабатываемой поверхностью размером  $H_1$ ;

верхней образующей вала, связанной с обрабатываемой поверхностью размером  $H_2$ ;

осью вала, связанной с обрабатываемой поверхностью размером  $H_3$  (смещение центра окружности по биссектрисе).

Программный продукт «Призма» рассчитывает конструктивные размеры неподвижной призмы и погрешности базирования в зависимости от измеряемого размера (см. рис. 1). При этом решаются смешанные задачи, в которых используются известные зависимости угла развертки призмы и допуска на диаметр изделия или заготовки. Используя расчетные величины погрешностей, можно провести параметризацию конструктивных элементов призмы.

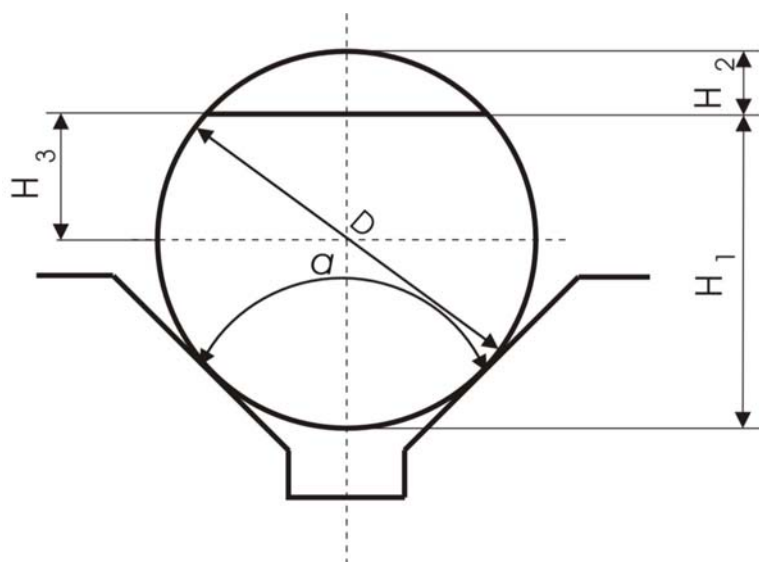


Рис. 1. Схема контроля размеров изделия (заготовки) от различных измерительных баз

Формулы расчета достаточно просты, но решение «прямой» задачи (нахождение погрешностей) и «обратной» (нахождение угла по заданной погрешности) при множестве вариантов занимает много времени. Поэтому идет тщательная отладка программного модуля, который бы позволил решать прямую и обратную задачи, с соответствующим алгоритмическим и информационным обеспечением.

Этот модуль будет поставляться в качестве плагина к пакету прикладных программ «Электронная библиотека».

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ КРУТОИЗОГНУТЫХ ОТВОДОВ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

А.В. Козлов, А.В. Бобылев

Трубы имеют широкое распространение в промышленности и в быту в качестве элементов трубопроводов, транспортирующих однородные жидкости и газы, пар, продукты, содержащие твердые частицы. Для широкого применения трубопроводов требуется максимальная механизация процессов изготовления большого числа их криволинейных участков, которые служат для рациональной компоновки трубопроводов.

Гибка труб является одной из основных операций технологического процесса изготовления деталей трубопроводов. Она нашла весьма широкое и разностороннее применение в различных отраслях общего и специального машиностроения: автостроении, самолетостроении, нефтяной и газовой промышленности и т.д.

Разработанный на кафедре ТМСИ (филиал ЮУрГУ в г. Златоусте) способ гибки труб в холодном состоянии [1] заключается в следующем. При вращении  $\varphi_1$  раскатника (рис. 1,а), заведенного в трубу с достаточно большим натягом, в каждой точке кольцевой зоны раскатывания возникает знакопеременный изгиб (рис. 1,б), при котором изгибные напряжения кратко-

временно достигают предела текучести  $\sigma_T$ . В результате при приложении относительно небольшого изгибающего усилия  $\varphi_2$  происходит гибка в перемещающейся кольцевой зоне раскатывания [2].

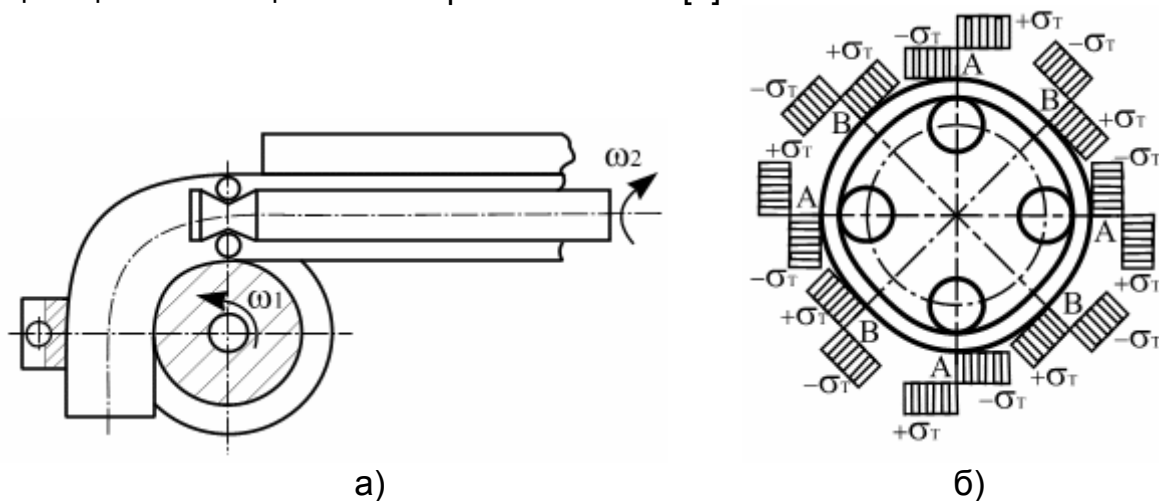


Рис. 1. Схема гибки труб, раскатываемых с большими натягами

Технология и оборудование, разработанные для реализации такого способа гибки труб, применяются в основном в коммунальном хозяйстве для изготовления криволинейных участков трубопроводов диаметром от 50 до 150 мм, которые требуются при ежегодных ремонтно-восстановительных работах в большом количестве. Трубы, применяемые в коммунальном хозяйстве, изготавливают из сталей 2, 3 и стали 20. Под эти марки сталей были разработаны технологические параметры гибки труб с раскатыванием. Однако, в последнее время появился новый социальный заказ — изготовление теплообменного оборудования для нефтехимической промышленности и элементы декоративной отделки зданий, сооружений (перила, дверные ручки и другие), а так же элементов тюнинга автомобилей (пороги, кенгуринг и т.д.). Наилучшим образом для этих целей подходят трубы из стали 12Х18Н10Т, поскольку эта сталь обладает высокими антикоррозийными свойствами, имеет весьма длительный срок работы при температуре до 600°С и позволяет получать прочные и герметичные сварные соединения.

Механические свойства сталей имеют решающее значение при выборе технологических параметров гибки труб с раскатыванием. Поэтому следует сравнить механические свойства этих сталей (табл. 1).

В первую очередь следует оценить устойчивость оболочки из разных материалов, а именно определить при каком изгибающем моменте начнется процесс гофрообразования. Критерий устойчивости изгибаемой оболочки [3] определяется по формуле

$$\sigma_{T\text{кр}} = M_{\text{и}} / (\pi R^2 h) = 0,605 E h / R,$$

где  $M_{\text{и}}$  — изгибающий момент;  $R$  — радиус оболочки;  $h$  — толщина стенки оболочки;  $E$  — модуль упругости оболочки.

Однако он применим к оболочкам, испытывающим упругое напряженное состояние. Для труб, изгибаемых моментом, создающим напряжения в стенках трубы, достигающих предела текучести и выше, модуль упругости  $E$  должен быть заменен на зависимость

$$E^1 = (\sigma_B - \sigma_T) / \varepsilon_B,$$

где  $\varepsilon_B$  — удлинение материала при достижении  $\sigma_B$  (для стали 20 —  $\varepsilon_B = 0,25$ ; для 12Х18Н10Т —  $\varepsilon_B = 0,4$ ).

Таблица 1

Механические свойства стали	Марка стали					
	2кп	2 пс 2сп	3 кп	3пс 3сп	20	12Х18Н10Т
Предел текучести, $\sigma_T$ , кгс/мм <sup>2</sup>	19...22	20...23	20...24	21...25	25	20
Предел выносливости, $\sigma_T$ , кгс/мм <sup>2</sup>	33...42	34...44	37...47	38...49	42	52
Относительное удлинение, $\delta$ , %	33	32	27	26	25	40

Тогда момент, при котором образуются гофры определяется по формуле

$$M_{\text{гофр}} = \pi R^2 h 0,605 h (\sigma_B - \sigma_T) / (R \varepsilon_B).$$

Проведена оценка критерия устойчивости на примере оболочки диаметром 57 мм и толщиной стенки 5 мм. Для оболочки из стали 12Х18Н10Т порог гофрообразования выше на 15%. Таким образом, учитывая, что предел текучести у сталей 2, 3, 20 и 12Х18Н10Т различается незначительно, можно использовать одинаковые технологические параметры для гибки труб из этих сталей с дополнительным воздействием на трубу раскатного инструмента.

Однако возникает вопрос, как удержать величину натяга — главного технологического параметра гибки с раскатыванием, в заданных пределах. Проблема состоит в том, что при раскатывании с большими натягами происходит укатывание внутренней поверхности трубы и утонение стенки, а из-за напряжений действующих в окружном направлении — раздача трубы по диаметру. Это приводит к уменьшению натяга. А поскольку, пластические свойства стали 12Х18Н10Т выше аналогичных свойств сталей 2, 3 и 20 на 17...37%, то при равных контактных напряжениях действующих в зоне контакта внутренней поверхности трубы и деформирующего элемента, укатывание и раздача трубы по диаметру у стали 12Х18Н10Т будут происходить значительно быстрее.

Решением этой проблемы является увеличение натяга на 20...25%, но вместе с этим повышаются контактные напряжения, что сказывается на стойкости деформирующих элементов и раскатного инструмента в целом.

В ходе контрольных экспериментов было изогнуто 65 труб диаметром 57 мм и толщиной стенки 5 мм из стали 12Х18Н10Т. Гибка осуществлялась на угол 180° (рис. 2).



Рис. 2. Фотография изогнутых труб  $\text{Ø}57 \times 5$  из стали 12Х18Н10Т

Одного комплекта раскатного инструмента хватало на двагиба. Для сравнения — одного комплекта раскатника, при гибке труб из сталей 2, 3 и 20 хватает на 20...25 аналогичных гибов. Значительную роль здесь играет нагрев инструмента. Сталь 12Х18Н10Т имеет меньшую теплопроводность, поэтому существенная часть теплоты, выделяемой при пластической деформации, приходится на нагрев инструмента. Температура в зоне раскатывания достигает  $650...700^\circ\text{C}$ , что при отсутствии охлаждения вызывает отпуск деформирующих элементов из стали ШХ15. Обычно при гибке с раскатыванием в качестве охлаждающей жидкости используется вода с расходом 2,5...5 литров в минуту. При гибке труб из стали 12Х18Н10Т этого явно недостаточно, поэтому вода была заменена сульфофрезолом и расход увеличен до 10 литров в минуту. Стойкость инструмента возросла до четырех гибов на один раскатник.

Все гибы были подвергнуты контрольным замерам по следующей схеме (рис. 3). В пяти сечениях оценивалась величина овальности. Результаты замеров приведены на графике (рис. 4). Средняя величина овальности составила 4,88%. Вызывает интерес падение овальности в третьем сечении гибов на 0,1...0,3% по сравнению со вторым и четвертым сечениями, хотя обычно в этом сечении наблюдается максимальная овальность. Причина

этого падения была выявлена при проведении контрольных замеров диаметра ложемента гибочного ролика. В области соприкосновения ложемента с третьим сечением наблюдается уменьшение диаметра ложемента на 0,1...0,2 мм. Таким образом, даже при относительной тонкостенности трубы 11,4 происходит полное копирование формы ложемента с точностью до 0,1%. Ложемент выполняется для одного диаметра трубы, но различных толщин стенок. Из них выбирается труба с наибольшим требуемым натягом и под нее выполняется ложемент. Поэтому, в том случае, когда требуется повышенное качество формы поперечного сечения трубы, следует выполнять ложемент под один диаметр и одну толщину стенки. Особенно это относится к трубам с относительной тонкостенностью более 40 ед.

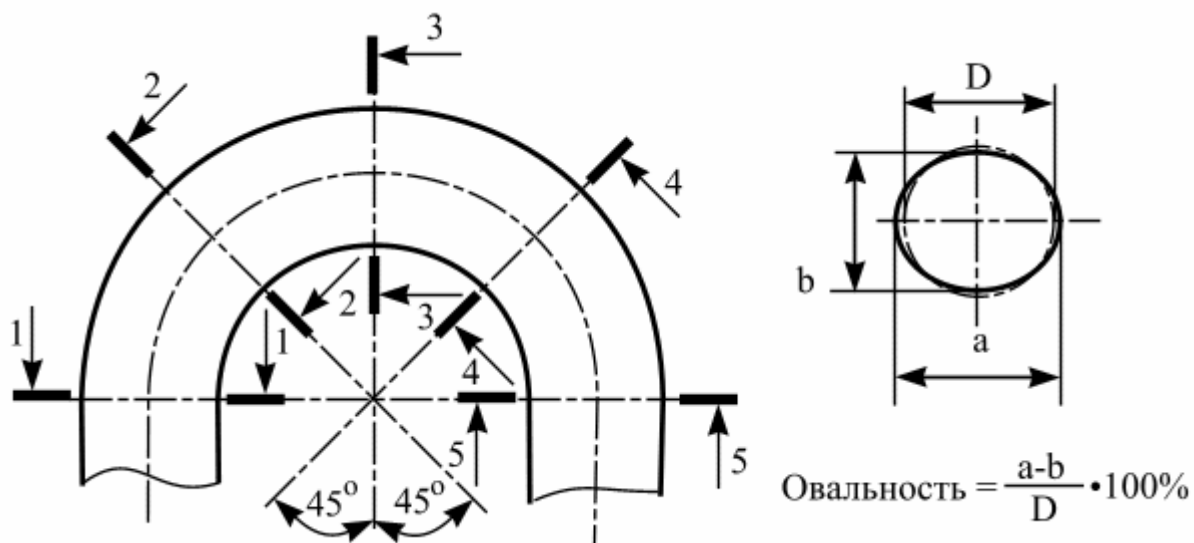


Рис. 3. Схема проведения контрольных замеров

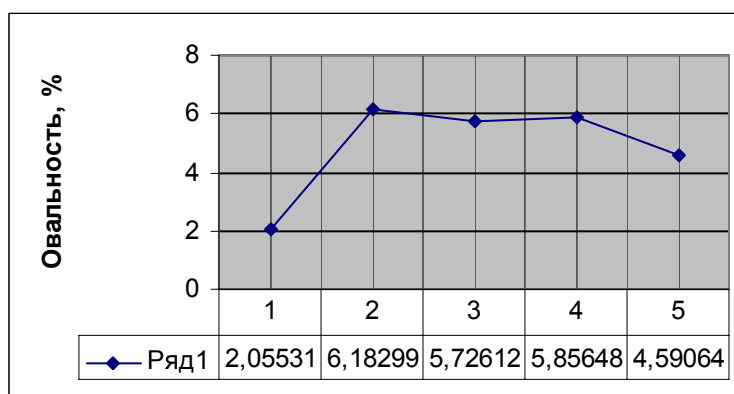


Рис. 4. Результаты контрольных замеров

Таким образом, можно изгибать трубы из легированных сталей методом гибки с раскатыванием, при этом требуется увеличение натяга на 20...25% у относительно толстостенных труб, расхода СОЖ в 2...2,5 раза и выполнение ложемента гибочного ролика с повышенной точностью.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лакирев С.Г., Хилькевич Я.М. Патент РФ № 818707. Способ гибки труб // Б.И. — № 13. — 1981.
2. Эффект снижения усилия при гибке труб, раскатываемых с большими натягами, и механизм его проявления / С.Г. Лакирев, Я.М. Хилькевич, А.В. Козлов, А.В. Бобылев // Прогрессивная технология чистовой и отделочной обработки. — Челябинск: ЧГТУ, 1995.
3. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчет на прочность деталей машин. — М.: Машиностроение, 1993.

## ЭЛАСТИЧНОСТЬ ОТКРЫТОЙ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

П.А. Норин, А.М. Осипов, Е.В. Архипова

Под эластичностью сварочной дуги понимают ее способность увеличивать свою длину без обрыва. Причины, вызываемые изменения длины дуги, связаны с изменениями электрических параметров сварочной цепи и скоростью подачи электрода и другими причинами. Мерой эластичности сварочной дуги является максимальная длина, превышение которой приводит к ее обрыву. Предельное значение длины дуги обычно называют разрывной длиной  $I_{д.р.}$  [1].

Разрывная длина открытой сварочной дуги, горящей между электродом Бр.КМц 3-1 (диаметр  $d_э = 1,8$  и  $4,0$  мм) и пластиной 30ХГСА на обратной полярности определялась по методике К.К. Хренова [1]. Оплавление электродов производили от источника ВД-306. Перед возбуждением дуги, электрод устанавливался в электродержатель с зазором 2 мм между электродом и пластиной. В ходе эксперимента определяли зависимости разрывной длины дуги  $I_{д.р.}$  от напряжения дуги  $U_{д.}$ , величина сварочного тока  $I_{д.}$  и тока разрыва дуги  $I_{д.р.}$ . Разрывную длину дуги определяли как среднее значение из пяти опытов. Электрические параметры дуги  $U_{д.}$ ,  $I_{д.}$ ,  $I_{д.р.}$  определяли с помощью двухлучевого осциллографа С8 в режиме запоминания.

В таблице приведены значения разрывной длины дуги при различных значениях тока  $I_{д.}$  и напряжения  $U_{д.}$  при горении открытой сварочной дуги между стальной пластиной из 30ХГСА и электродами Бр.КМц 3-1  $d_э = 1,8$  и  $4,0$  мм. Как видно из таблицы при изменении тока дуги  $I_{д.}$  в пределах 78–140 А и напряжения дуги в пределах 42–55 В разрывная длина дуги  $I_{д.р.}$  изменяется от 7 до 18 мм.

Из таблицы следует, что при естественном удлинении дуги ее обрыв происходит в том случае, когда разрывной ток дуги  $I_{д.}$  составляет приблизительно половину сварочного тока

$$I_{д.} \approx 2 I_{д.р.} \quad (1)$$

Это соотношение между  $I_{д.}$  и  $I_{д.р.}$  подобно зависимости между ячеечным и пороговым током [2]

$$I_{я} = 2 I_{п} \quad (2)$$

Таблица

Характеристика катодного пятна открытой сварочной дуги

№ п/п	Катод Марка материала	Анод		$I_D, A$	$U_D, B$	Ток обрыва дуги $I_{D.O.}, A$	Ячеечный ток $I_{я}, A$	Количество ячеек	Пороговый ток $I_D, A$		Разрывная длина дуги $l_{ДР.}, мм$
		Марка электрода	$d_3$						Расчет	Эксперимент	
1.	30ХГСА (пластина)	Бр.КМц 3-1	1,8	78	42	40	9	9	4,5	4,4	7-10
2	30ХГСА (пластина)	Бр.КМц3-1	1,8	80	55	40	9	9	4,5	4,5	11-16
3.	30ХГСА (пластина)	Бр.КМц 3-1	1,8	90	48	42	9	10	4,5	4,2	12-15
4	30ХГСА (пластина)	Бр.КМц 3-1	1,8	110	47	65	9	12	4,5	5,0	10-15
5	30ХГСА (пластина)	Бр.КМц 3-1	1,8	140	47	75	9	16	4,5	4,5	11-18
6	30ХГСА (пластина)	Бр.КМц 3-1	4,0	80	53	42	9	9	4,5	4,7	12-18
7	30ХГСА (пластина)	Бр.КМц 3-1	4,0	95	45	47	9	11	4,5	4,3	12-14
8	30ХГСА (пластина)	Бр.КМц 3-1	4,0	120	48	65	9	13	4,5	5,0	10-12
9.	30ХГСА (пластина)	Бр.КМц 3-1	4,0	122	46	58	9	13	4,5	4,5	8-15



Установлено [4], что при горении открытой сварочной дуги между стальной пластиной (катод) и проволочным электродом Бр.КМц 3-1 величина ячеечного тока составляет 9 А. Тогда в соответствии с уравнением (2) пороговый ток равняется  $I_n = 4,5$  А. Это расчетное значение  $I_n$  приведено в таблице.

Определение экспериментальной величины порогового тока производилось по следующей методике [2]. Разделив общий ток дуги  $I_d$  на ячеечный ( $I_n = 9$  А) получим число ячеек катодного пятна одновременно существующих при данном токе (таблица). В процессе удлинения дуги и уменьшения тока дуги  $I_d$  можно предположить, что в ячейках катодного пятна одновременно происходит уменьшение ячеечного тока до порогового тока. При этом количество ячеек в катодном пятне не изменяется. Тогда разделив ток обрыва дуги  $I_{д.о.}$  на количество ячеек, одновременно существующих при данном токе  $I_d$ , определяем экспериментальный пороговый ток. Как следует (таблица) экспериментальный пороговый ток  $I_n$  изменяется от 4,2 до 5,0 А. В среднем эта величина близка к расчетной (см. таблицу).

В работе [3] величину порогового тока  $I_n$  определяли на специальной установке при горении дуги в углекислом газе электродной проволокой СВ-08Т2С  $d_3 = 2$  мм. Величина порогового тока составила 3–4 А, что близко к значению  $I_n$  определенное экспериментально (см. таблицу).

Из выше приведенных данных следует, что обрыв открытой сварочной дуги, горящей между стальной пластиной и проволокой Бр.КМц 3-1 происходит в том случае, когда величина тока обрыва достигает половины сварочного тока  $I_s$ , а величина тока в каждой ячейке катодного пятна достигнет порогового. Обрыв дуги, как объясняется в литературе [3], происходит тогда, когда напряжение недостаточно для поддержания дуги данной длины. Полученные экспериментальные данные дополняют это предположение тем, что в этом случае, происходит уменьшение тока дуги и как результат уменьшение ячеечного тока во всех ячейках катодного пятна до порогового. В этом случае сварочная дуга должна погаснуть.

Из таблицы следует, что с увеличением тока дуги от 70 до 140 А величина порогового тока остается постоянной величиной при горении открытой сварочной дуги между стальной пластиной и проволочным электродом Бр.КМц 3-1. Изменение напряжения дуги также не влияет на величину порогового тока (см. таблицу).

Отсутствие влияния сварочного тока и напряжения дуги на величину порогового тока следует из уравнения, полученного в работе [2].

$$I_n = 0,52 \cdot 10^{-3} T_k (\lambda)^{1/2}. \quad (3)$$

где  $T_k$  — температура кипения металла;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности металла.

Из формулы (3) следует, что пороговый ток является функцией только тепловых характеристик металла: температуры кипения металла  $T_k$  и его теплопроводности и не зависит от ионизационного потенциала металла.

Формула (3) применяется для расчета порогового тока для всех металлов кроме ферромагнитных [2]. С учетом экспериментальных данных (таблица) предлагается уравнение, позволяющее оценить величину порогового тока для ферромагнитных металлов.

$$I_n = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot T_{пл} (\lambda)^{1/2}. \quad (4)$$

Величина порогового тока рассчитанная по формуле (4) для стали 30ХГСА ( $T_{пл} = 3\,045\text{ К}$ ,  $\lambda = 0,96\text{ кал/см}\cdot\text{с}\cdot\text{К}$ ), составила 4,5 А.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хренов К.К. Электрическая сварочная дуга. — Киев – Москва: Машгид, 1949. — 24 с.
2. Кесаев И. Г. Катодные процессы в электрической дуге. — М.: Наука, 1968. — 244 с.
3. Ленивкин В.А., Дгоргеров И.Т., Сагиров Х.Н. Электрические свойства сварочной дуги. — М.: Машиностроение, 1989. — 264 с.
4. Норин П.А., Третьяков А.Ю., Малышев Н.И. Структура, геометрические и физические характеристики катодного пятна открытой сварочной дуги // Сварочное производство, 2001. — С. 3–5.

## ОСОБЕННОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ СПЛАВОВ

Фадюшин С.А., Плачкова В.А.

Эксплуатация деталей машин при повышенных температурах, в активных средах, при значительных динамических нагрузках вызывает необходимость изготовления их из кислотостойких, жаропрочных, жаростойких материалов, имеющих низкие показатели обрабатываемости.

Основной финишной операцией при обработке таких материалов является шлифование. В настоящее время в зависимости от типоразмера деталей, формы и вида обрабатываемой поверхности существует свыше 30 разновидностей операций шлифования.

Бесцентровое шлифование играет особую роль в освоении высокопроизводительных методов окончательной обработки, повышения точности и снижения себестоимости выпускаемой продукции. Высокая степень автоматизации бесцентровошлифовальных станков, оснащенных загрузочными и разгрузочными механизмами, приборами для автоматического контроля и регулирования размеров обрабатываемых деталей, а также их значительная жесткость позволяют вести обработку на высоких режимах резания. По производительности бесцентровый круглошлифовальный станок сравним с тремя многошпиндельными токарными автоматами или тремя круглошлифовальными станками. Всё это говорит о том, что метод бесцентрового шлифования является самой эффективной финишной операцией для деталей, у которых отсутствуют жесткие требования на точность формы поперечного сечения.

Современное развитие техники связано с созданием и освоением технологии обработки деталей из сталей и сплавов с особыми физико-механическими свойствами. Важнейшими из этих свойств являются коррозионная стойкость в различных средах, жаропрочность и высокая механическая прочность. Такие материалы содержат железо, никель, молибден, вольфрам и другие элементы. Специальные стали имеют прочность до  $700^{\circ}\text{C}$ , сплавы на основе никеля — до  $1100^{\circ}\text{C}$ , сплавы на основе молибдена и ниобия — до  $1500^{\circ}\text{C}$ , на основе вольфрама — до  $2000^{\circ}\text{C}$ . Для работы в условиях термических ударов или воздействиях тепловых потоков применяются калиброванные материалы, состоящие из пористого вольфрама (плотностью 75...80% от компактного), пропитанного легкоплавкими металлами — медью или серебром.

Широко применяются материалы с высокой удельной прочностью. Из труднообрабатываемых к ним относятся титановые сплавы и высокопрочные стали ( $\sigma_{\text{в}} \geq 160 \text{ кгс/мм}^2$ ), которые подразделяются на три группы.

1. Низколегированные высокопрочные стали, содержащие 0,25...0,45% С, до 5% Cr, до 2,5% Ni, до 1,5% Г, Мо и В, W и Si до 1%. В зависимости от химического состава и режима термообработки эти стали имеют  $\sigma_{\text{в}} = 160...220 \text{ кгс/мм}^2$ ;

2. Коррозионно-стойкие (нержавеющие) высокопрочные стали, содержащие около 12% Cr и примерно в том же количестве как и предыдущие стали, другие легирующие элементы. Однако для деталей, работающих в тяжелых условиях, применяются стали с  $\sigma_{\text{в}} = 170...180 \text{ кгс/мм}^2$ , так как при большей прочности стали имеют низкую пластичность и малое сопротивление распространению трещин;

3. Безуглеродистые мартенситно-старяющие стали с содержанием до 17...19% Ni, до 7...9% Co, до 4...6% Мо, 0,5...1% Ti. После закалки с  $500...650^{\circ}\text{C}$  и старения при  $450...500^{\circ}\text{C}$  эти стали имеют  $\sigma_{\text{в}} = 190...210 \text{ кгс/мм}^2$ ,  $\delta = 8...12\%$ ,  $\psi = 40...60\%$ ,  $\alpha_{\text{н}} = 4...6 \text{ кгс м/см}^3$ .

Повышение содержания в этих сплавах Cr до 12...16% и Мо до 8...10%; при 12...13% Ni позволяет после старения получать  $\sigma_{\text{в}} = 280 \text{ кгс/мм}^2$ ,  $\delta = 8\%$ ,  $\psi = 42\%$ , HRC 62. Однако с повышением жаропрочности сталей и сплавов повышается тенденция к снижению применяемых скоростей резания. При обработке ряда жаропрочных сплавов применяются скорости резания в 10–20 раз меньше, чем при обработке стали 45. Скорости резания, применяемые при обработке высокопрочных сталей, обратно пропорциональны квадрату их предела прочности.

В нашей стране разработано большое количество марок сталей и сплавов со специальными свойствами. В табл. 1 приведена классификация таких сталей и сплавов, в основу которых положен химический состав материалов.

Основной причиной низкой обрабатываемости труднообрабатываемых сталей и сплавов, в данном случае характеризующейся скоростью резания, соответствующей определённой стойкости инструмента оптимальной конструкции при работе с определённым сечением срезаемого слоя или же наибольшей скоростью резания при немонотонной зависимости «скорость

Классификация труднообрабатываемых сталей и сплавов  
по их обрабатываемости резанием

№ группы	Наименование сталей данной группы	Ориентировочное отношение скорости резания к скорости резания стали 45
1	2	3
I	Теплостойкие хромистые, хромоникелевые и сложнолегированные стали ферритного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов	0,6...0,9
II	Коррозионно-стойкие нержавеющие хромистые и сложнолегированные стали ферритного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов	0,6...0,7
III	Коррозионно-стойкие кислотостойкие жаростойкие хромоникелевые стали аустенитного и переходного аустенитно-мартенситного классов	0,42...0,5
IV	Жаропрочные, жаростойкие, кислотостойкие хромоникелевые, хромоникелевомарганцовистые сложнолегированные стали аустенитного классов	0,23...0,4
V	Жаропрочные деформируемые сплавы на металлоникелевой и никелевой основе	0,06...0,16
VI	Окалиностойкие и жаропрочные литейные сплавы на никелевой основе	0,05
VII	Сплавы на титановой основе	0,24...0,6
VIII	Высокопрочные стали	0,12...0,22

— стойкость», являются большие силы резания и высокие температуры в зоне резания. При обработке жаропрочных сталей силы резания в два раза больше, а при обработке жаропрочных сталей в 2–2,5 раза больше, чем при обработке стали 45. Большие силы резания являются причиной выделения большого количества тепла на единицу срезанного объема металла. Кроме того, большинство труднообрабатываемых сталей и сплавов имеет низкую теплопроводность, что приводит к значительному повышению температуры в зоне резания.

Исследованиями отечественных учёных Бокучава Г.В., Волского Н.И., Вульфа А.М., Корчака С.Н., Костецкого Б.И., Лоладзе Т.Н., Маслова Е.Н., Маталина А.А., Пдзенья А.В., Резникова А.Н., Редько С.Г., Силина С.С., Худобина Л.В., Якимова А.В., Ящерицина П.И. и других решены многие вопросы обработки сложных специальных сталей, в том числе никелевых и вольфрамовых сталей.

Никель и вольфрам (табл. 2) при их введении в сталь, значительно изменяют её свойства. Например, никель, растворяясь в феррите, повышает прочность, пластичность и вязкость стали. При содержании никеля более

3% в стали оказывается много аустенита. Кроме того, никелевые сплавы обладают большой коррозионной стойкостью на воздухе в морской и пресной воде, в неорганических кислотах, в плавиковой и фосфорной кислотах, щелочах, сероводороде и других средах даже при высокой (800 °С) температуре. Это привело к тому, что жаропрочные сплавы создают на основе железа, никеля и кобальта и прося на никелевой основе («нимоник»). Из таких сталей изготавливают детали турбин (ХН77ТЮР)

Таблица 2

Физико-механические характеристики легирующих элементов

Элемент	Физико-механические характеристики
Вольфрам W	<p>Плотность — 19,3 г/см<sup>3</sup>.</p> <p>Температура плавления — 3410 ± 20°.</p> <p>Теплопроводность (кал/см сек °С) — при 20° — 0,31; при 1300° — 0,26.</p> <p>Модуль упругости (для проволоки) — 35000...38000 кгс/мм<sup>2</sup>.</p> <p>Твердость по Бринелю (для ковального слитка) — 350...400 кгс/мм<sup>2</sup>.</p> <p>Предел прочности на растяжение (для обработанного давлением) — 430 кгс/мм<sup>2</sup>.</p>
Никель Ni	<p>Плотность — 8.6 г/см<sup>3</sup>.</p> <p>Температура плавления — 1455 °С.</p> <p>Удельная теплопроводность — 0,440 (кдж/кг К).</p> <p>Теплопроводность (кал/см сек °С) — при 20° — 0,26; при 500° — 0,148.</p> <p>Предел прочности на растяжение — 40...50 кгс/мм<sup>2</sup>.</p> <p>Твердость по Бринелю — 350...400 кгс/мм<sup>2</sup>.</p>

Вольфрам ещё более повышает жаропрочность сплавов (ХН70ВМТЮ). Одновременно вольфрам повышает твёрдость сплавов (поэтому вольфрамовые стали идут на изготовление металлорежущего инструмента В2Ф, ХВЧ, Р18, Р12, Р6М3, Р6М5, ВК3, ВК, ВК8 и т.д.

Все эти свойства стали, вызываемые введением в них никеля и вольфрама — повышенная стойкость, вязкость, коррозионная стойкость, жаропрочность значительно ухудшают их обрабатываемость вообще и шлифования в частности.

Если повышенная прочность стали непосредственно затрудняет её резание, то воздействие таких факторов, как например, повышенная коррозионная стойкость, сложнее, но не менее значительно.

Известно, что окисление вновь образующейся при резании поверхности облегчает возможность процесса резания. При шлифовании сталей повышенной коррозионной стойкости резко возрастает засаливаемость круга, налипание металла на зёрна, зёрна вокруг круга чаще вырываются из круга (явление «схватывания» между ювенильными поверхностями металла и поверхностью абразивных зёрен), износ круга в целом ускоряется, а произ-

водительность шлифования падает. Это подтверждено многочисленными экспериментами.

Таким образом:

1. Вольфрамо- и никелесодержащие сплавы обладают особыми свойствами (повышенная прочность, вязкость, жаропрочность, коррозионная стойкость и др.), значительно ухудшающими в 2–40 раз её обрабатываемость по сравнению с другими сталями.

2. Для обработки вольфрамовых и никелевых сталей рекомендуется применять шлифовальные круги открытой структуры на бакелитовой связке (хотя показана возможность. Целесообразным является применение пористых кругов.

3. В качестве абразивного материала при обработке рассматриваемых сталей рекомендуется применение карбида кремния, а в отдельных — монокорунда. Для чистового шлифования рационально использование эльборовых кругов.

4. В ряде случаев используются шлифовальные круги на связке повышенной теплопроводности или с другими особыми свойствами.

5. Важным фактором, позволяющим значительно повысить эффективность процесса шлифования (никелевых и вольфрамовых сталей) является применение СОЖ с высокой интенсивностью её подачи.

6. Применение прерывистого шлифования обеспечивает повышение производительности шлифования и улучшение качества обработанной поверхности никелевых и вольфрамовых сталей.

7. С целью более действенного сохранения профиля можно применять круги на 1–2 степени тверже, чем при обычном шлифовании

## **АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ МЕТАЛЛ-КОМПОЗИТНЫХ СИСТЕМ ПРИ ШЛИФОВАНИИ**

Кошин А.А., Пашнев В.А.

При ремонтах тяжело нагруженных валов с использованием ремонтных полимерно-композитных материалов (ПКМ) основным решением является организация трехслойной металл-композитной системы [1]. В ремонтных технологиях финишная обработка таких систем производится шлифованием. Процесс шлифования является весьма теплонапряженным и энергоемким. Например, при нормативных режимах мощность круглого наружного шлифования с радиальной подачей достигает 24 кВт [2]. Прочностные свойства промышленных ПКМ на 45–50% ниже, чем у конструкционных сталей и сплавов [3]. Поэтому при шлифовании слоистой металл-композитной системы слабым элементом, с точки зрения прочности, может оказаться полимерно-композитный слой. Следовательно, для обоснованного назначения предельно-допустимых режимов шлифования необходим анализ напряженного состояния такой системы.

Разработанная математическая модель напряженного состояния слоистой металл-композитной системы, возникающего под действием сил шлифования, достаточно сложна и допускает лишь численное решение [4]. Па-

кет прикладных программ ANSYS позволяет решать эти задачи методом конечных элементов [5]. Поэтому оценка напряженного состояния при круглом наружном шлифовании с радиальной подачей в соответствии с разработанной моделью [4] проведена в среде ANSYS MYLTIFISICS.

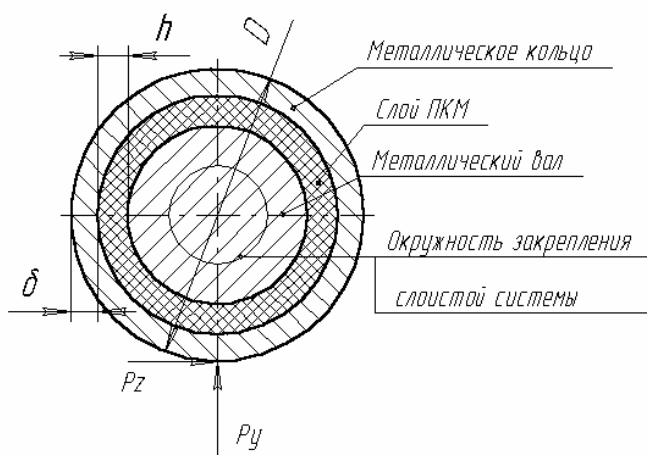
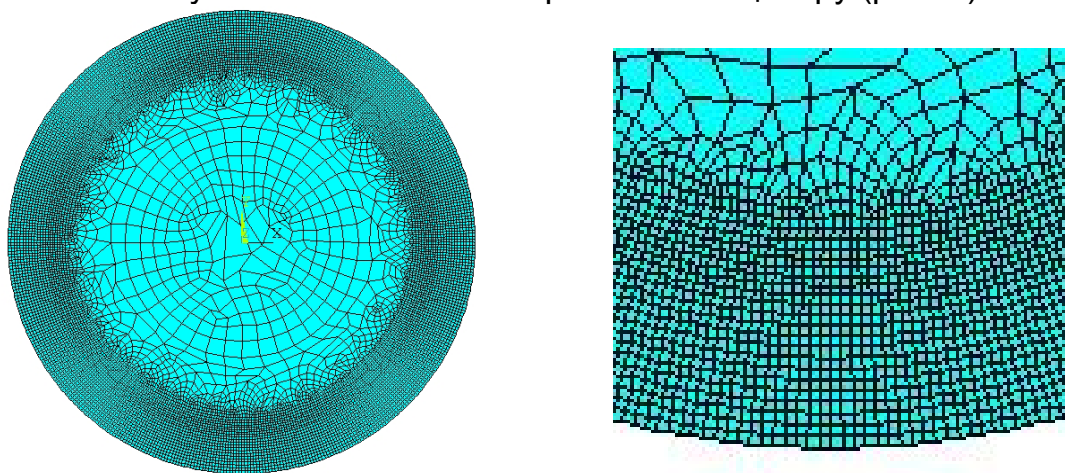


Рис. 1. Схема нагружения трехслойной металл-композитной системы при шлифовании

Для шлифования с радиальной подачей допустима плоская схема нагружения (рис. 1). Металлокерамическая система закреплена по окружности, моделирующей установку в центрах. Действие сил через слои распространяется без потерь. На слоистую систему действуют силы, приложенные к металлическому кольцу:  $P_y$  и  $P_z$ .

Поскольку дуга контакта детали с шлифовальным кругом составляет 0,6...1,5 мм, допустимо пренебречь распределением сил резания по дуге контакта и ограничиться приложением в точке.

При построении конечно-элементной модели слоистой системы применены восьмиконечные элементы PLANE42. Сетка конечных элементов неравномерна. В нагружаемом слое (шлифуемое кольцо) и композитном слое сетка мелкая. В круге, соответствующем валу, сетка более крупная, причем размер элементов увеличивается по направлению к центру (рис. 2).



а) общая сетка конечных элементов    б) сетка в кольце и слое ПКМ

Рис. 2. Конечно-элементная модель слоистой системы

Практический интерес представляет влияние на напряженное состояние геометрии слоистой системы, деформационных свойств материалов слоев (модуль Юнга  $E$  и коэффициент Пуассона  $\nu$ ), величин сил резания.

Из анализа ремонтных технологических процессов выявлены следующие типовые значения конструктивных параметров слоистой системы: диа-

метры вала  $D$ : 50, 100, 160 мм; толщины слоя ПКМ  $h$ : 1, 3, 5 мм; толщины металлического кольца  $\delta$ : 3, 5, 8 мм.

Оценка сил резания для нормативных режимов шлифования (табл. 1) [2], привела к следующему ряду значений сил  $P_y$  (Н/м): 5000, 10000, 20000, 30000, 35000. Для сил  $P_z$  принято  $P_z = P_y/3$ .

Таблица 1

$V_k$ , м/с	$D$ , мм	$n_d$ , об/мин	$2\Pi$ , мм	$S$ , мм/мин	$N_{уд}$ , кВт/мм	$P_{zуд}$ , Н/м	$P_{yуд}$ , Н/м
35	50	130	0,15	1,89	0,125	3571	10713
		160	0,5	3,11	0,19	5430	16290
	100	88	0,3	1,79	0,19	5430	16290
		110	0,5	2,21	0,24	6857	20571
	160	82	0,5	1,75	0,24	6857	20571
		100	1,0	2,8	0,35	10000	30000
50	50	130	0,15	2,46	0,16	3200	9600
		160	0,5	4,05	0,2	4000	12000
	100	88	0,3	2,32	0,24	4800	14400
		110	0,5	2,87	0,27	5400	16200
	160	82	0,5	2,28	0,3	6000	18000
		100	1,0	3,46	0,4	8000	24000

#### Технологические условия шлифования

Деформационные свойства материала кольца и вала взяты для стали:  $E = 200$  ГПа и  $\nu = 0,3$ . Анализ деформационных свойств полимерных и полимерно-композитных материалов (табл. 2) сформировал для расчетов следующий ряд значений модуля Юнга: 2, 5, 10, 25, 50, 100, 150, 200 ГПа.

Модуль ANSYS MYLTIFISICS в результате расчетов строит поля напряжений (нормальных в направлениях  $Z$  и  $Y$ , касательных  $ZY$ , эквивалентных) во всех слоях слоистой системы. В нашем случае практический интерес представляет напряженное состояние композитного слоя.

Оценку работоспособности композитного слоя следует проводить по всем видам напряжений, причем для нормальных напряжений необходимо отдельно рассматривать сжимающие и растягивающие напряжения. Это связано с разными предельными величинами сжимающих и растягивающих напряжений. Оценка влияния технологических условий и конструкции на напряженное состояние проведена путем сравнения поля напряжений базового варианта ( $D = 100$  мм,  $h = 3$  мм,  $d = 84$  мм,  $E_{ПКМ} = 200$  ГПа,  $\nu = 0,3$ ,  $P_y = 35000$  Н,  $P_x = 116660$  Н) с полями для измененных конструктивных и технологических условий.

В качестве критерия оценки влияния факторов приняты максимальные напряжения в направлениях  $Z$  и  $Y$  в зависимости от силы  $P_y$  (технологические условия) для различных материалов полимерно-композитного слоя (в соответствии с выделенным рядом значений модуля Юнга). На рис 3, 4, 5 и 6 представлены зависимости максимальных сжимающих и растягивающих напряжений в слое ПКМ в направлениях  $Z$  и  $Y$  соответственно.



Таблица 2

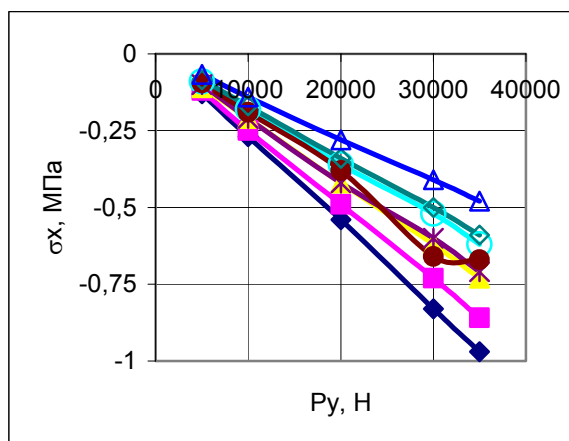
Модули упругости конструкционных и полимерно-композитных материалов

№	Наименование материалов	Модуль Юнга E, ГПа	
1.	Сталь	200	
2.	Медь	120	
3.	Чугун серый	130	
4.	Чугун белый	170	
5.	Стеклопластики: на эпоксидной основе	ЭП ЭФ-32-301	22
6.		ЭТФ	3,12
7.		СТЭР-1-30	2,5
8.	Углеродные пластики на основе	Эпоксифенол	120–180
9.		Полиамид	80–120
10.		Эпокситрифенол	160–180
11.	Эпоксидные композиты на основе	Карбостекловолокнит	65–85
12.		Борокарбостекловолокнит	190–215
13.		Карбооргановолокнит	165–175
14.		Боростеклотекстолит	87–152
15.		Карбоорганотекстолит	108–145
16.	Полистрол	5	
17.	Стеклотекстолит	19	
18.	Полиамид	2,3	
19.	Стеклотекстолит	25	
20.	Эпоксидные лаки	3,3	

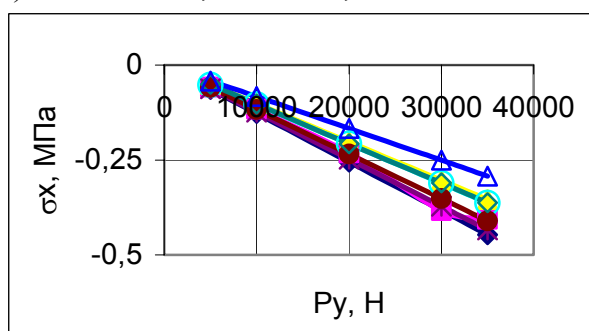
Из рисунков видно, что при увеличении модуля Юнга наблюдается рост напряжений. Увеличение силы резания приводит к существенному росту напряжений. В целом наибольшее влияние на характер и качество полей напряжений в слое ПКМ вносит конструкция слоистой системы. При увеличении диаметра  $D$  с 50 до 160 мм наблюдается увеличение сжимающих напряжений в направлении  $Z$  для разных материалов ПКМ от 35–56%. Растягивающие напряжения в этом же направлении уменьшились на 35%.

В направлении  $Y$  сжимающие напряжения выросли в 3 раза при изменении толщин слоев и в 2 раза при увеличении диаметра. Изменение толщины стального кольца и слоя ПКМ оказали основное влияние на характер напряженного поля. Применение толщин слоев с размерами 3 мм и 1 мм привело к увеличению сжимающих напряжений направления  $Z$  в 2,25 раза, растягивающие напряжения изменились от 5% до 25% в зависимости от материала полимерно-композитного слоя.

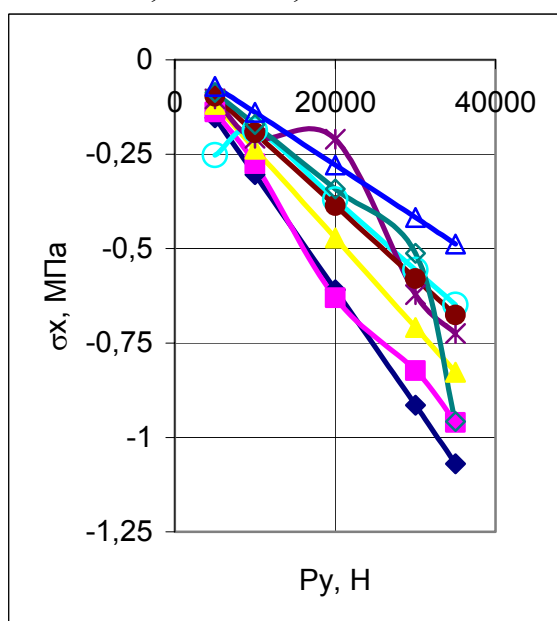
Кроме того, при оценке полей напряжений слоистой системы выявлено, что при изменении модуля упругости в слое ПКМ происходит смещение точек экстремума. Точка экстремума меняет место положения в полимерно-композитном слое и может даже перемещаться с внешней стороны слоя на внутреннюю сторону.



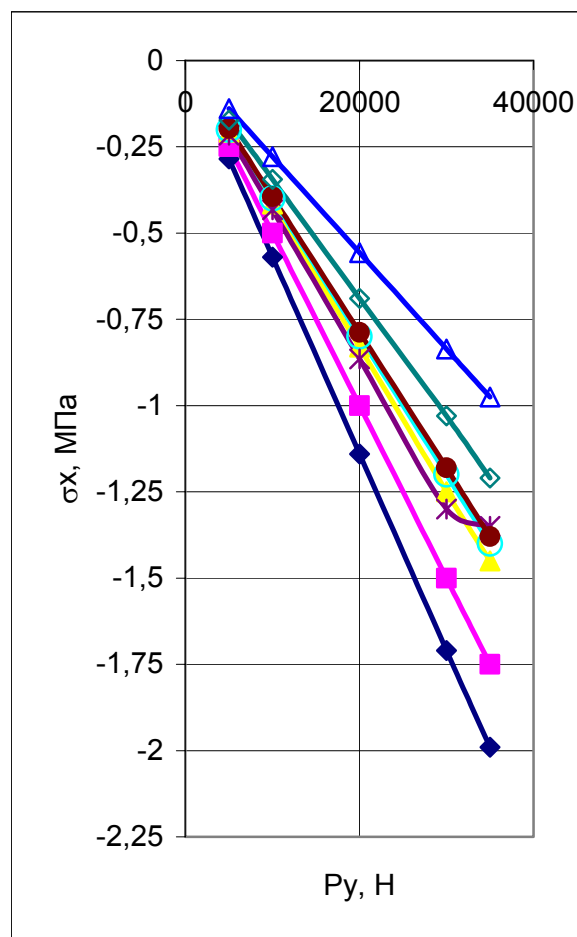
а)  $D = 100 \text{ мм}; h = 5 \text{ мм}; \delta = 3 \text{ мм}$



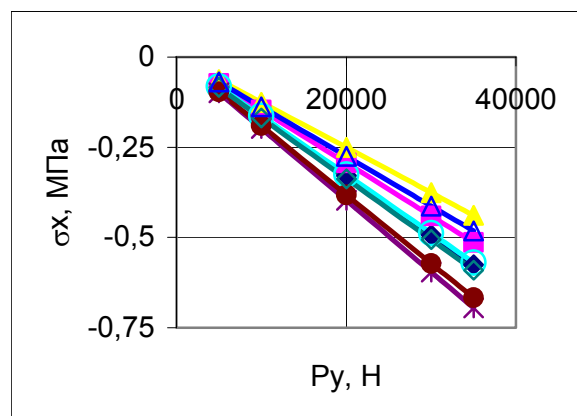
б)  $D = 100 \text{ мм}; h = 8 \text{ мм}; \delta = 5 \text{ мм}$



в)  $D = 160 \text{ мм}; h = 5 \text{ мм}; \delta = 3 \text{ мм}$

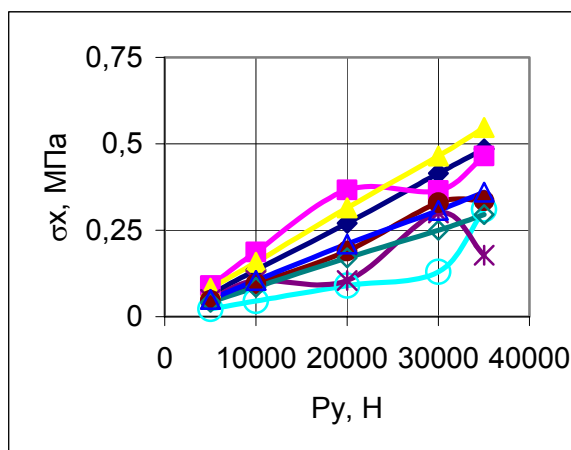


г)  $D = 100 \text{ мм}; h = 3 \text{ мм}; \delta = 1 \text{ мм}$

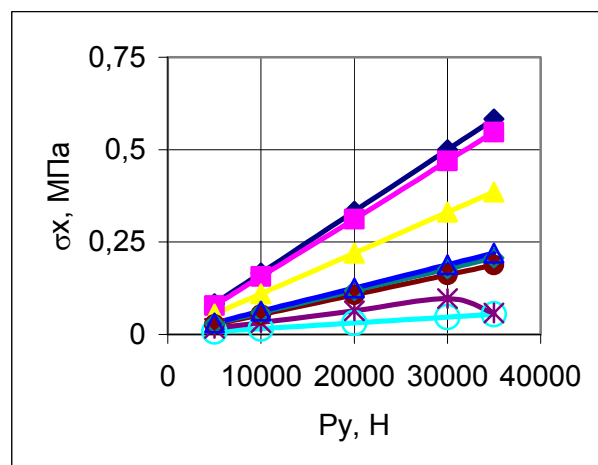


д)  $D = 50 \text{ мм}; h = 5 \text{ мм}; \delta = 3 \text{ мм}$

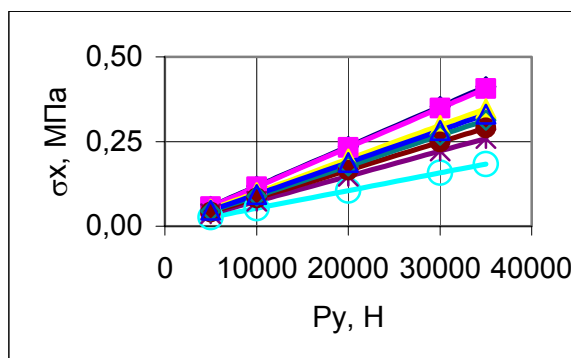
Рис. 3. Величины сжимающих напряжений по координате  $Z$  при нагрузке от шлифовального круга для разных материалов композитной прослойки, где  $d$  — диаметр обрабатываемой заготовки;  $h$  — толщина стального кольца;  $\delta$  — толщина слоя ПКМ;  $\sigma_x$  — максимальные сжимающие напряжения в направлении  $X$ ; модули упругости слоя ПКМ:  $\blacklozenge$  200 МПа;  $\blacksquare$  150 МПа;  $\blacktriangle$  100 МПа;  $\circ$  50 МПа;  $\times$  20 МПа;  $\bullet$  10 МПа;  $\diamond$  5 МПа;  $\triangle$  2 МПа



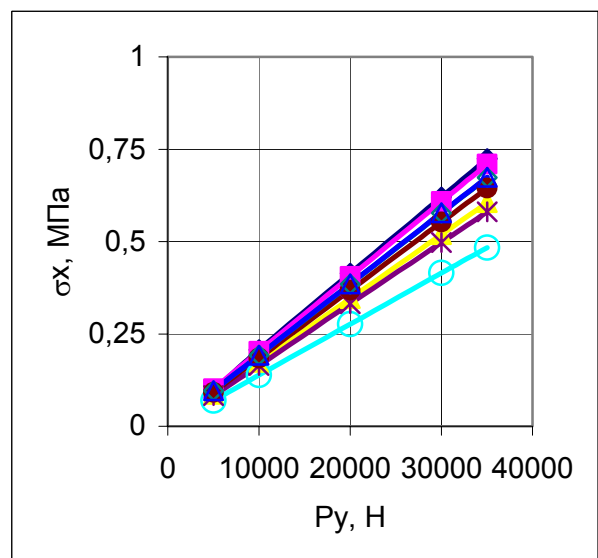
a)  $D = 100 \text{ мм}; h = 5 \text{ мм}; \delta = 3 \text{ мм}$



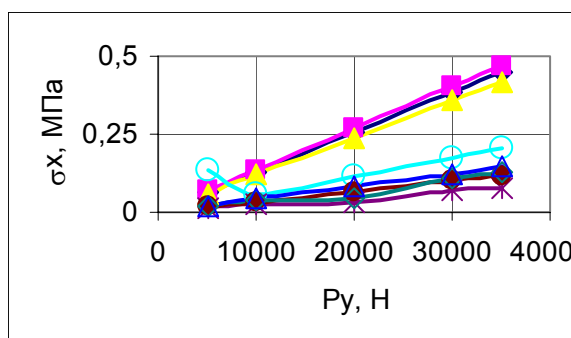
г)  $D = 100 \text{ мм}; h = 3 \text{ мм}; \delta = 1 \text{ мм}$



б)  $D = 100 \text{ мм}; h = 8 \text{ мм}; \delta = 5 \text{ мм}$



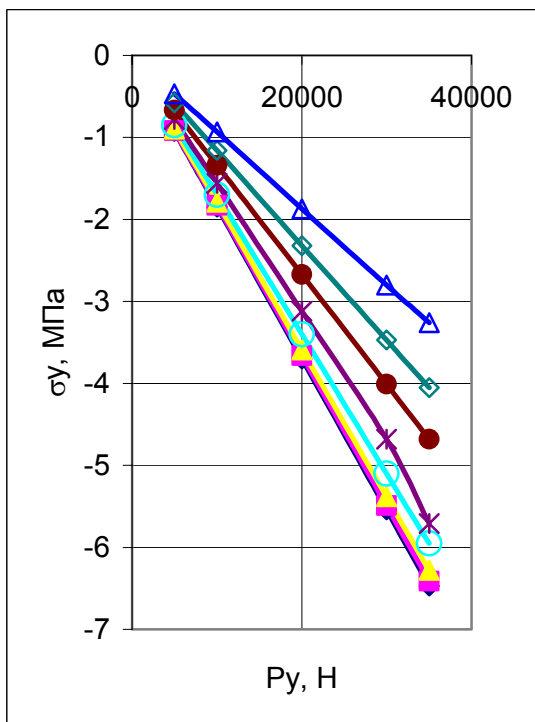
д)  $D = 50 \text{ мм}; h = 5 \text{ мм}; \delta = 3 \text{ мм}$



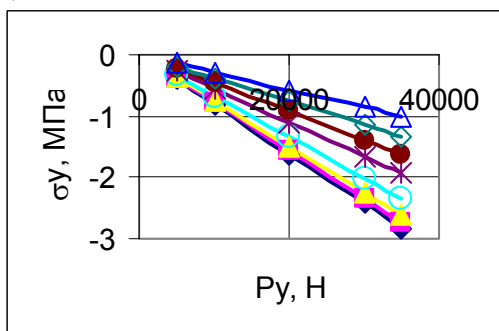
в)  $D = 160 \text{ мм}; h = 5 \text{ мм}; \delta = 3 \text{ мм}$

Рис. 4. Величины растягивающих напряжений по координате  $Z$  при нагрузке от шлифовального круга для разных материалов композитной прослойки, где  $d$  — диаметр обрабатываемой заготовки;  $h$  — толщина стального кольца;  $\delta$  — толщина слоя ПКМ;  $\sigma_x$  — максимальные сжимающие напряжения в направлении  $X$ ; модули упругости слоя ПКМ:

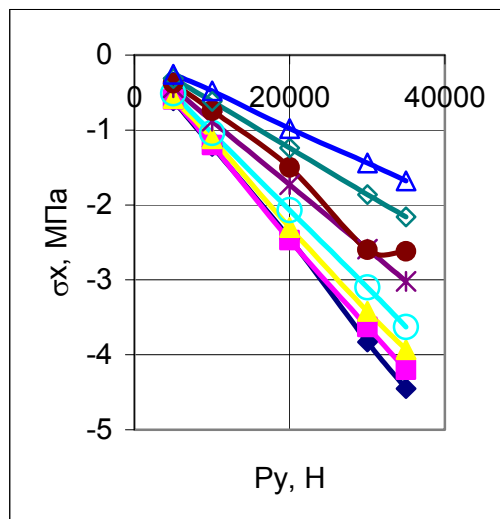
◆ 200 МПа, ■ 150 МПа, ▲ 100 МПа, ○ 50 МПа, ✖ 20 МПа,  
 ◆ ● 10 МПа, ◇ 5 МПа, ▲ 2 МПа



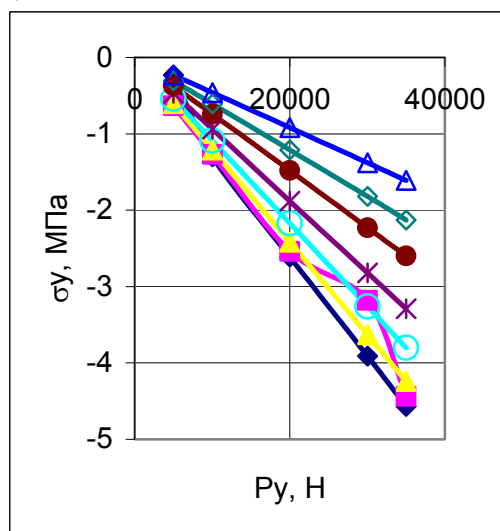
а)  $D = 100 \text{ мм}; h = 3 \text{ мм}; \delta = 1 \text{ мм}$



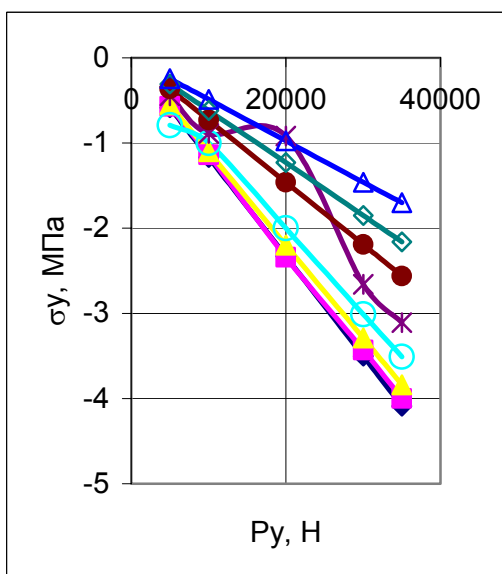
б)  $D = 100 \text{ мм}; h = 8 \text{ мм}; \delta = 5 \text{ мм}$



в)  $D = 100 \text{ мм}; h = 5 \text{ мм}; \delta = 3 \text{ мм}$



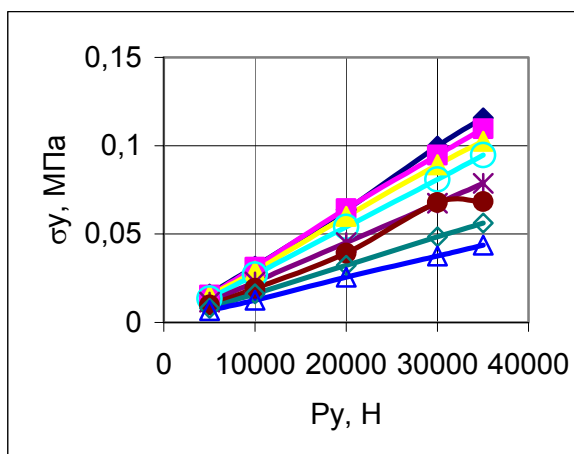
г)  $D = 50 \text{ мм}; h = 5 \text{ мм}; \delta = 3 \text{ мм}$



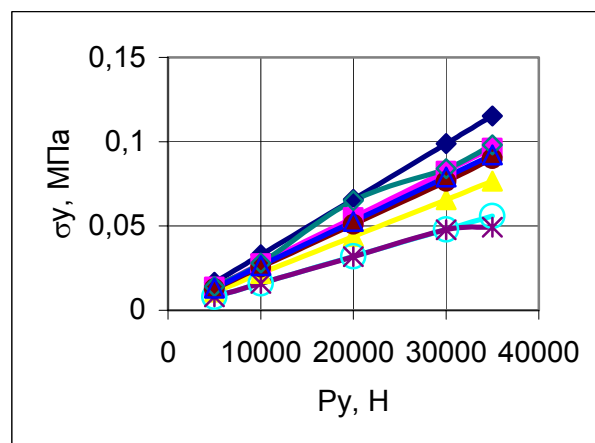
д)  $D = 160 \text{ мм}; h = 5 \text{ мм}; \delta = 3 \text{ мм}$

Рис. 5. Величины растягивающих напряжений по координате  $Y$  при нагрузке от шлифовального круга для разных материалов композитной прослойки, где  $d$  – диаметр обрабатываемой заготовки;  $h$  – толщина стального кольца;  $\delta$  – толщина слоя ПКМ;  $\sigma_x$  – максимальные сжимающие напряжения в направлении  $X$ ; модули упругости слоя ПКМ:

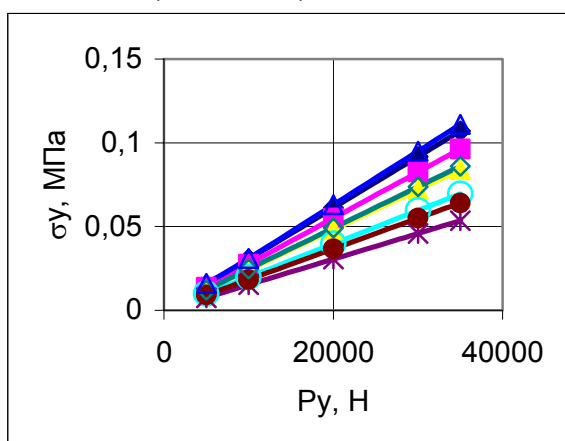
- ◆ 200 МПа, ■ 150 МПа,
- ▲ 100 МПа, ○ 50 МПа,
- ✱ 20 МПа, ● 10 МПа,
- ◇ 5 МПа, △ 2 МПа



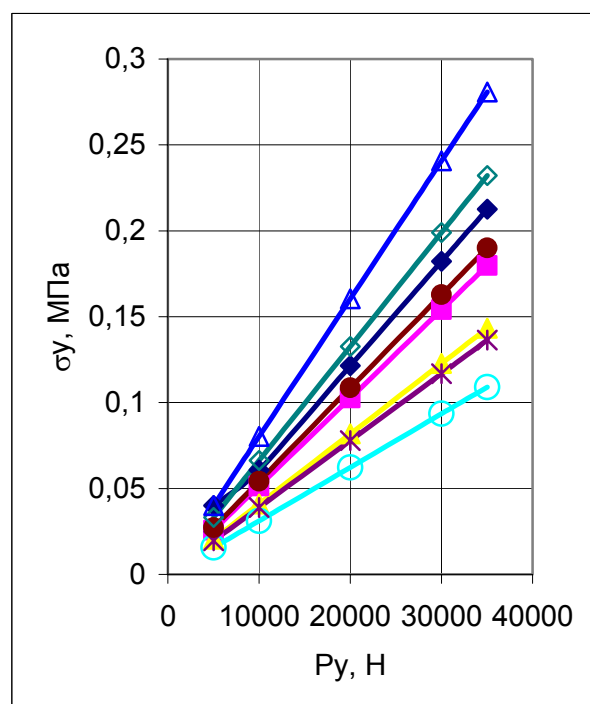
а)  $D = 100 \text{ мм}; h = 5 \text{ мм}; \delta = 3 \text{ мм}$



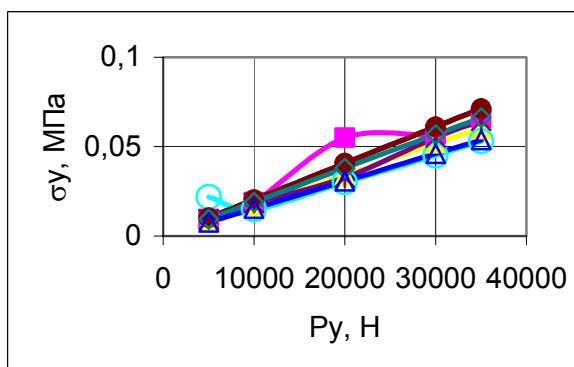
г)  $D = 100 \text{ мм}; h = 3 \text{ мм}; \delta = 1 \text{ мм}$



б)  $D = 100 \text{ мм}; h = 8 \text{ мм}; \delta = 5 \text{ мм}$



д)  $D = 50 \text{ мм}; h = 5 \text{ мм}; \delta = 3 \text{ мм}$



в)  $D = 160 \text{ мм}; h = 5 \text{ мм}; \delta = 3 \text{ мм}$

Рис. 6. Величины растягивающих напряжений по координате  $У$  при нагрузке от шлифовального круга для разных материалов композитной прослойки, где  $d$  — диаметр обрабатываемой заготовки;  $h$  — толщина стального кольца;  $\delta$  — толщина слоя ПКМ;  $\sigma_y$  — максимальные сжимающие напряжения в направлении  $X$ ; модули упругости слоя ПКМ:  $\blacklozenge$  200 МПа;  $\blacksquare$  150 МПа;  $\blacktriangle$  100 МПа;  $\circ$  50 МПа;  $\times$  20 МПа;  $\bullet$  10 МПа;  $\diamond$  5 МПа;  $\triangle$  2 МПа

Обобщая полученные результаты, можно утверждать, что обеспечить в слое ПКМ напряжения при шлифовании слоистой металл-композитной системы можно путем управления силой шлифования, однако при этом необходимо учитывать кроме свойств полимерно-композитного слоя достаточно сильное влияние конструктивных параметров слоистой системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кошин А.А., Пашнев В.А., Дьяконов А.А. Исследование обрабатываемости полимерно-композитных покрытий при шлифовании // Абразивное производство: Сб. научн. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. — С. 73–78.
2. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках / Часть 3: Протяжные, шлифовальные и доводочные станки / Издание 3-е. — М.: Изд-во ЦБНТ при НИИ Труда, 1978. — 360 с.
3. Крыжановский В.К., Бурлов В.В., Технические свойства полимерных материалов: Уч.-справ. пос. — СПб., Изд-во «Профессия», 2003. — 240 с.
4. Кошин А.А., Пашнёв В.А., Геренштейн А.В., Математическая модель напряженного состояния и деформаций системы вал — полимерно-композитное покрытие — ремонтное кольцо при внешней нагрузке // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. научн. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. — С. 83–88.

#### УНИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ ЕДИНИЦ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОДСИСТЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ.

А. М. Афанасьев, А. А. Кошин

В любой САПР технологических переходов имеется двухуровневая база основных единиц проектирования: технологические операции и технологические переходы. Эти единицы структурируются различным образом в зависимости от степени алгоритмической проработки — от простого текстового описания до многоместного составного шаблона.

Все проектные процедуры САПР ориентируются на обработку этих основных единиц проектирования (алгоритмы выбора режущего инструмента, измерительного, вспомогательного и др.). В полной мере это относится и к алгоритмам расчета режимов резания и норм времени. Поэтому в компьютерных системах нормирования технологических процессов базу должны составлять технологические переходы, а не виды обработки как это сделано в традиционных нормативах, в том числе и в общемашиностроительных нормативах норм времени и режимов резания.

В условиях многономенклатурного серийного производства при частой смене состава выпускаемых изделий актуальна задача резкого сокращения сроков технологической подготовки производства. Одним из путей решения данной задачи, является унификация основных единиц проектирования (технологических переходов).

В процессе рассмотрения номенклатуры деталей, выпускаемых ФГУП заводом «ПРИБОР» на 2004–2005 г. выявилось множество схожих конст-

руктивных элементов. Детали были разбиты на группы по конструктивным признакам [1]. Всего образовалось 32 группы на 182 детали, в которые входят корпусные детали и тела вращения. Рассмотрим формирование групп на примере деталей «штуцерной группы».

«Штуцерная группа» представляет собой детали, изготавливаемые из прутка (круг, шестигранник) с использованием токарных, сверлильных (обработка осевых и радиальных отверстий) и фрезерных операций. Был проведен анализ чертежей всех штуцеров и их токарной обработки, применяемой на данный момент, в ходе которого стало видно, что конструктив некоторых наименований абсолютно идентичен. Отличия составляют лишь размеры и исполнение стандартных элементов, например, канавки для выхода резьбового резца были выполнены по разным ГОСТам (год выпуска ГОСТа) и др.

А также, некоторые наименования деталей отличались существенными конструктивными исполнениями: радиальные отверстия, торцовые и внутренние канавки различной формы и др. В соответствии с методикой, предложенной Митрофановым С.П. [1], результатом данного анализа стало создание модульных эскизов на каждую группу, которые содержат все конструктивные элементы этой группы (рис. 1).

Таким образом, в результате анализа конструктивных элементов деталей образовалась база основных единиц проектирования - технологических переходов, используемых на ФГУП Заводе «ПРИБОР», представленная в графическом виде.

В подсистеме нормирования использование активных модульных операционных эскизов позволит упростить общение технолога с подсистемой автоматизированного нормирования при определении маршрута обработки и назначении режимов резания. На таком эскизе будут представлены поверхности, последовательное активирование которых позволит подсистеме определить необходимый набор алгоритмов для прохождения задачи нормирования и выбора инструмента. Данная визуализация исключает традиционный диалог технолога с подсистемой, т.е. поиск «из выпадающих списков» нужного словесного описания перехода. Все управляющие и проектирующие алгоритмы, в виде командной строки, подключаются напрямую к графическому изображению обрабатываемой поверхности.

На рис. 2 показан пример модульного активного операционного эскиза на группу №1. При рассмотрении всех операционных эскизов группы №1, обнаружилось, что совокупность обрабатываемых поверхностей может представлять собой обработку детали как за первый установ, так и за второй, поэтому левая часть эскиза представляется условно (рис. 3).

На рис. 3 представлен случай, когда поверхности группы №1 обрабатываются за второй установ. Левая сторона представляет собой группу деталей №11 и варианты таких комбинаций многочисленны, поэтому на общем эскизе группы левая часть детали представлена в общем виде.

Множество размеров группы обозначены на эскизе параметрическим образом, поэтому для прохождения задачи нормирования технологу необходимо будет их ввести вручную, некоторые из них будут проставлены по умолчанию. Каждая группа имеет уникальное отличие, это могут быть раз-

личные торцовые канавки и другие особенности (рис. 4), или наоборот, их отсутствие, т.к. в основном конструктивные элементы повторяются: наружная резьба, отверстие, цилиндрическая поверхность, канавка для выхода резьбового резца и т.д. Некоторые группы сформированы только по внешнему виду (рис. 5).

Рассмотренная унификация основных единиц проектирования определяет базу технологических переходов, и исключает «ненужные», неиспользуемые, этим самым сужает задачу алгоритмизации при проектировании подсистемы нормирования.

Данная унификация и формирование конкретной цепочки шагов (в виде командной строки) при расчете режимов резания и нормировании на определенную элементарную поверхность обрабатываемой детали позволит осуществить следующие улучшения:

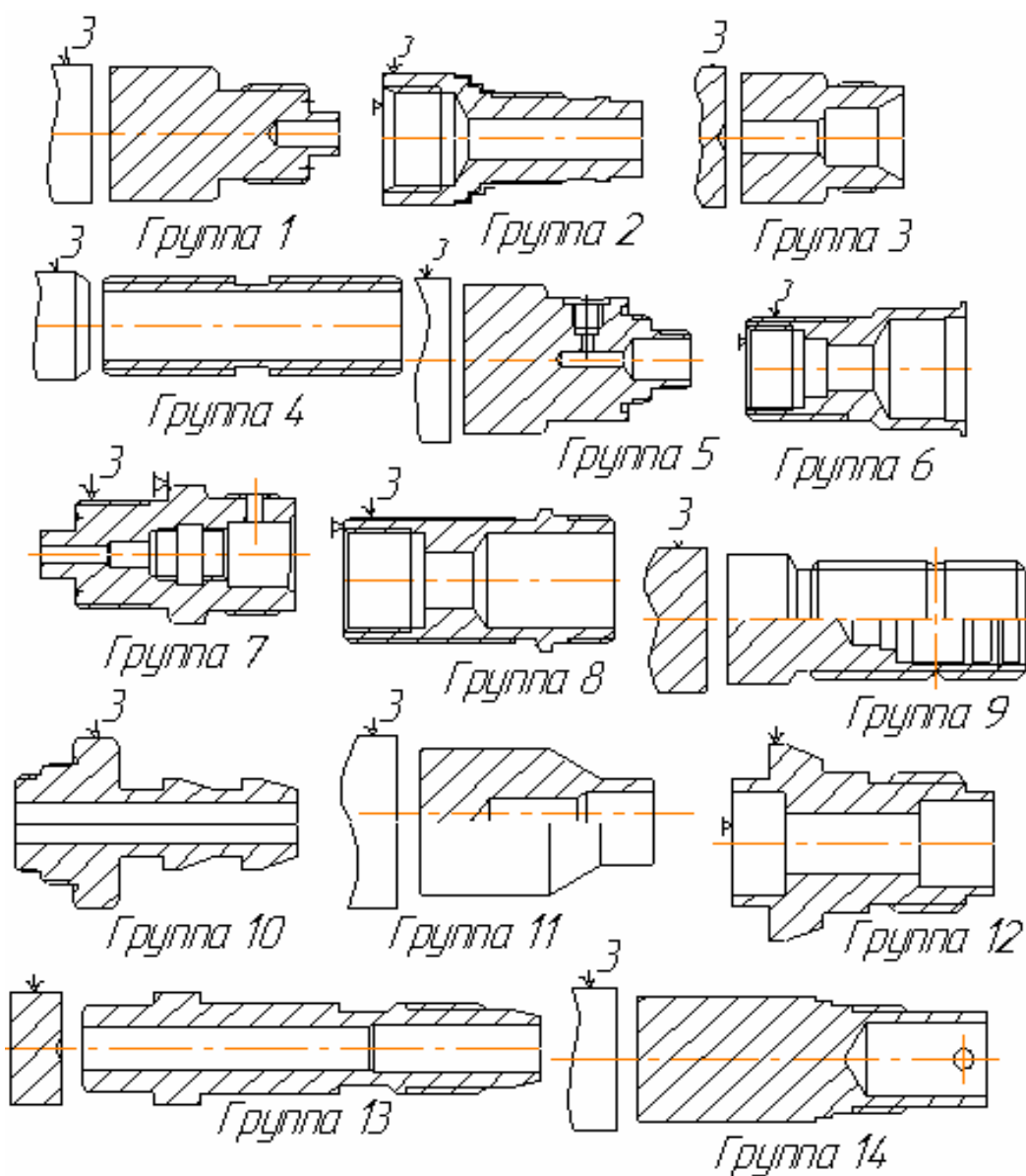


Рис. 1. Модульные эскизы на «штуцерную группу»



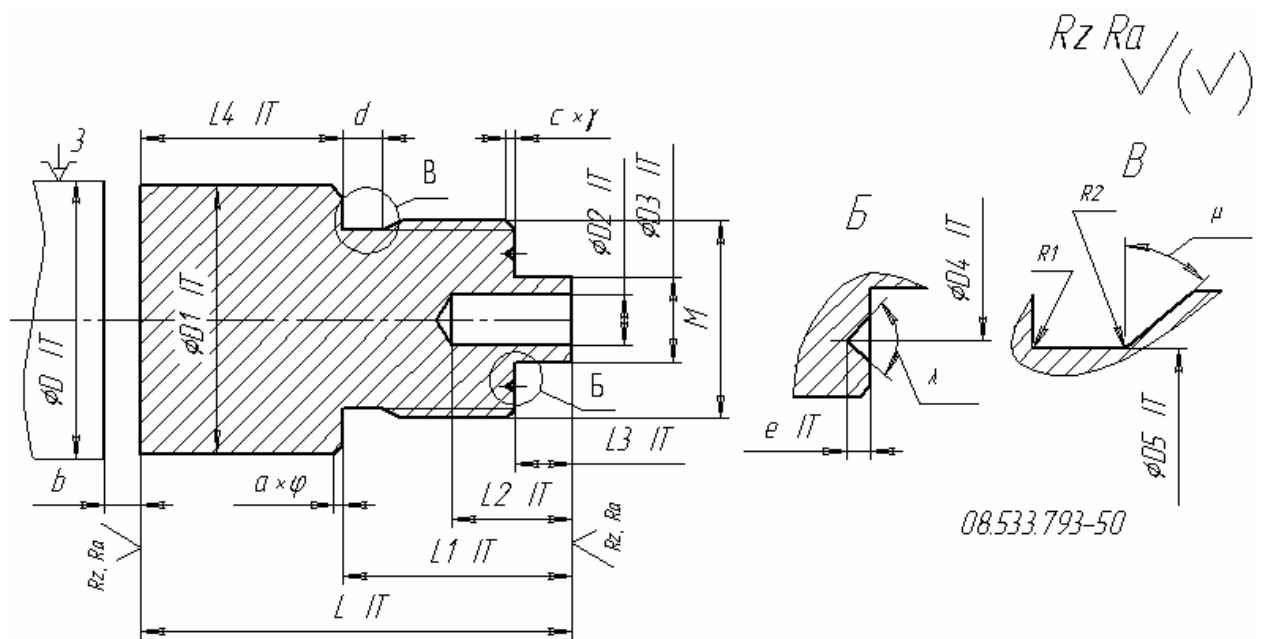


Рис. 2. Общий активный эскиз на группу деталей №1

СПГК.5012.165.02 Уст.Б Штуцер

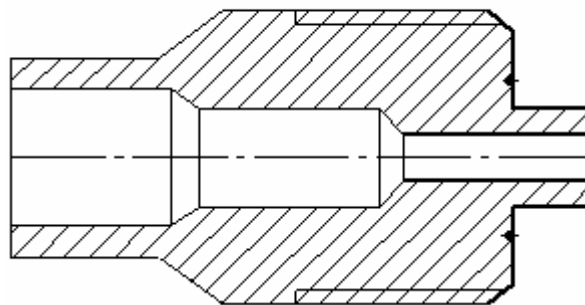


Рис. 3. Слияние групп

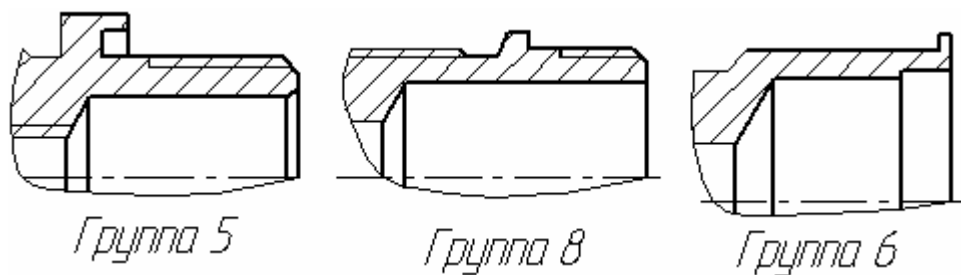


Рис. 4. Конструктивные особенности групп

1. Сократить время на описание перехода т.к. исключаются «ненужные», бросающиеся в глаза, варианты текстов переходов других видов обработок. Технологи достаточно, глядя на чертеж детали, выбрать нужную группу из 14 возможных, представленных в виде иконок-пиктограмм в начале работы модуля нормирования.

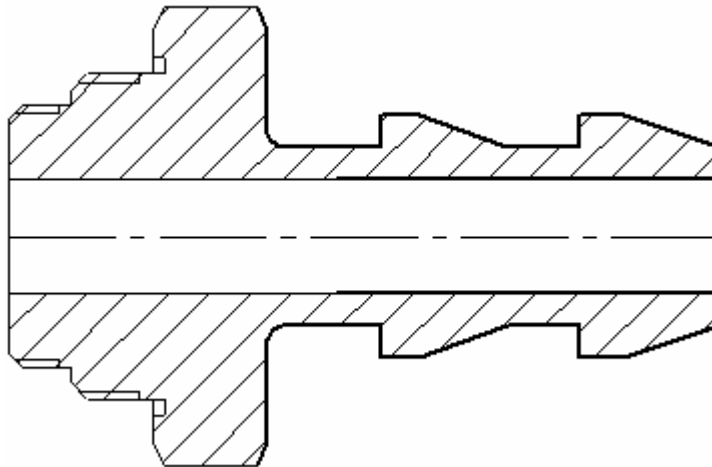


Рис. 5. Внешний вид деталей группы №10

2. Облегчить работу системы, избегая разветвляющихся алгоритмов. В некоторых местах нормативной методики расчета есть «точки», где необходимо решение технолога (пример: схема установки заготовки. Кулачки или центра?). Для системы это остановка для диалога. В нашем случае часть информации будет заложена в эскизе, таким образом, остановок будет меньше.

3. Упростить формирование новых эскизов обработки детали, используя типовые, ранее созданные переходы и соответствующие командные строки.

4. Уменьшить количество вводимых данных, используя систему умолчаний относительно специфики конкретной группы.

На примере шлицевой группы (тела вращения) могут быть разработаны эскизы на остальную номенклатуру деталей (корпусные), которые имеют конструктивно схожие элементы между собой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Митрофанов С.П. Автоматизация технологической подготовки серийного производства. — М.: Машиностроение, 1974. — 360 с.

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА КОМАНДНЫХ СТРОК ДЛЯ ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО НОРМИРОВАНИЯ**

А. М. Афанасьев, А. А. Кошин

В ряде отраслей отечественного машиностроения, где выпускаемая продукция изготавливается из труднообрабатываемых материалов, при нормировании труда используется отраслевой стандарт «Обработка резанием жаропрочных и высокопрочных материалов. Режимы резания и геометрические параметры инструмента» [1].

Отраслевой стандарт обобщил материалы по обрабатываемым сталям и сплавам, применяемому режущему инструменту, режимам обработки и оборудованию предприятий оборонных отраслей.

В данном ОСТе представлено большое количество марок труднообрабатываемых сталей и сплавов, разбитых на 8 групп по обрабатываемости. На каждую марку указан ее предел прочности ( $\sigma_v$ , МПа), рекомендации на скорость резания при обработке инструментом из твердого сплава и из быстрорежущей стали, а также коэффициент обрабатываемости по отношению к стали 45 и 12Х18Н10Т. Даются рекомендации по выбору инструментального материала в зависимости от: группы обрабатываемости, предела прочности, глубины резания и подачи. Причем информация о подачах несет справочный характер т.к. на данном этапе расчетов режимов резания, когда неизвестна марка инструментального материала, подача не может быть назначена.

Геометрические параметры: ширина фаски главной режущей кромки  $f$  (мм), ширина канавки  $b$  (мм), радиус канавки  $R$  (мм), радиус при вершине, задний ( $\alpha$ ) и передний ( $\gamma$ ) углы, назначаются в интервальном виде в зависимости от группы обрабатываемости, предела прочности и подачи. Учет подач здесь аналогичен, как при выборе инструментальных сталей.

Рекомендации по назначению подач для чернового точения даны для каждой группы обрабатываемости отдельно, в зависимости от сечения державки резца, диаметра обрабатываемой поверхности и глубины резания. Они представлены в табличной форме в интервальном виде.

Далее представлена сводная таблица режимов, охватывающая все группы обрабатываемости при всех стадиях обработки: чистовая, предварительная, грубая. В ней приводятся скорость резания, сила резания, мощность двигателя при известных глубине резания и подаче. Выбранная скорость резания корректируется с помощью поправочных коэффициентов. Предусмотрены коэффициенты для измененных условий работы в зависимости от периода стойкости, предела прочности, состояния поверхности, угла в плане и охлаждения.

Данный ОСТ имеет ряд недостатков с точки зрения методики выбора режимов резания.

Во-первых, отсутствует какая либо система между таблицами, т.е. информация некоторых таблиц дублирует друг друга, не ясен порядок следования таблиц, это затрудняет их чтение. Информация, в основном, задана в интервальном виде, этим самым ОСТ не претендует на точность и подразумевает дополнительную трату времени на подбор конкретного значения.

Во-вторых, ОСТ представляет собой сборник справочной информации, и рекомендован для укрупненного нормирования.

К достоинствам данного сборника можно отнести то, что в нем содержится много ценной информации, полученной опытным путем. ОСТ располагает данными на 190 марок труднообрабатываемых сталей и сплавов.

Учитывая вышесказанное можно сделать вывод: в качестве базы для проектирования подсистемы автоматизированного нормирования для ФГУП «Завод «ПРИБОР» данный ОСТ не может быть принят. Он будет использован как дополнительный источник информации.

Базой для разработки отраслевых нормативов являются общемашиностроительные нормативы [2], с помощью которых нормируются работы, широко применяющиеся в различных отраслях машиностроения.

Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением [2], утверждены постановлением Государственного комитета СССР по труду и социальным вопросам и Секретариата ВЦСПС от 3 февраля 1988 г. №54/3-72 и рекомендованы для применения на машиностроительных предприятиях. В состав нормативов входят общие и методические указания по расчету режимов резания и норм штучного времени по видам работ и инструмента. Каждый раздел нормативов включает сведения, позволяющие выбрать типоразмер инструмента, его геометрические элементы, марку инструментального материала. В картах приведены в табличном виде рекомендации по выбору стадий обработки, глубины резания (числа рабочих ходов), подач, скоростей резания и по определению мощности. Таким образом, в качестве методологической и информационной базы для проектирования подсистемы автоматизированного нормирования можно принять данные нормативы. Но они направлены на общее машиностроение, поэтому приведенный в них классификатор марок сталей и сплавов содержит недостаточное количество труднообрабатываемых материалов, это ставит задачу создания общего классификатора с учетом отраслевого стандарта.

Любая система нормирования основана на классификации основных единиц проектирования. На основе создания групп деталей, изготавливаемых на заводе «ПРИБОР», которые объединяют их по конструктивным признакам, была разработана база переходов на токарные операции, выполняемые на данном предприятии. Разработка активных операционных эскизов на группу деталей позволит упростить выбор поверхности, на которую нужно рассчитать режимы резания и назначить инструмент.

Для этого на каждый технологический переход, в виде конкретной поверхности детали на общем эскизе, должна быть сформирована командная строка — последовательность номеров алгоритмов, по которым надо вести проектирование данного перехода [3]. Пример общей командной строки:

- Количество стадий обработки
- Глубина резания
- Материал режущей части
- Форма пластины
- Способ крепления
- Угол в плане  $\varphi$
- Угол в плане  $\varphi_1$
- Геометрия передней поверхности
- Выбор инструмента
- Проверка по глубине резания
- Коэффициенты на подачу I и II стадии

Коэффициенты на подачу III и IV стадии  
 Коэффициенты на силы  $P_x$  и  $P_y$   
 Составляющие  $P_{xT}$  и  $P_{yT}$   
 Коэффициенты на скорость (I II III IV)  
 Коэффициенты на мощность I и II  
 Коэффициенты на подачу допустимую по шероховатости  
 Машинно-вспомогательное время  $T_{mv}$   
 Время на установку  $T_{ву}$   
 Время, связанное с операцией  $T_{воп}$   
 Время на измерение  $T_{визм}$   
 Коэффициенты на время ручной работы  $K_{tb}$   
 Время на организационную подготовку  $T_{пз1}$   
 Время на наладку станка  $T_{пз2}$   
 Норма времени на пробную обработку  $T_{пр.обр}$   
 Определение,  $a_{тех}$ ,  $a_{орг}$ ,  $a_{отл}$   
 Подача I стадия  
 Подача II стадия  
 Подача III стадия  
 Подача IV стадия  
 Коррекция по станку  
 Расчет  $P_x$  и  $P_y$  и проверка  
 Скорость I II  
 Скорость III IV  
 Мощность I II  
 Частота вращения  
 Коррекция по станку  $n$  об/мин  
 Фактическая скорость резания  
 Подача дополнительная по шероховатости  
 Коррекция табличной мощности и проверка по мощности главного привода  
 Минутная подача  
 Расчет длин рабочих ходов  
 Расчет основного времени  $T_o = \sum L_i / S_{mi}$   
 Время цикла автоматической работы станка  $T_{ца}$   
 Расчет вспомогательного времени  $T_v$   
 Расчет штучного времени  
 Расчет подготовительно-заключительного времени  $T_{пз}$   
 Норма времени  $H_{вр}$

Командная строка состоит из трех частей: выбор стадий обработки, режимы резания и нормирование. Каждая ячейка строки - это переработанные таблицы нормативов в таблицы, приемлемые для представления в виде баз данных. Для этого необходимо формализовать и нормализовать имеющиеся в справочной литературе таблицы, т.е. разбить на более мелкие с целью уменьшения количества повторяющихся ячеек в одном столбце. Для каждой ячейки строки создается локальный алгоритм, который решает свою отдельную задачу. Для всех этих алгоритмов предусматривается унифицированный интерфейс, т.е. стандартное сопряжение по исходным данным и получаемым результатам.

Для управления процессом обращения к локальным алгоритмам и их отработки предусматривается резидентный алгоритм, который осуществляет выполнение цепочки проектных процедур. Для работы резидентного алгоритма необходимо создать единое поле данных, которое является основным информационным объектом, объединяющим работу всех локальных алгоритмов. Поле данных представляет собой набор строк, каждая из которых предназначена для хранения всей информации о конкретном переходе.

Поле содержит ряд зон, каждая из которых предназначена для записи и хранения определенной информации (адрес перехода, командная строка, параметры переходов). Далее следуют зоны, куда записываются результаты отработки проектирующих алгоритмов.

Работа всех проектирующих алгоритмов организуется через это поле данных. Алгоритмы ввода исходных данных производят запись входной информации для каждого перехода в соответствующую ему строку поля данных. Каждый локальный проектирующий алгоритм берет нужную информацию из соответствующей строки поля данных, результаты отработки алгоритма заносятся в предусмотренное заранее место этой же строки поля данных.

Резидентный алгоритм, таким образом, управляет процессом вызова нужного локального алгоритма, указанного в командной строке, обеспечивает считывание нужной информации из поля данных и, после отработки локального алгоритма, обеспечивает запись полученной информации в поле данных.

Таким образом, резидентный алгоритм абсолютно инвариантен относительно состава основных единиц проектирования. Это позволяет безболезненно для алгоритмического обеспечения вносить изменения в командные строки и в их информационное наполнение [3].

Рассмотрим пример наполнения командной строки для конкретной поверхности №1 (рис. 1).

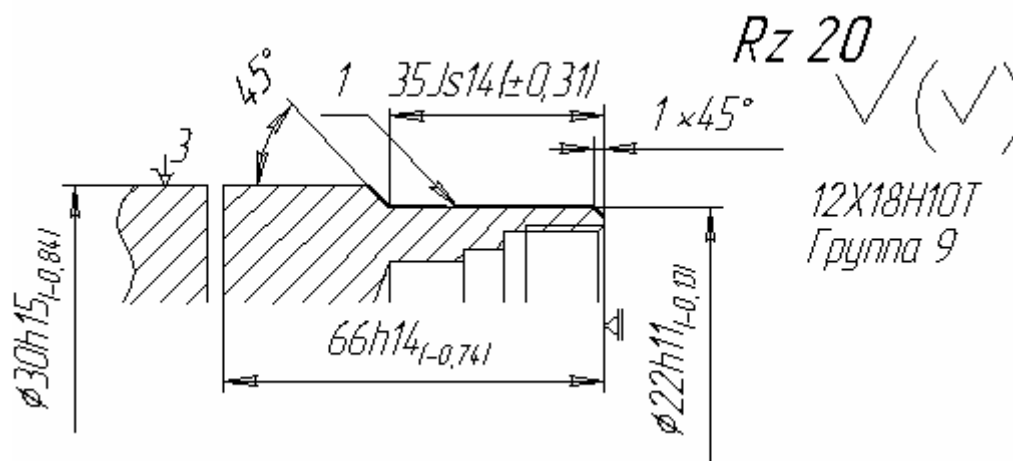


Рис. 1. Состав командной строки для поверхности №1. Фрагмент эскиза

В начале работы подсистемы нормирования технолог выбирает нужный общий эскиз группы деталей. Затем активирует поверхность (допустим поверхность №1 на рис. 1), на которую нужно рассчитать режимы резания и

нормы времени. Подсистема указывает, какие размеры для этого необходимо ввести и другие параметры. После того как все входные данные введены, подсистема осуществляет расчет по методике общемашиностроительных нормативов резания.

Согласно данной методике и соответственно командной строке, первой ячейкой является: количество стадий обработки. Отработка ячейки осуществляется по алгоритму №1 (рис. 2).

Базы данных выполняются в виде реляционных таблиц. По данному алгоритму идет чтение таблицы №2 «Стадии обработки. Точение, растачивание» (рис. 3).

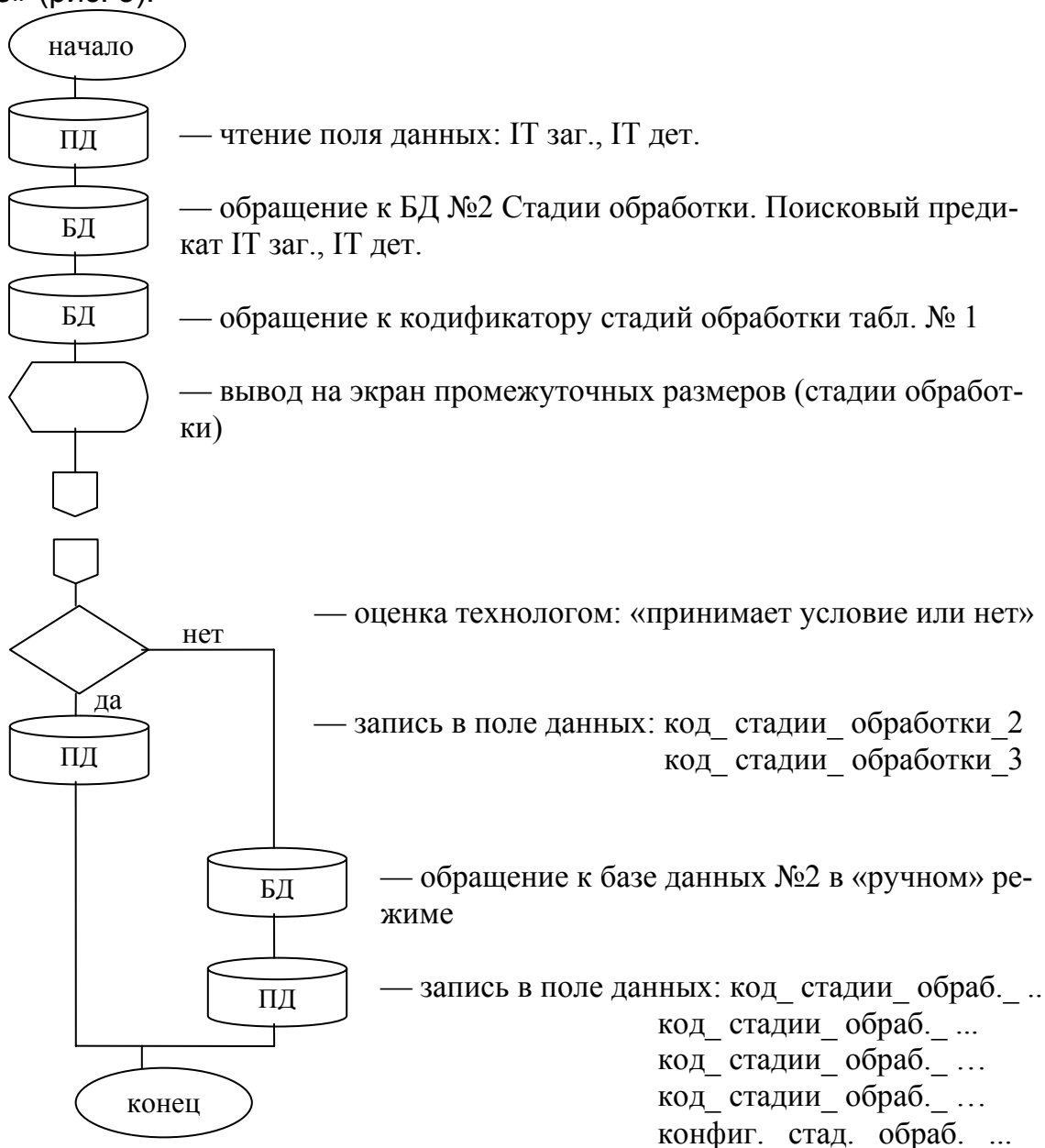


Рис. 2. Алгоритм №1. Выбор количества стадий обработки

Выходной информацией табл. №2 является вектор стадий обработки, определяющий дальнейшую работу подсистемы. Ключевыми полями являются качество заготовки и качество детали.

Фрагмент таблицы №2. Стадии обработки. Точение, растачивание						
Квалитет заготовки	Квалитет детали	Код_Стадии_обработки				конфигурация
...	...	...	...	...	...	...
14	13			2		10
15	8	4	3	2		11
15	11		3	2		12
15	13			2	1	13
15	14				1	14
16	8	4	3	2	1	15
...	...	...	...	...	...	...

Рис. 3. Фрагмент таблицы № 2

В нормативной таблице по выбору стадий обработки выходная информация — величина символьная для манипуляций неудобная, поэтому нужно ввести кодификатор стадий обработки (рис. 4).

Табл. №1. Кодификатор стадий обработки	
Стадия	Код_стадии_обработки
отделочная	4
чистовая	3
получистовая	2
черновая	1

Рис. 4. Кодификатор стадий обработки

Таким образом, для обработки выбранной поверхности и получения необходимой точности, нужно использовать получистовую и чистовую стадии обработки.

В некоторых ячейках строки может быть несколько локальных алгоритмов. Например, подача на получистовую стадию обработки может быть выбрана по 6 алгоритмам. В нашем случае подача выбирается по алгоритму №52 (рис. 5).

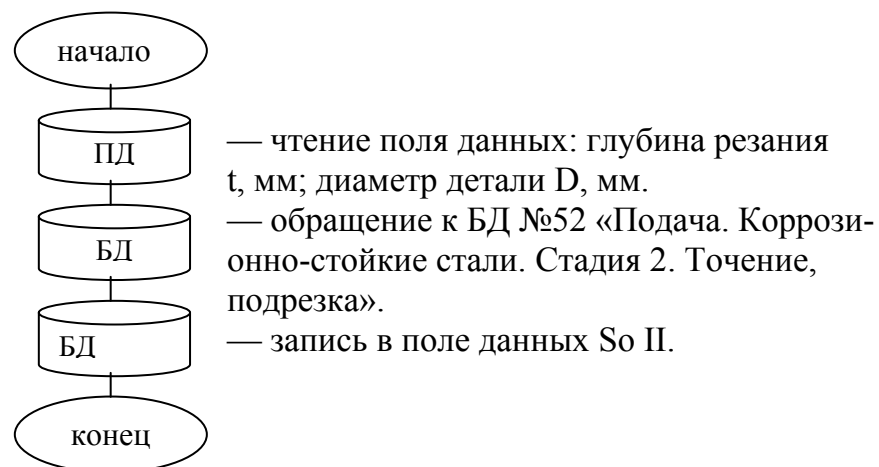


Рис. 5. Алгоритм выбора подачи для получистовой стадии обработки при обработке коррозионно-стойких сталей точением



Аналогичным образом происходит работа по всей командной строке для всех выбранных стадий обработки.

В итоге конечный результат выводится на экран в виде списка найденных значений на данный технологический переход: количество стадий обработки; режущий и мерительный инструмент на каждую стадию (обозначение, эскиз, геометрические параметры, упрощенный эскиз в карту наладки); длина рабочих ходов с врезанием и перебегом; подача; скорость резания; мощность; число оборотов шпинделя; время цикла автоматической работы станка  $T_{ц}$ ; вспомогательное время  $T_{в}$ ; штучное время; подготовительно-заключительное время  $T_{пз}$  и норма времени  $H_{вр}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ОСТ 92-3256-83 Обработка труднообрабатываемых материалов. Режимы резания и геометрические параметры инструмента.
2. Общемашиностроительная система автоматизированного нормирования и проектирования операций, выполняемых на металлорежущих станках (Пакет прикладных программ «Норма-1»). Часть 1. Руководство по эксплуатации. — М.: Экономика, 1990. — 61 с.
3. Кошин А.А. Теория точности и оптимизация многоинструментной токарной обработки. — Челябинск, 1997. — 290 с.

### **ОРГАНИЗАЦИЯ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

А.А. Кошин, Н.С. Сазонова

Реальное сокращение сроков технологической подготовки производства достигается при использовании систем автоматизированного проектирования (САПР ТП) и нормирования технологических процессов (САН ТП), т.е. компьютерных программ, включающих разработку структуры технологического процесса и расчет нормы времени на каждый элемент технологических операций, составляющих техпроцесс.

В силу наличия Общемашиностроительных нормативов времени и режимов резания на все виды технологических процессов в машиностроении является целесообразным разработка единой компьютерной системы нормирования общемашиностроительного применения.

В 80-х годах прошлого века подобная задача уже решалась — были разработаны «Общемашиностроительные нормативы времени на операции, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках, с применением автоматизированной системы технического нормирования. ППП ТАО» (1985 год) и «Общемашиностроительная система автоматизированного нормирования и проектирования операций, выполняемых на металлорежущих станках (ППП НОРМА), для крупносерийного и среднесерийного производства» (1988 год — для ЭВМ серии СМ; 1990 год — разработана версия для персональных компьютеров класса IBM PC XT/AT — пакет прикладных программ НОРМА-1) [1, 2]. Эти разработки построены в специальной инстру-

ментальной среде ТАЛИСМАН, написанной на алгоритмическом языке Fortran, и базируются на операционной системе MS DOS. Все перечисленные технические и программные средства к настоящему времени абсолютно устарели, не выпускаются промышленностью и практически не используются в действующих программных продуктах.

Современные аппаратные средства, а также общесистемное и прикладное программное обеспечение информационных технологий представляют принципиально новые инструментальные возможности разработки и организации прикладных программ, поэтому простая перетрансляция ППП ТАО или ППП НОРМА не имеет смысла, — необходима разработка принципиально нового программного продукта.

Поэтому решено на первом этапе разработать новую систему автоматизированного нормирования операций абразивной обработки общемашиностроительного назначения, которая представляла бы собой современную реализацию ППП ТАО и блока операций абразивной обработки ППП НОРМА, ориентированную на персональные компьютеры класса IBM Pentium и современные технологии программирования.

Кроме того, необходимость разработки новой версии системы автоматизированного нормирования операций абразивной обработки обоснована тем, что ППП ТАО включал 28 видов работ; в то время как современные нормативы включают 45 видов [3].

Предполагаемый статус разрабатываемой системы автоматизированного нормирования (САН) — Общемашиностроительные нормативы (компьютерная реализация), т. е. Общемашиностроительная система автоматизированного нормирования (ОМСАН). Такой статус обуславливает массовое внедрение САН на машиностроительных предприятиях РФ. Поэтому система должна удовлетворять следующим требованиям общего характера:

- гарантировать соответствие рассчитанных норм времени заложенной в систему нормативной базе;
- позволять внедрение на предприятии без привлечения разработчика системы;
- обеспечивать эффективную и надежную работу с системой специалистов в предметной области — технологов машиностроительных предприятий, нормировщиков [4].

Информационное обеспечение системы нормирования подразделяется на две категории: нормативная база и вспомогательная база.

Нормативная база — это компьютерное представление общемашиностроительных нормативов.

Вспомогательная база — это паспорта станков, технические характеристики режущего, измерительного и вспомогательного инструмента, марочки обрабатываемых и режущих материалов и т.д.

Требования, предъявляемые к этим базам, принципиально различны. Вспомогательные базы индивидуальны для каждого предприятия, и поэтому при разработке системы необходимо предусмотреть максимально удобную адаптацию этих баз к условиям конкретного машиностроительного предприятия. Причем адаптация должна производиться силами пользователей системы. Нормативная база, наоборот, должна быть защищена от

несанкционированного доступа, чтобы гарантировать ее сохранность и идентичность на любом предприятии [4].

В настоящее время разработаны и находятся в промышленной эксплуатации ряд систем автоматизированного проектирования технологических процессов: T-FLEX/ТехноПро [5], КОМПАС/АВТОПРОЕКТ [6], CAD-MECH/TECHCARD, TechnologiCS, ADEM [7].

Все перечисленные системы на высоком уровне решают организационные задачи технологического проектирования. Однако задача нормирования либо вообще не решается, либо решается на примитивном уровне. Например, в ТехноПро для некоторых переходов предусмотрено чтение по одной реляционной таблице с данными по режимам или неполному штучному времени. В то же время нормативная методика предусматривает для каждого перехода чтение цепочки таблиц, обработку формул и коррекцию рассчитанных значений по паспортным данным станка. Реализация такой методики в ТехноПро в принципе возможна при использовании встроенной интеллектуальной компьютерной среды. Однако это выливается в создание подсистемы нормирования, причем в этой подсистеме не будут выполнены требования систем общемашиностроительного назначения [4].

Характерной чертой всех перечисленных САПР ТП является такое устройство информационного обеспечения, когда нормативная информация находится в одной базе данных вместе с данными о технологической оснастке (станки, инструменты, приспособления) и справочниками технологических операций и переходов. Подобная конфигурация информационной базы делает ее практически открытой для любого вмешательства и изменения. В то время как условием успешной работы любой системы автоматизированного нормирования должна быть гарантия защищенности ее нормативной базы от несанкционированного вмешательства и, в том числе случайного, изменения или удаления.

Для реализации принципа закрытости блока базы данных, содержащего нормативную информацию, в разрабатываемой системе автоматизированного нормирования предлагается двухуровневая структура информационного обеспечения: отдельная база данных для хранения и выбора информации о средствах технологического оснащения и отдельный программный модуль для хранения и выбора нормативной информации.

Анализ структуры карт нормативов времени и режимов резания показал, что чаще всего карты устроены таким образом, что являются наиболее близкими к классическим таблицам решений (двух- или односторонним), которые читаются инвариантными алгоритмами. Поэтому естественным было бы реализовать представление нормативных карт в виде таблиц решений, а их чтение — средствами специально созданного программного модуля чтения таблицы решений.

В перечисленных выше САПР для представления информационного обеспечения применяется иная схема, — информация представляется в виде реляционных таблиц, которые обрабатываются стандартными средствами СУБД. Однако эта схема неэффективна для представления нормативной базы. Проведенный анализ показал, что преобразование нормативных карт к реляционным таблицам приводит к многократному увеличению

объема занимаемой памяти. С другой стороны, представление нормативной базы средствами специального модуля естественным путем решает вопрос защищенности базы от несанкционированного доступа.

Часть нормативных таблиц представляют собой карты-номограммы (например, карты по определению мощности шлифования). Но, поскольку таких карт незначительное количество, решено трансформировать их к каноническому виду одно- или двухсторонних таблиц решений.

В итоге, для представления нормативной базы разработан специальный программный модуль создания, поддержки и чтения таблиц решений.

Наполнение таблиц данными может быть осуществлено посредством использования возможностей приложения Microsoft Excel. А сам блок чтения таблиц производит выборку данных посредством последовательного задания условий чтения по каждому параметру верхней и боковой матрицы характеристических значений параметров применимости. По каждому параметру может быть задано свое условие чтения.

В качестве примера функционирования программного модуля рассмотрим работу с одной из нормативных таблиц: «Поправочный коэффициент на поперечную подачу при круглом наружном шлифовании в зависимости от группы обрабатываемого материала, точности и шероховатости поверхности». По своей структуре эта таблица представляет собой двухстороннюю таблицу решений, верхняя матрица характеристических значений которой является двухуровневой, а левая матрица характеристических значений — одноуровневая (табл. 1).

Таблица 1

Пример нормативной таблицы

Поправочный коэффициент на поперечную подачу $K_{STM}$ для измененных условий работы в зависимости от группы обрабатываемого материала, точности и шероховатости поверхности												
	IT	5		6		8		10		12		
	Ra	0,63	1,25	0,63	1,25	0,63	1,25	1,25	2,5	1,25	2,5	5
GR												
OM												
1		0,7	0,8	0,87	1	1,1	1,25	1,56	1,8	1,95	2,24	2,55
2		1,05	1,2	1,3	1,5	1,65	1,85	2,32	2,7	2,92	3,35	3,8
3		0,42	0,47	0,52	0,6	0,66	0,75	0,94	1,1	1,17	1,34	1,53
4		0,25	0,28	0,3	0,35	0,38	0,44	0,55	0,63	0,68	0,78	0,89
5		0,1	0,12	0,13	0,15	0,17	0,19	0,23	0,27	0,29	0,34	0,38
6		1,1	1,28	1,4	1,6	1,75	2	2,5	2,9	3,1	3,5	0,4

На рис. 1 представлено, как выглядит эта таблица в окне программного модуля. Рис. 2 иллюстрирует процесс создания запроса к нормативной таблице по набору условий, путем последовательного задания конкретных значений каждого из параметров верхней и боковой матриц характеристических значений параметров применимости.

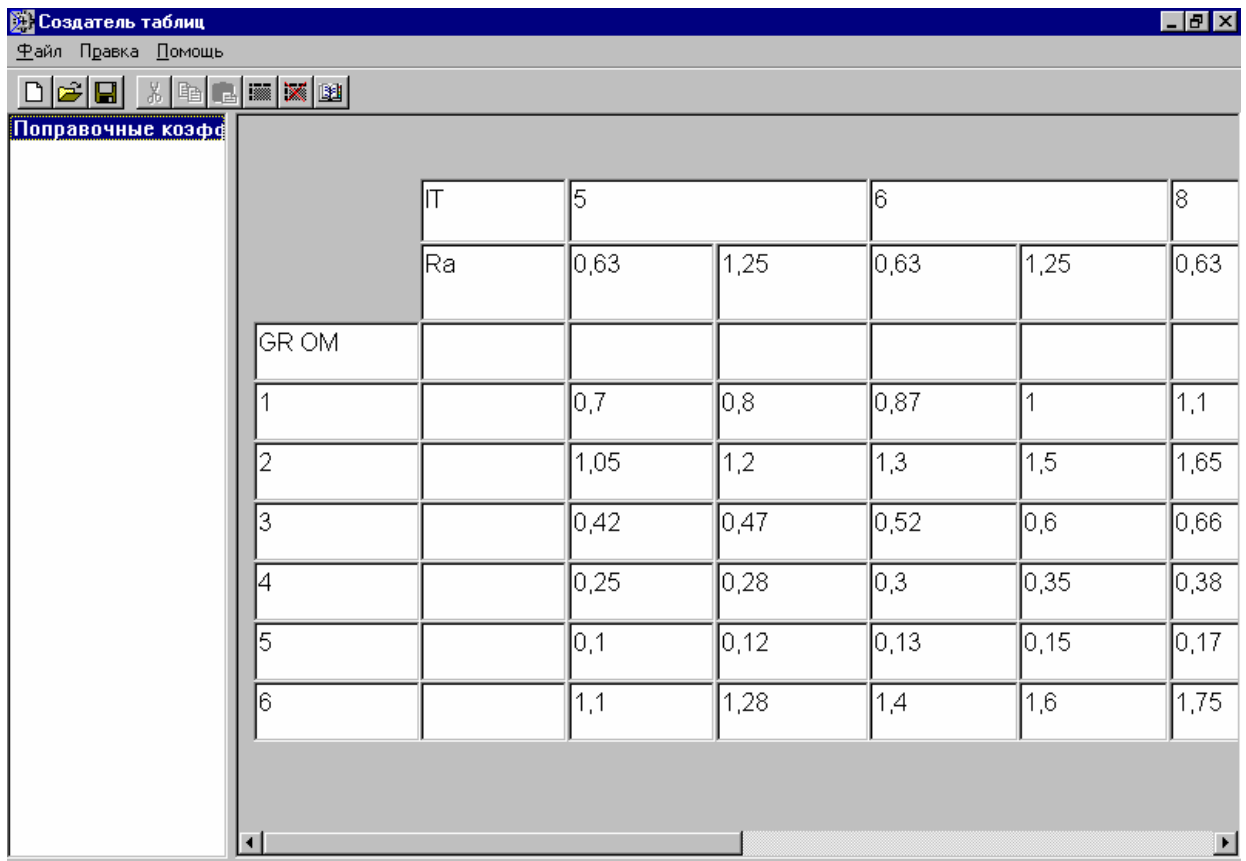


Рис. 1. Фрагмент нормативной таблицы в окне программного модуля

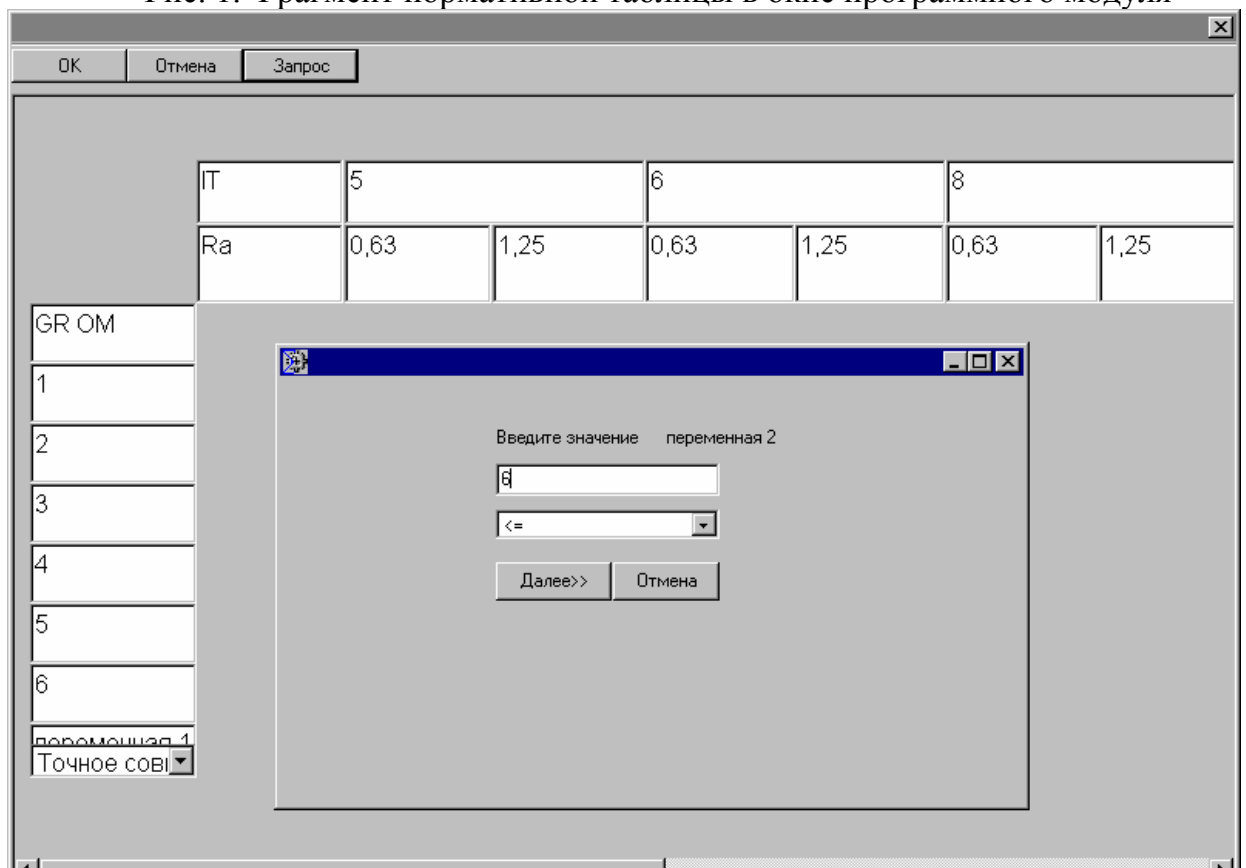


Рис. 2. Построитель условий чтения нормативной таблицы

Сформированная на базе описанного программного модуля нормативная база, во-первых, расположена отдельно от остальной части информационного обеспечения, во-вторых, читается только этим модулем. Такое независимое от остальной базы данных расположение нормативной информации обеспечивает ей гарантированную защиту от изменения или удаления.

Таким образом, разрабатываемая система автоматизированного нормирования операций абразивной обработки позволяет получать технически обоснованные нормы времени, что обеспечивается принципом хранения всей нормативной информации в отдельном информационном блоке в виде инвариантных алгоритмов (одно- и двухсторонних таблиц решений), и тем самым закрытостью нормативной базы от несанкционированного вмешательства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Общемашиностроительные нормативы времени на операции, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках, с применением автоматизированной системы технического нормирования (ППП ТАО). (СМ ЭВМ). — Москва: ЦБНТ, 1985. — 207 с.

2. Пакет прикладных программ НОРМА: Свидетельство N301 ОФАП САПР-Т и АСУТП / Корчак С.Н., Кошин А.А., Фадюшин О.С., Переверзев П.П. и др. — М.: Машиностроение, — 1990.

3. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках.

4. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов: Учебник для вузов / Корчак С.Н., Кошин А.А. и др. — М.: Машиностроение, — 1988. — 352 с.

5. [www.topsystems.ru](http://www.topsystems.ru)

6. [www.ascon.ru](http://www.ascon.ru)

7. [www.adem.ru](http://www.adem.ru)

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

А.А. Кошин, Н.С. Сазонова

В проектируемой системе автоматизированного нормирования операций абразивной обработки реализована двухуровневая структура информационного обеспечения: блок нормативной информации, доступ к которому закрыт для рядового пользователя и блок информации о средствах технологического оснащения, который наоборот должен быть максимально открытым и прозрачным для пользователя — технолога или нормировщика. Кроме того, информационное обеспечение по технологическому оснащению должно быть легко адаптируемым под условия конкретного производства с возможностью пополнения или удаления части информации и создания новых объектов (таблиц или запросов) [1].

В большинстве существующих в настоящий момент САПР информация о средствах технологического оснащения хранится в таблицах реляционных баз данных. Такой принцип хранения информации позволяет осуществлять выбор этих средств и вставку в проектируемый техпроцесс разными способами. В САПР «Автопроект» [2] вставка средств технологического оснащения производится технологом непосредственно из таблиц базы данных. В САПР «ТехноПро» [3] вставка техоснастки может производиться как напрямую из таблиц, так и при помощи специального блока — построителя условий в «базе условий и расчетов». В системе «АДЕМ» [4] также возможна работа напрямую с таблицами базы данных или задание условий выбора средств технологического оснащения путем написания алгоритма. Причем для каждого, даже незначительного изменения условий, должен быть написан свой уникальный алгоритм — подпрограмма на специальном языке программирования, в результате чего количество алгоритмов в системе постоянно увеличивается, что неизбежно ведет к увеличению объема памяти, занимаемого системой в целом. В системе не разработано какой-либо классификации таких алгоритмов, (они нумеруются по порядку, по мере создания), поэтому по истечении даже незначительного периода времени, уже трудно установить, какой алгоритм какому условию соответствует. Кроме того, в реальных условиях производства, это потребует постоянного привлечения разработчиков системы.

Учитывая опыт существующих систем и перечисленные требования, предъявляемые к информационному обеспечению, можно сделать следующие выводы:

- реляционная таблица является подходящей инвариантной формой представления справочной информации (таблицы ГОСТов и РТМ являются по сути — реляционными);

- использование одной из промышленных систем управления базами данных (СУБД) приведет к привязке создаваемой системы к конкретной СУБД;

- система нормирования является одной из подсистем автоматизированной системы технологического проектирования и информация, содержащаяся в ее вспомогательной базе, участвует в работе других подсистем.

Исходя из всего вышесказанного поставлена задача: разработать устройство и принцип работы блока информационного обеспечения системы автоматизированного нормирования операций абразивной обработки для хранения и выбора информации о средствах технологического оснащения.

В рамках решения этой задачи разработан программный модуль чтения таблицы реляционной базы данных, позволяющий производить выбор информации из таблиц базы данных, реализованной средствами любой СУБД (MS Access, dBase, InterBase, Paradox). Программный модуль включает инструменты, позволяющие задавать читающие и читаемые поля в таблице, а также правила чтения соответствующих значений из указанных полей в соответствии с конкретными условиями. Эти инструменты дают возможность задавать в качестве читающих и читаемых полей таблицы как одно, так и несколько полей, причем правило чтения по каждому полю может быть за-

дано свое, не зависимое от других. В зависимости от типа данных, содержащихся в полях таблицы базы данных технологической оснастки, правила чтения значений из соответствующих полей могут быть заданы следующие: для «текстовых» данных чтение осуществляется по условию «точное совпадение»; для «числовых» данных чтение производится при помощи выражений отношений: «меньше»; «больше»; «меньше или равно»; «больше или равно»; «строгое равенство».

На рис. 1 приведен фрагмент таблицы «Сверла спиральные» базы инструментального оснащения, где содержится информация о размерах сверл, их маркировке и характеристиках стандарта на сверла.

Номер	Диаметр	Lrez	X	Y	Стандарт
1	6	57	2301	1	ГОСТ 10903-77
2	6,2	63	2301	3	ГОСТ 10903-77
3	6,4	63	2301	3005	ГОСТ 10903-77
4	6,5	63	2301	5	ГОСТ 10903-77
5	6,6	63	2301	3006	ГОСТ 10903-77
6	6,8	69	2301	189	ГОСТ 10903-77
7	7	69	2301	7	ГОСТ 10903-77
8	7,2	69	2301	9	ГОСТ 10903-77
9	7,4	69	2301	3007	ГОСТ 10903-77
10	7,5	69	2301	11	ГОСТ 10903-77
11	6	57	2302	1	ГОСТ 10903-77
12	6,2	63	2302	3	ГОСТ 10903-77
13	6,4	63	2302	3005	ГОСТ 10903-77
14	6,5	63	2302	5	ГОСТ 10903-77
15	6,6	63	2302	3006	ГОСТ 10903-77
16	6,8	69	2302	189	ГОСТ 10903-77

Рис. 1. Фрагмент таблицы «Сверла»

Рис. 2 иллюстрирует работу построителя запросов. Здесь задаются читающие поля, по которым производится поиск, и записываются условия чтения информации по каждому из заданных полей таблицы базы данных.

Рис. 3 показывает результат действия запроса по поиску информации из таблицы базы данных.



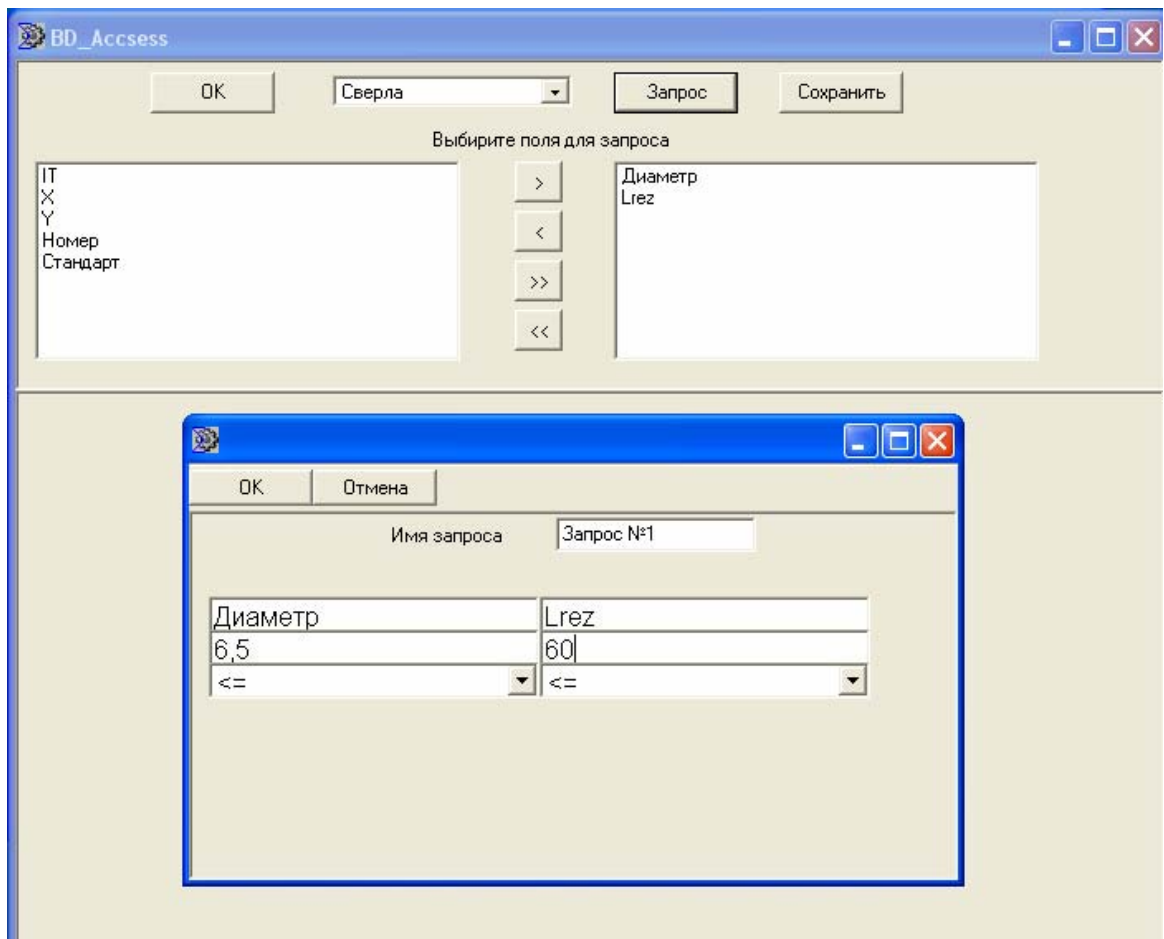


Рис. 2. Построение запроса на чтение информации из таблицы базы данных

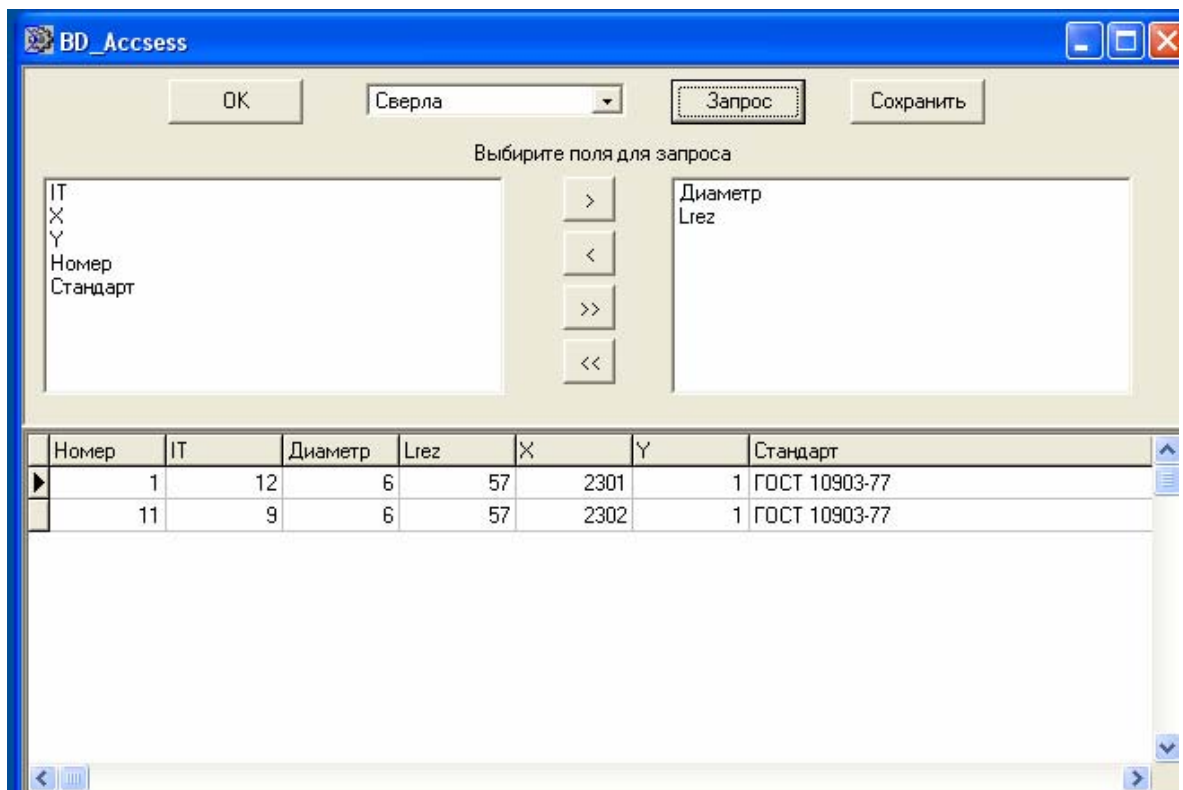


Рис. 3. Результат запроса на поиск информации

Программный модуль, обеспечивающий работу блока информационного обеспечения для хранения и выбора информации о средствах технологического оснащения, позволяет пользователю-технологу, не имеющему специальных знаний в программировании, производить поиск информации о технологической оснастке из таблиц реляционной базы данных с помощью построения запроса по произвольному набору условий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов: Учебник для вузов / С.Н. Корчак, А.А. Кошин и др. — М.: Машиностроение, 1988. — 352 с.
2. [www.ascon.ru](http://www.ascon.ru)
3. [www.topsystems.ru](http://www.topsystems.ru)
4. [www.adem.ru](http://www.adem.ru)

## ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.А. Кошин, Н.С. Сазонова

Одним из главных показателей, характеризующих систему автоматизированного проектирования (САПР) является ее интерфейс. Пользователями САПР технологических процессов (САПР ТП) и систем автоматизированного нормирования технологических процессов (САН ТП) являются специалисты в узкой предметной области — технологи и нормировщики машиностроительных предприятий. «Дружественность» интерфейса в этих системах в этом случае приобретает специфический смысл, — максимальная приближенность к форме представления информации в этой предметной области. Форма представления информации в технологическом проектировании регламентирована комплексом стандартов ЕСТД.

В первых общемашиностроительных САН ТП: пакеты прикладных программ ТАО [1] и Норма [2], — ввод исходных данных осуществлялся при помощи системы многоуровневых меню и был громоздким, что создавало значительные трудности при работе с этими пакетами, поскольку для нормирования одной операции было необходимо ввести до 120 данных. Это обусловлено тем, что указанные пакеты базировались на операционной системе MS DOS, имеющей довольно бедные инструментальные возможности для реализации принципа дружественности интерфейса,

Современные САПР ТП, такие как Автопроект [3], ТехноПро [4], ADEM [5] реализованы в операционной среде Windows, обладающей функциями многозадачности, интеграции функций программ, позволяющей использовать многооконную организацию экрана и графический режим работы.

Однако, даже в этих системах возможности графического режима используются не полностью. Например, в системе ТехноПро для ввода исходных данных об обрабатываемой детали используется довольно сложная система классификации типов поверхностей (86 типов) и при вводе данных

о каждой поверхности на экране в специальном окне показывается схематичное изображение описываемой поверхности. Полное описание самой детали фактически представляет собой перечень текстовых описаний отдельных поверхностей и, если деталь сложная по конфигурации, может содержать до нескольких десятков строк.

Исходя из всего вышесказанного, при разработке современной версии общемашиностроительной САИ ТП поставлена задача разработки интерфейса, максимально использующего возможности графического режима, и при этом максимально «дружественного» по отношению к пользователю — технологу или нормировщику.

Основным источником исходных данных при нормировании проектируемого технологического процесса является комплект операционных эскизов и почти заполненных технологических карт (отсутствуют данные по режимам резания и составляющим нормы времени). В операционных картах и на операционных эскизах изображаются обрабатываемые на данной операции поверхности, а также операционные размеры и технические требования. Правила оформления операционных эскизов приведены в ГОСТ 3.1105-84. Естественной для технолога формой представления этой информации, соответствующей положениям ЕСТД, является схема механической обработки, на которой дополнительно помещается схематичное изображение режущего инструмента.

Поэтому для технолога, сидящего перед экраном монитора, максимально удобным было бы видеть перед собой графическое изображение схемы механической обработки на каждом технологическом переходе, на которой можно было бы проставить все необходимые размеры и технические требования, причем и величины размеров и значения технических требований удобнее всего было бы проставлять в естественном виде.

Поэтому разрабатываемый интерфейс ввода исходных данных должен представлять собой графическую схему обработки на каждом технологическом переходе, где на месте простановки необходимых размеров и технических требований были бы расположены окна активного ввода, куда технолог смог бы вносить всю необходимую информацию. В процессе отработки программы информация из этих окон должна передаваться непосредственно в то место алгоритма, где она необходима (например, величина диаметра обрабатываемой детали  $D$  — в блоки программы, где производится расчет режимов резания и норм времени).

Таким образом, в качестве основной классификационной единицы, как и в пакетах ТАО и «Норма», принимается технологический переход. Однако если в упомянутых пакетах технологический переход описывался длинной цепочкой меню (до 8 уровней), в разрабатываемой САИ ТП предлагается основную (большую) часть описания перехода производить в графическом виде.

В общемашиностроительных нормативах основной единицей нормирования является вид обработки. Он может быть реализован различными технологическими переходами, отличающимися различными вариантами расположения обрабатываемой поверхности, наличием, либо отсутствием дополнительных поверхностей, направлениями подач и скоростей резания.

В соответствии с вышесказанным для каждого технологического перехода создается свое графическое изображение, из которых формируется библиотека различных схем обработки, учитывающих все вышеперечисленные особенности.

Например, для шлифования наружной цилиндрической поверхности с осевой подачей существуют следующие виды переходов: шлифование с осевой подачей открытой цилиндрической поверхности (рис. 1), цилиндрической поверхности, ограниченной галтелью или торцом с одной стороны, цилиндрической поверхности, ограниченной галтелью или торцом с двух сторон и шлифование шлицевой (прерывистой) поверхности. Фактически — это один вид обработки, и расчет режимов резания и норм времени для этих переходов производится по одним и тем же нормативным картам, однако, с точки зрения образующихся при обработке поверхностей — это различные схемы обработки (при шлифовании открытой цилиндрической поверхности образующаяся поверхность — цилиндрическая; при шлифовании цилиндрической поверхности, ограниченной галтелью или торцом с одной стороны образуется цилиндрическая поверхность с галтелью или торцом с одной стороны; и при шлифовании цилиндрической поверхности, ограниченной галтелями или торцами с двух сторон образуется цилиндрическая поверхность с галтелями или торцами с двух сторон, при шлифовании шлицевой поверхности — прерывистая цилиндрическая поверхность).

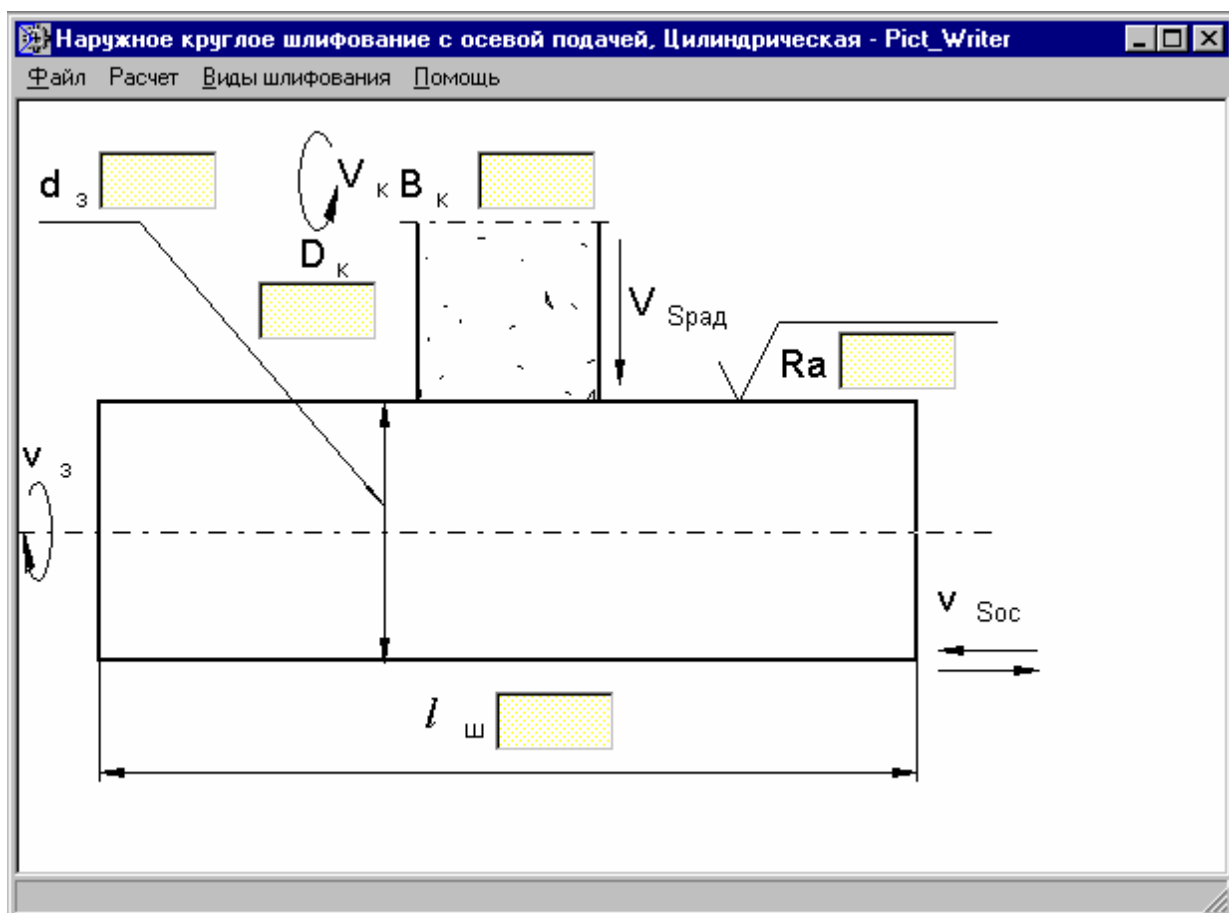


Рис. 1. Схема ввода данных при круглом наружном шлифовании с осевой подачей

Совершенно аналогична ситуация и с другими видами шлифования: шлифование наружной цилиндрической поверхности с радиальной подачей, шлифование торцов, одновременное шлифование цилиндрической поверхности и торца, шлифование отверстий (рис. 2).

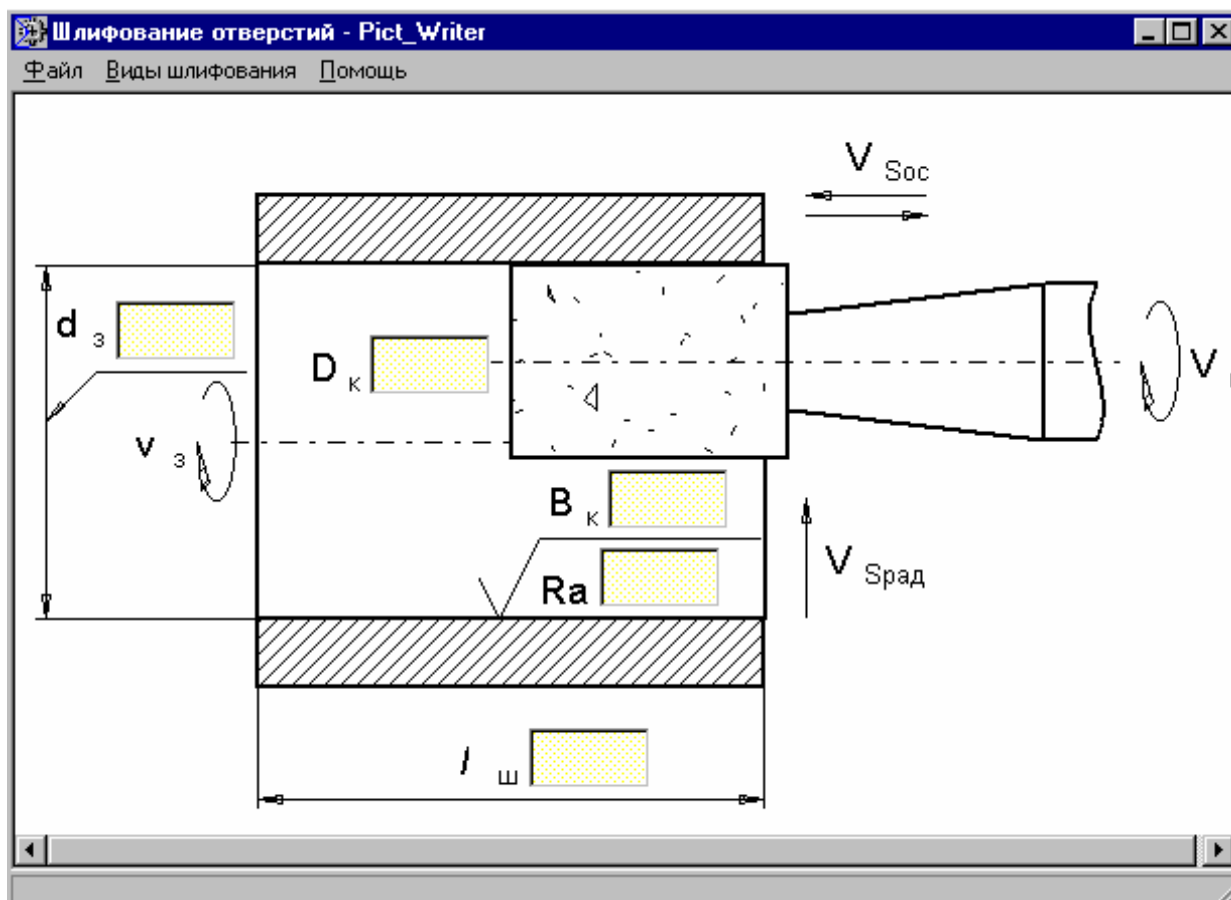


Рис. 2. Схема ввода данных при шлифовании отверстий

Учитывая перечисленные факты, библиотека графических схем обработки также включает полный комплект всех возможных вариантов каждого технологического перехода. Для обеспечения максимально удобного ввода исходных данных, все вводимые параметры размещаются непосредственно на схеме обработки, причем размеры обработки, значения шероховатости поверхности располагаются в активных окнах на самом эскизе непосредственно в местах простановки размеров и шероховатостей. Информация в активные окна может вводиться в естественном виде, то есть, например, размеры обработки вводятся в том виде, как они проставлены на чертеже или на операционном эскизе (номинал размера с допусками или номинал размера и качество); твердость материала детали может быть указана в единицах шкалы HB или HRC. Причем, чтобы введенная таким образом информация могла быть использована в дальнейших расчетах, в программном модуле присутствует программа-дешифратор, выделяющая из введенного комплекса данных составные части и записывающая их в соответствующие блоки программы (рис. 3).

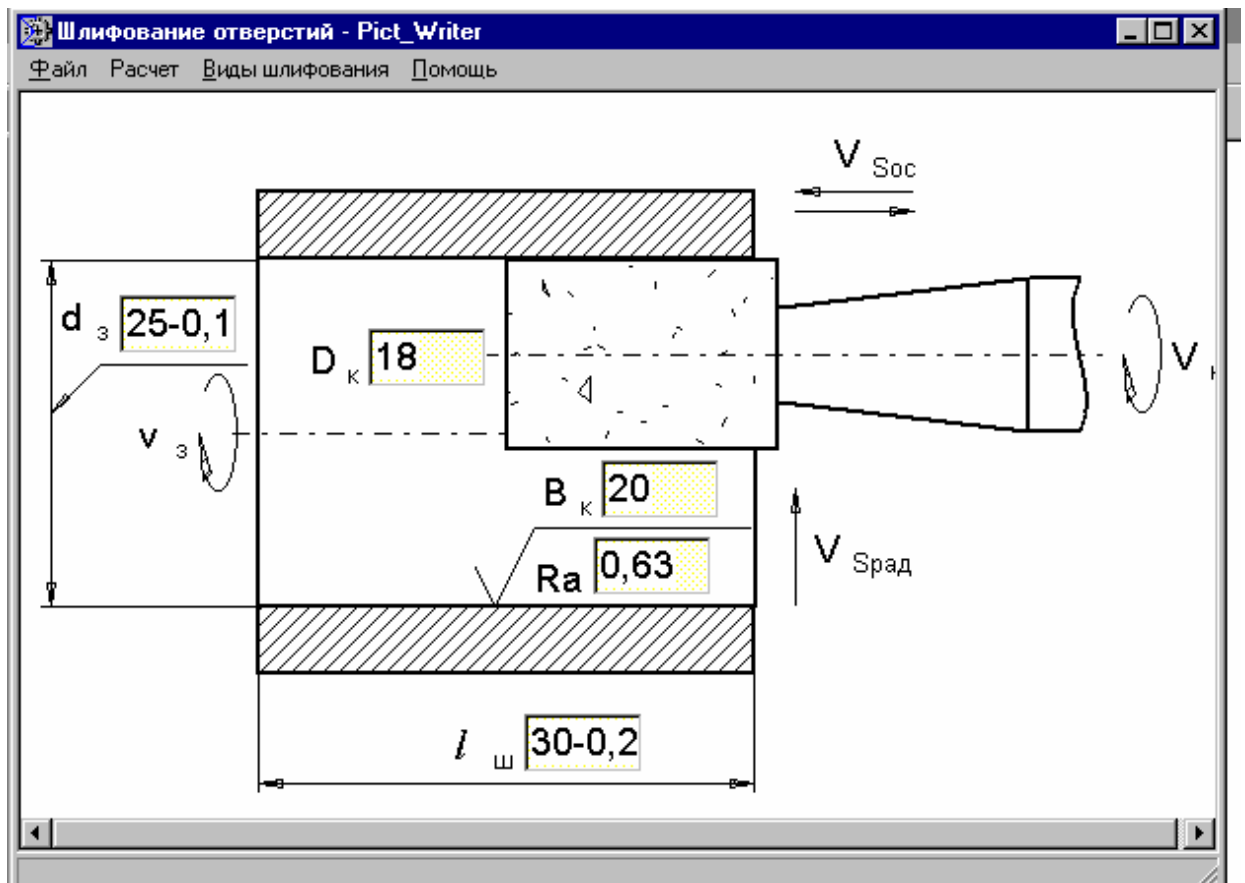


Рис. 3. Схема ввода данных при шлифовании отверстий с введенными размерами

В соответствии со сформулированными принципами 45 видов работ, содержащихся в нормативах, трансформировались в 67 технологических переходов.

Система включает полный классификатор всех технологических переходов абразивной обработки, содержащий полный набор возможных схем обработки для каждого технологического перехода, причем, каждая конкретная схема вызывается при помощи системы многоуровневого меню (рис. 4).

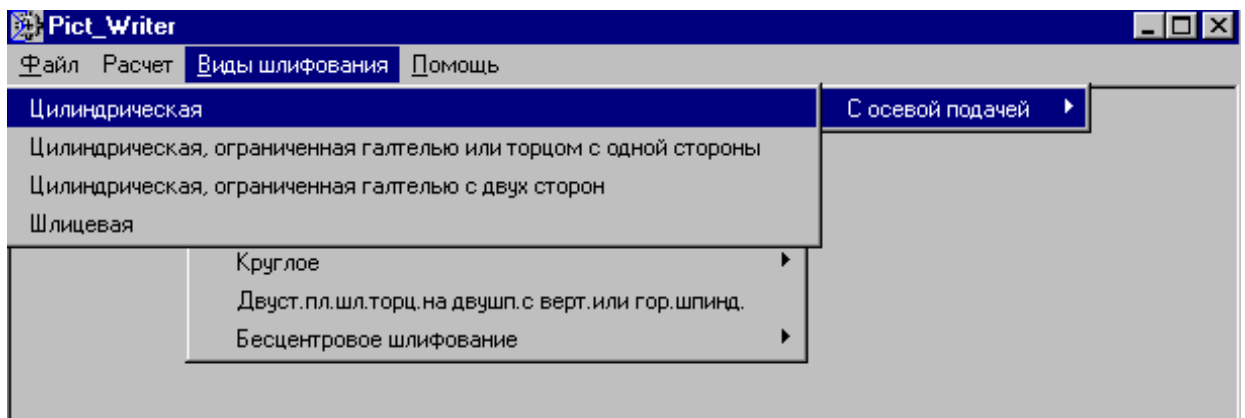


Рис. 4. Система многоуровневого меню ввода данных

Кроме информации, вводимой на схеме обработки и составляющей около 60% всей информации об обрабатываемой детали, имеются сведения, которые не могут быть указаны на схеме (такие как марка обрабатываемого материала, его твердость, способ установки заготовки на станке, величина припуска). Для этой части информации предусмотрено поле сбоку от схемы обработки, где также расположены соответствующие активные окна, ввод информации в которых может быть осуществлен с клавиатуры, или организован с помощью многоуровневых ниспадающих списков — из базы данных.

Для уменьшения эффективного объема вводимой информации в системе работает так называемый аппарат алгоритмических умолчаний [6], смысл которого заключается в том, что по заданным значениям первичных параметров, используя внутренние взаимосвязи параметров, определяются наиболее вероятные значения соответствующих вторичных параметров. И затем ввод вторичных параметров проводится в режиме коррекции. Например, при шлифовании поверхности с точностью обработки на переходе — 6 квалитет (IT6) с большой долей вероятности можно предположить, что шероховатость поверхности будет Ra0,63. Это значение шероховатости и выводится на экран. И если технолог согласен с принятым значением, ему не нужно тратить время на ввод этого параметра.

Разработанный на базе классификации схем механической обработки графический интерфейс ввода данных в систему автоматизированного нормирования технологических процессов позволяет впервые для аналогичных систем осуществлять ввод данных непосредственно на эскизе обработки, что обеспечивает максимальную дружелюбность интерфейса программы по отношению к пользователю-технологу, гарантируя этим наглядность и удобство при вводе информации и позволяя сократить вероятность возникновения возможных ошибок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Общемашиностроительные нормативы времени на операции, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках, с применением автоматизированной системы технического нормирования (ППП ТАО). (СМ ЭВМ). — Москва: ЦБНТ, 1985. — 207 с.
2. Пакет прикладных программ НОРМА: Свидетельство N301 ОФАП САПР-Т и АСУТП / Корчак С.Н., Кошин А.А., Фадюшин О.С., Переверзев П.П. и др. — М, 1990.
3. [www.ascon.ru](http://www.ascon.ru)
4. [www.topsystems.ru](http://www.topsystems.ru)
5. [www.adem.ru](http://www.adem.ru)
6. Кошин А.А. Теория точности и оптимизация многоинструментной токарной обработки: Автореф. докт. дисс. — Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1997. — 35 с.

## РАСЧЕТНАЯ КОРРЕКЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТВЕРДОСТИ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА

А.А. Кошин, М.А. Самохин

В различных нормативных документах поправка на режимы резания в зависимости от твердости обрабатываемого материала построена по-разному. Различаются не только ряды поправочных коэффициентов, но и сам порядок коррекции режимов резания. В одних нормативных справочниках корректируются и подача, и скорость резания, в других только скорость резания. Различны и охватываемые диапазоны твердости. Но во всех нормативных документах эти диапазоны рассчитаны на обработку металла в состоянии поставки.

При ремонте с использованием полимерно-композитных материалов (ПКМ) одним из этапов технологического процесса ремонта является механическая обработка поврежденных поверхностей. Твердость этих поверхностей может сильно отличаться от твердости того же металла в состоянии поставки, часто выходя за пределы приведенных в нормативах диапазонов твердости. Учитывая этот факт и факт несогласованности различных нормативов, имеет смысл разработка новых рядов поправочных коэффициентов. При их разработке необходимо учитывать и то, что использоваться эти рекомендации на режимы резания будут в условиях ремонта уникальных и дорогих деталей. Поэтому нормативы должны быть укрупненными, в которых обычно коррекция подачи и скорости резания производится одновременно.

Основу разрабатываемых поправочных коэффициентов составляют два условия, которые должны выполняться в пределах одной нормативной карты для различных значений твердости материала:

$$\begin{cases} P_z = \text{const} \\ T = \text{const} \end{cases}, \quad (1)$$

где  $P_z$  — сила резания,  $T$  — стойкость инструмента.

Условие постоянства стойкости режущего инструмента  $T$  в пределах одной нормативной карты выполняется во всех известных нормативах. Во многих справочниках она постоянна для всего нормативного документа, а иные значения стойкости учитываются в виде поправки на измененные условия.

Условие постоянства силы резания, например  $P_z$ , не столь очевидно. Ни в одном нормативном документе оно не оговаривается, и не во всех соблюдается. Однако это условие все же имеет право на жизнь. Что бы доказать этот факт, был проведен анализ общемашиностроительных нормативов режимов резания для горизонтальных токарных прутковых автоматов [1]. Выбор именно этого нормативного документа основан на том, что он построен на базе обширной статистики массового и крупносерийного производства. Эти нормативы режимов резания максимально подробно проработаны и прошли апробацию в реальном производстве. Анализ соблюдения условия постоянства силы резания проводился для обработки проходным резцом на среднем станке при одном работающем инструменте. Результаты анализа приведены в таблице 1.



Таблица 1

Влияние режимов резания на постоянство силы резания

Обрабатываемый материал	Диаметр обработки $d$ , мм	Глубина резания $t$ , мм	Твердость НВ, ГПа	Подача $S$ , мм/об	Мощность резания $N$ , кВт	Сила резания $P_z$ , Н
Углеродистая сталь (II гр.)	40	1	2,36	0,32	1,05	642
			2,24	0,33	1,05	642
			2,13	0,336	0,95	<u>581</u>
			1,75	0,352	0,92	563
			1,53	0,368	0,92	563
			1,28	0,39	0,83	508
Легированная сталь (III гр.)	40	1	2,36	0,25	0,92	563
			2,24	0,256	0,9	<u>551</u>
			2,13	0,262	0,92	563
			1,75	0,288	0,83	508

Справочник дает значения мощности резания  $N$ , а значение силы резания  $P_z$  мы определяли по формуле, приведенной в том же справочнике:

$$P_z = 612N. \quad (2)$$

Как показал анализ, при постоянных диаметре обрабатываемой поверхности и глубине срезаемого слоя сила резания колеблется в небольшом интервале. Из табл. 1 видно, что при разной твердости и даже разных группах обрабатываемого материала больше половины значений силы резания равны 563Н или имеют близкие значения (551 Н и 581 Н). Поэтому можно считать, что условие постоянства силы резания при обработке материалов разной твердости при прочих равных условиях в нормативном справочнике соблюдается. Дополнительным основанием для принятия этого положения является то, что, при предварительной механической обработке поврежденных поверхностей, как и при любой черновой обработке, основным ограничением для режимов резания является силовой фактор, то есть мощность станка при достаточной прочности инструмента.

Силу резания  $P_z$  и стойкость инструмента  $T$  будем рассматривать как функции от скорости резания  $V$ , подачи  $S$  и прочности материала, например временного сопротивления  $\sigma_B$ , при других постоянных факторах.

$$\begin{cases} P_z = f_1(V, S, \sigma_B), \\ T = f_2(V, S, \sigma_B). \end{cases} \quad (3)$$

Эти зависимости представим в виде следующих математических моделей [2]:

$$\begin{cases} P_Z = C_{Pz} t^{X_{Pz}} S^{Y_{Pz}} V^{Z_{Pz}} \left( \frac{\sigma_B}{75} \right)^n, \\ T = m \sqrt{\frac{C_V}{t^{X_S} Y_V} \left( \frac{75}{\sigma_B} \right)^{nV}}. \end{cases} \quad (4)$$

Из условия постоянства силы резания и стойкости следует, что их значения, соответствующие двум разным значениям временного сопротивления  $\sigma_B$  и  $\sigma_{BO}$ , равны. Причем  $\sigma_{BO}$  — это некое базовое значение, аналогичное базовой твердости  $HV_0$ , а  $\sigma_B$  назовем переменным значением.

$$\begin{cases} P_Z(\sigma_B) = P_{ZO}(\sigma_{BO}) \\ T(\sigma_B) = T_O(\sigma_{BO}) \end{cases} \quad (5)$$

Заменим силу резания и стойкость соответствующими математическими моделями:

$$\begin{cases} C_{Pz} t^{X_{Pz}} S^{Y_{Pz}} V^{Z_{Pz}} \left( \frac{\sigma_B}{75} \right)^n = C_{Pz} t^{X_{Pz}} S_O^{Y_{Pz}} V_O^{Z_{Pz}} \left( \frac{\sigma_{BO}}{75} \right)^n, \\ m \sqrt{\frac{C_V}{t^{X_S} Y_V} \left( \frac{75}{\sigma_B} \right)^{nV}} = m \sqrt{\frac{C_V}{t^{X_S} Y_V} \left( \frac{75}{\sigma_{BO}} \right)^{nV}}. \end{cases} \quad (6)$$

Преобразуем эту систему уравнений, сократив постоянные параметры. В нашем случае переменными параметрами являются временное сопротивление, скорость резания и подача.

$$\begin{cases} S^{Y_{Pz}} V^{Z_{Pz}} \sigma_B^n = S_O^{Y_{Pz}} V_O^{Z_{Pz}} \sigma_{BO}^n \\ S^Y V \sigma_B^{nV} = S_O^Y V_O \sigma_{BO}^{nV} \end{cases} \quad (7)$$

Далее систему уравнений представим в следующем виде.

$$\begin{cases} \left( \frac{S}{S_O} \right)^{Y_{Pz}} \left( \frac{V}{V_O} \right)^{Z_{Pz}} \left( \frac{\sigma_B}{\sigma_{BO}} \right)^n = 1 \\ \left( \frac{S}{S_O} \right)^Y \frac{V}{V_O} \left( \frac{\sigma_B}{\sigma_{BO}} \right)^{nV} = 1 \end{cases} \quad (8)$$

Полученные соотношения переменного и базового значений всех параметров являются фактически поправочными коэффициентами на измененные условия.

$$\frac{S}{S_O} = K_S \quad ; \quad \frac{V}{V_O} = K_V \quad ; \quad \frac{\sigma_B}{\sigma_{BO}} = K_\sigma \quad (9)$$

$$\begin{cases} K_S^{Y_{Pz}} K_V^{Z_{Pz}} K_\sigma^n = 1 \\ K_S^Y K_V K_\sigma^{nV} = 1 \end{cases} \quad (10)$$

В полученной системе уравнений  $K_\sigma$  является известным коэффициентом. В нашем случае  $K_\sigma$  — это изменение прочности материала в результате де-

фекта, то есть задаваемая величина. Тогда два других поправочных коэффициента являются неизвестными. Решим систему уравнений относительно них, для начала выразив один через другой.

$$K_V = \frac{1}{K_S^Y K_\sigma^{n_V}} \quad (11)$$

Полученное выражение подставим в другое уравнение:

$$K_S^{Y_{Pz}} \left( \frac{1}{K_S^Y K_\sigma^{n_V}} \right)^{Z_{Pz}} K_\sigma^n = 1 \quad (12)$$

Преобразовав его, получим зависимость поправочного коэффициента на подачу  $K_S$  от изменения временного сопротивления в результате дефекта и справочных значений показателей степени. Эта зависимость является одним из двух решений системы уравнений.

$$K_S = K_\sigma^{\frac{n_V Z_{Pz} - n}{Y_{Pz} - Y Z_{Pz}}} \quad (13)$$

Если его подставить в одно из уравнений решаемой системы, то мы получим и вторую зависимость – уже для  $K_V$ . В результате решения системы уравнений были получены следующие две формулы.

$$\begin{cases} K_V = K_\sigma^{\frac{Y_{n-n_V Z_{Pz}}}{Y_{Pz} - Y Z_{Pz}}} \\ K_S = K_\sigma^{\frac{n_V Z_{Pz} - n}{Y_{Pz} - Y Z_{Pz}}} \end{cases} \quad (14)$$

На основе этих формул рассчитаны поправочные коэффициенты на режимы резания в зависимости от твердости обрабатываемого материала для условий наружного продольного и поперечного точения и растачивания конструкционных сталей. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Поправочные коэффициенты на режимы резания

Реж. материал	S, мм/об	K <sub>σ</sub>													
			0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5	1,7	2	2,5	3	3,5	4
Твердый сплав	до 0,3	K <sub>V</sub>	1,316	1,187	1,084	1,0	0,929	0,869	0,732	0,665	0,587	0,494	0,43	0,381	0,344
		K <sub>S</sub>	1,509	1,294	1,129	1,0	0,896	0,81	0,626	0,542	0,449	0,347	0,281	0,236	0,202
	от 0,3 до 0,7	K <sub>V</sub>	1,242	1,145	1,066	1,0	0,944	0,895	0,782	0,724	0,656	0,573	0,513	0,467	0,431
		K <sub>S</sub>	1,492	1,284	1,125	1,0	0,899	0,815	0,635	0,552	0,46	0,358	0,292	0,245	0,211
	св. 0,7	K <sub>V</sub>	1,197	1,119	1,055	1,0	0,953	0,912	0,815	0,765	0,705	0,63	0,574	0,531	0,497
		K <sub>S</sub>	1,481	1,278	1,123	1,0	0,9	0,818	0,64	0,558	0,466	0,365	0,298	0,252	0,217
Инструментальная сталь	до 0,3	K <sub>V</sub>	1,33	1,195	1,088	1,0	0,927	0,864	0,723	0,654	0,74	0,48	0,415	0,367	0,33
		K <sub>S</sub>	1,429	1,25	1,11	1,0	0,909	0,833	0,667	0,588	0,50	0,40	0,333	0,286	0,25
	от 0,3 до 0,7	K <sub>V</sub>	1,261	1,156	1,071	1,0	0,94	0,888	0,768	0,708	0,637	0,551	0,49	0,443	0,406
		K <sub>S</sub>	1,429	1,25	1,11	1,0	0,909	0,833	0,667	0,588	0,50	0,40	0,333	0,286	0,25
	св. 0,7	K <sub>V</sub>	1,217	1,131	1,06	1,0	0,949	0,905	0,8	0,747	0,683	0,604	0,546	0,502	0,467
		K <sub>S</sub>	1,429	1,25	1,11	1,0	0,909	0,833	0,667	0,588	0,50	0,40	0,333	0,286	0,25

## ЛИТЕРАТУРА

1. Общемашиностроительные нормативы режимов резания; нормы износа и расхода инструментов для горизонтальных токарных прутков автоматов. — М.: НИИмаш 1983. — 285 с.

2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. — 4 изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1985. — 496 с.

### ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТНОГО СЛОЯ НА ТОКАРНУЮ ОБРАБОТКУ В РЕМОНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

А.А. Кошин, М.А. Самохин

Одним из способов ремонта оборудования, вышедшего из строя в результате износа или поломки, является восстановление рабочих поверхностей поврежденных деталей. Для этого могут использоваться различные методы восстановления поверхностей, например ремонт с использованием полимерно-композитных материалов (ПКМ).

При любом методе восстановления рабочих поверхностей сначала требуется удалить поврежденный слой металла и придать поверхности правильную геометрическую форму. Однако свойства поврежденного материала могут сильно отличаться от свойств исходного материала. Существуют различные виды повреждений, и свойства металла при этих повреждениях изменяются по-разному. В табл. 1 для четырех наиболее распространенных видов повреждений показаны изменения свойств материала, произошедшие в дефектном слое [1].

Таблица 1

#### Характеристики повреждаемости

Вид повреждения	Коэффициент трения	Толщина дефектного слоя, мм	Фазовые изменения в дефектном слое	Относительное изменение твердости	Температура нагрева при образовании дефекта, °С
Фреттинг-процесс	0,1–1,0	До 0,5	Динамическое	1,5–5	До 300
Схватывание I рода	0,5–40	До 3–4	Нет	1,5–4	До 200
Схватывание II рода	0,1–1,0	До 1,0	Вторичная закалка, отпуск	0,3–5	До температуры плавления
Абразивное разрушение	—	До 0,5	Нет	1–2	—

При всех видах повреждения поверхности в первую очередь изменяется твердость поверхностных слоев, что может объясняться деформационными

или тепловыми процессами. По изменению твердости необходимо различать не четыре типа повреждений, а пять. При схватывании II рода может произойти как вторичная закалка, так и отжиг, то есть как упрочнение, так и уменьшение исходной твердости материала, которую в дальнейшем будем обозначать  $HB_0$ .

Реальная твердость поврежденного слоя при одном и том же виде повреждения будет различной у разных материалов. Если речь идет о металлах, то влияние в первую очередь оказывает упрочнение при пластической деформации или закалке. Кроме того, она зависит от твердости металла перед повреждением, которая может отличаться от твердости в состоянии поставки, то есть справочной твердости. Данные зависимости отсутствуют даже для отдельных групп обрабатываемых металлов. Поэтому значение твердости дефектного слоя  $HB_{\text{деф}}$  возьмем из анализируемой таблицы в виде усредненно-го произведения исходной твердости материала и относительного изменения твердости поверхностных слоев при рассматриваемых видах повреждения. Каждый диапазон относительного изменения твердости заменим 80%-ой величиной от максимального значения. При этом допущении никак не учитываются ни свойства металла в состоянии отличном от состояния поставки, ни его возможное упрочнение.

Предлагается заменить весь диапазон относительного изменения твердости поверхностных слоев (см. табл. 1) для различных видов повреждения, одним значением твердости, варьирующимся только в зависимости от вида повреждения.

На рис. 1 представлена схема резания поверхности с поврежденным слоем. При обработке обычно снимается не только поврежденный слой, но и неповрежденный металл, то есть глубина резания  $t_{\text{рез}}$  превышает глубину дефектного слоя  $t_{\text{деф}}$ . Получается, что при обработке поврежденной поверхности необходимо учитывать не только свойства поврежденного металла и глубину резания, но и глубину поврежденного слоя (см. табл. 1). Однако производить анализ процесса резания такой слоистой системы сложно. Поэтому заменим реальное распределение твердости металла по глубине резания на приведенную твердость  $HB_{\text{прив}}$ , которая постоянна по глубине резания.

Замена производится таким образом, чтобы значение силы резания не менялась. Тогда для данной схемы резания будут справедливы все зависимости (силовые и на режимы резания), разработанные для обычных условий, когда производится обработка материала с постоянной твердостью по глубине резания. Эта замена основана на том, что силовой фактор является ведущим при предварительной механической обработке. Поэтому приведенную твердость определяем по формуле:

$$HB_{\text{прив}} = \int_0^{t_{\text{рез}}} HB(t) dt = \frac{HB_{\text{деф}} t_{\text{деф}} + HB(t_{\text{рез}} - t_{\text{деф}}) t_{\text{рез}}}{t_{\text{рез}}}$$

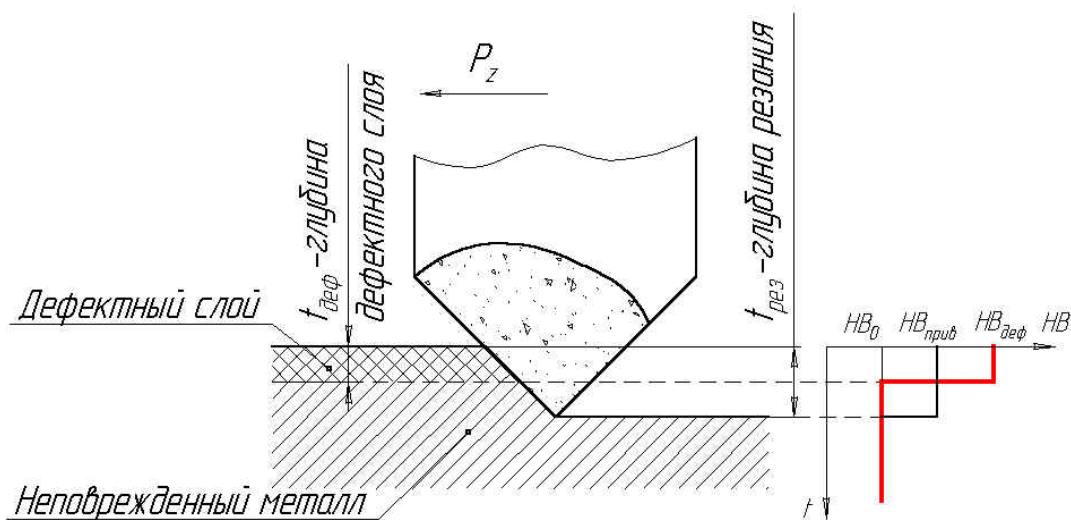


Рис. 1. Схема расчета приведенной твердости

Естественно, что при таком подходе значение приведенной твердости будет разным для разных глубин резания. Рассчитаем приведенную твердость для трех значений глубины резания; 1, 2 и 3 мм, поскольку обычно при ремонте с применением ПКМ с поврежденной поверхности снимается слой металла не более 3 мм. Результаты расчетов приведены в табл. 2. Графическое их представление для фреттинг-процесса приведено на рис. 2.

Таблица 2

Расчет приведенной твердости

Вид повреждаемости	HB <sub>деф</sub>	HB <sub>прив</sub> для t <sub>рез</sub>		
		1 мм	2 мм	3 мм
Фреттинг-процесс	4·HB <sub>0</sub>	2,5·HB <sub>0</sub>	1,75·HB <sub>0</sub>	1,5·HB <sub>0</sub>
Холодный задира	3,2·HB <sub>0</sub>	3,2·HB <sub>0</sub>	3,2·HB <sub>0</sub>	3,2·HB <sub>0</sub>
Горячий задира, закалка	4·HB <sub>0</sub>	4·HB <sub>0</sub>	2,5·HB <sub>0</sub>	2·HB <sub>0</sub>
Горячий задира, отжиг	0,4·HB <sub>0</sub>	0,4·HB <sub>0</sub>	0,7·HB <sub>0</sub>	0,8·HB <sub>0</sub>
Абразивное повреждение	1,6·HB <sub>0</sub>	1,3·HB <sub>0</sub>	1,15·HB <sub>0</sub>	1,1·HB <sub>0</sub>

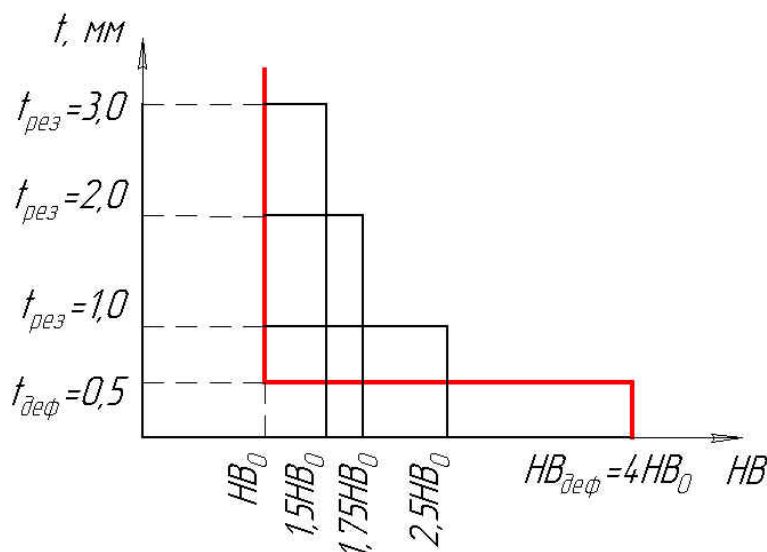


Рис. 2. Влияние глубины резания на приведенную твердость

Полученные значения приведенной твердости конечно достаточно условны, так как не вполне отражают реальные зависимости. Но на основе рассчитанной таким образом приведенной твердости уже можно разрабатывать рекомендации на режимы резания в зависимости от вида повреждения и исходной твердости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Костецкий Б.И., Носовский И.Г. и др. Поверхностная прочность материалов при трении / Под общ. ред. Костецкого Б.И. — Киев: «Техника», 1976. — 345 с.

### **ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ИЗНОСА АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ РАЗНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТ ВРЕМЕНИ И РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ**

А.А. Кошин, А.А. Дьяконов

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Челябинской области.

Качество абразивного инструмента комплексно определяется режущими свойствами абразивных зерен, качеством связующего материала и структурой абразивного инструмента. Поэтому для оценки работоспособности абразивного инструмента, необходимо иметь объективные данные об износостойкости абразивных кругов как совокупности абразивных зерен и связки в различных условиях обработки.

С другой стороны данные об износе абразивного материала позволяют прогнозировать производительность процесса шлифования.

Можно отметить ряд работ, посвященных изучению процесса износа абразивного материала. Это работы советских ученых Т.Н. Лоладзе и Г.В. Бокучавы [1], А.А. Маталина [2] и др.

Однако почти все эти работы направлены на изучение процесса абразивного круга, моделируя его работу в виде работы единичного абразивного зерна. Это накладывает ряд существенных ограничений на реальный процесс шлифования в виде отсутствия связки, реальных температур возникающих при шлифовании, СОТС и т.д.

Реальный процесс шлифования носит нелинейный характер, т.е. наряду с затупленными зернами в работу вступают острые зерна круга. В результате режущие свойства круга определяются разбросом значений площадок затупления на абразивных зернах. Таким образом, цель настоящего исследования — определение износа абразивных зерен путем прямого изучения рабочей поверхности круга.

Для этого на базе круглошлифовального станка модели 3М151Ф2 был спроектирован стенд рис. 1 для определения величины износа абразивных зерен, на кругах различной характеристики, выпускаемых отечественными производителями.

Для исследования были выбраны абразивные круги разной характеристики, в качестве обрабатываемого материала — сталь 45 (42...45 HRC<sub>3</sub>). Режимы резания соответствуют производственному шлифованию —  $V_{дет} = 30$  м/мин,  $V_{спад} = 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5$  мм/мин.



Рис. 1. Стенд для измерения величины износа абразивных зерен

Суть эксперимента заключается в измерении длины площадок затупления абразивных зерен вдоль рабочей периферии круга. В соответствии с этим через каждые 30 секунд работы круга, на его поверхность наносится слой мела, для выявления зерен находящихся на вершине круга и устранения пор. После чего, с помощью установленного на станине станка бинокулярного микроскопа МБИ – 56, изучается его рабочая поверхность. Ось объектива микроскопа выставлялась строго по радиусу круга. Через выбранные интервалы времени производилась выборка из 50 измерений.

На рис. 2 приведены снимки площадок затупления абразивного зерна, характерные для начала обработки (а, б), относительно стабильной работы (в, г) и потери стойкости (д, е).

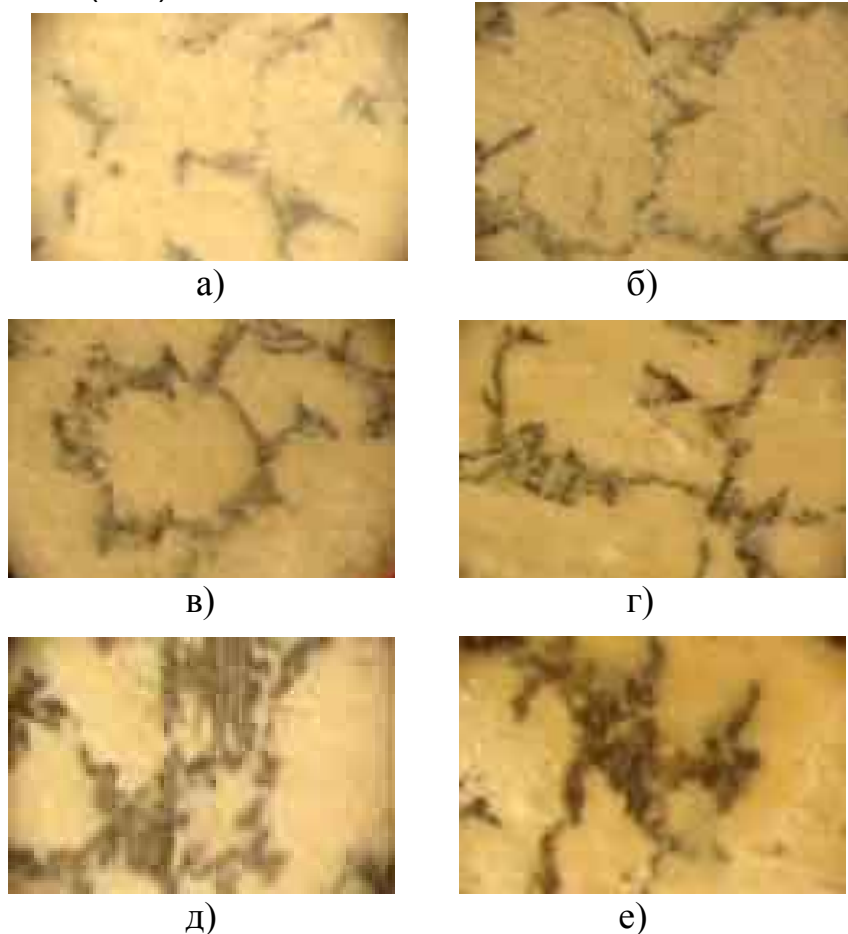


Рис. 2. Снимки площадок затупления абразивных зерен (x 80)



На рис. 3 показано корреляционное поле длины площадки затупления в зависимости от времени работы круга 14А40СТ2 7К.

На рис. 4, рис. 5, рис. 6 показаны экспериментальные графики зависимостей средней длины площадки затупления зерен круга 14А40СТ2 7К, 24А25СМ2 7К, 92А25СМ2 7К.

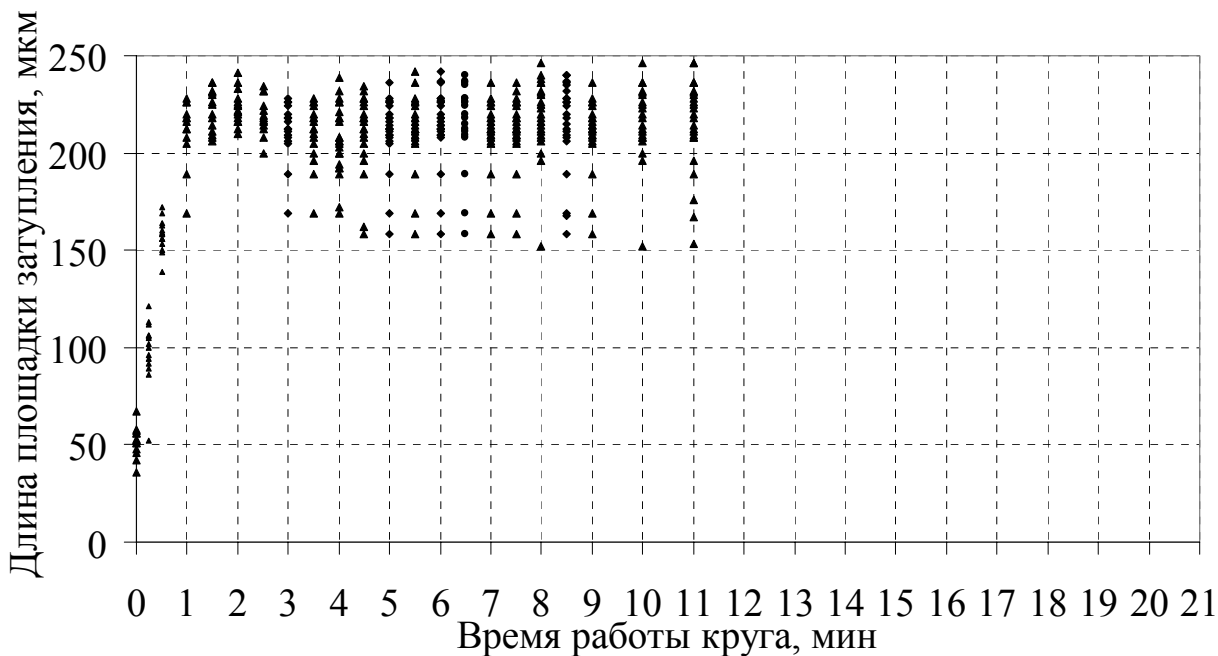


Рис. 3. Корреляционное поле длины площадки затупления абразивных зерен

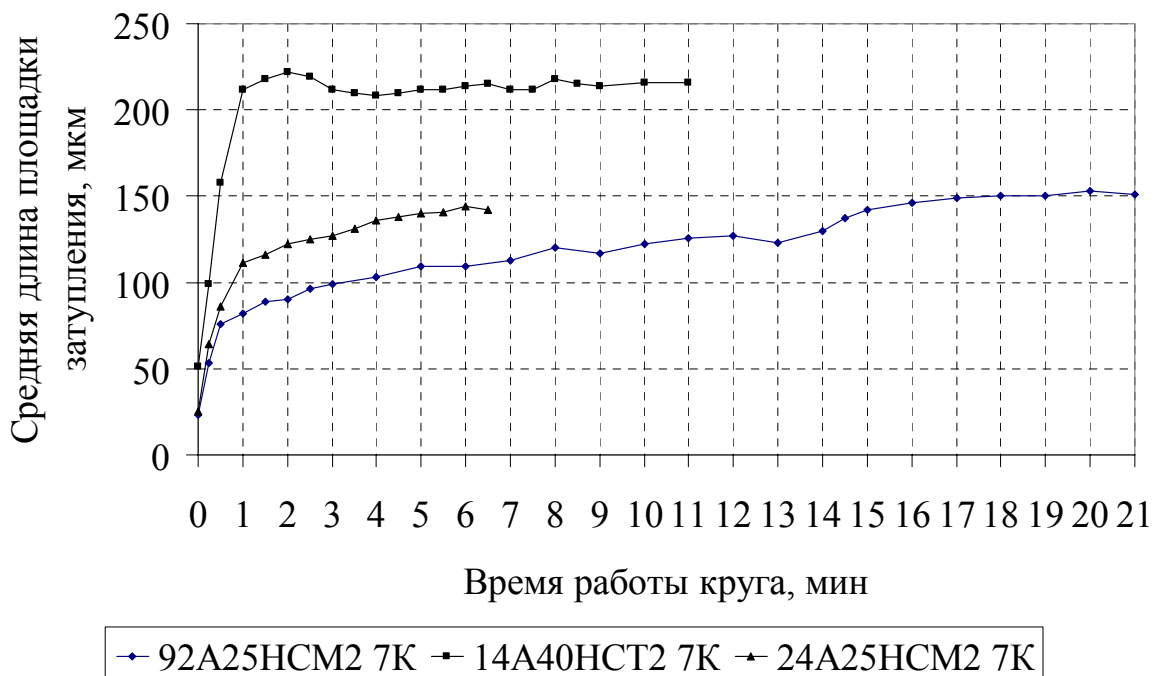


Рис. 4. Зависимость средней длины площадки затупления от времени работы круга и характеристики абразивного инструмента ( $V_{\text{спад}}=0,2$  мм/мин)

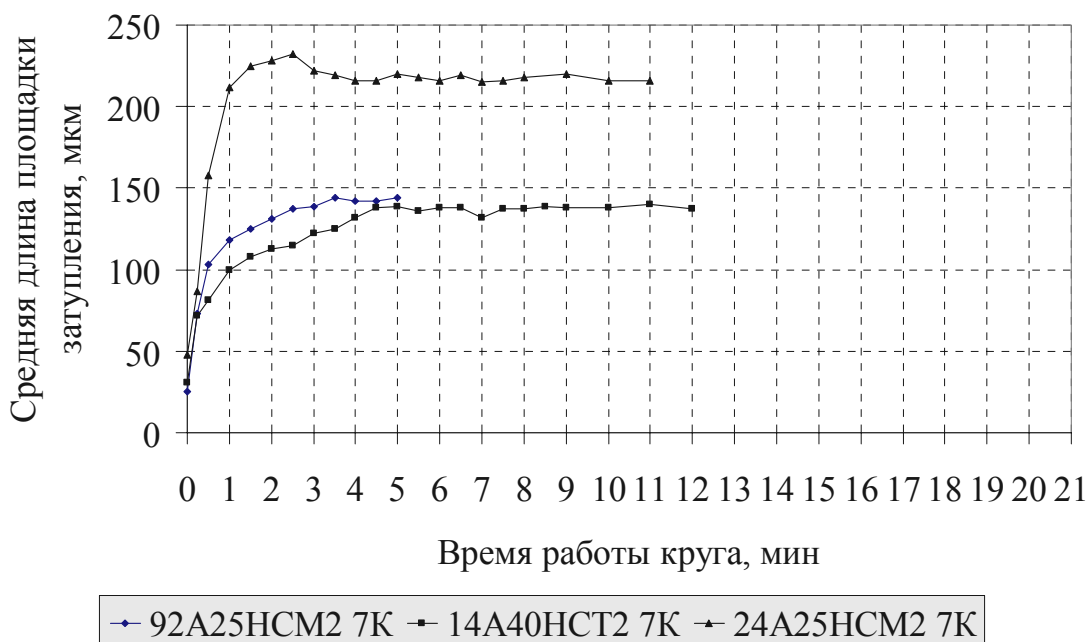


Рис. 5. Зависимость средней длины площадки затупления от времени работы круга и характеристики абразивного инструмента ( $V_{\text{спад}}=0,3$  мм/мин)

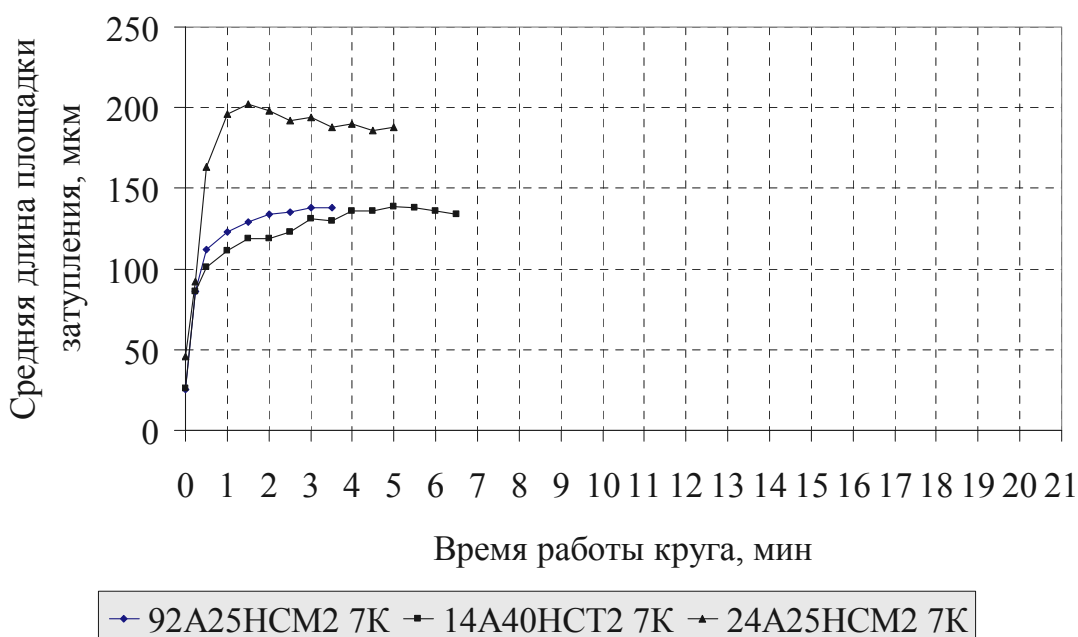


Рис.6. Зависимость средней длины площадки затупления от времени работы круга и характеристики абразивного инструмента ( $V_{\text{спад}}=0,5$  мм/мин)

После статистической обработки экспериментальных данных была получена эмпирическая модель (1) величины площадки затупления абразивного зерна в зависимости от режимов резания, материала, размера абразивного зерна и времени работы круга.

$$l_3 = a_0 + a_1 e^{\mu_1 t} + a_2 e^{\mu_2 t} \quad (1)$$

На рис. 7, рис. 8, рис. 9 показаны графики зависимостей, построенных по формуле (1), для трех абразивных кругов: 92А25СМ2 7К, 24А25СМ2 7К, 14А40СТ2 7К отличающихся по материалу и размеру абразивного зерна.

Из графиков (см. рис. 7, рис. 8, рис. 9) видно, что интенсивный износ абразивных зерен происходит в первые 2–3 минуты работы круга. Время относительной стабилизации процесса резания протекает в последующие 2–12 мин, в зависимости от режимов обработки и характеристики круга. После чего наступает динамическая расстабилизация процесса шлифования.

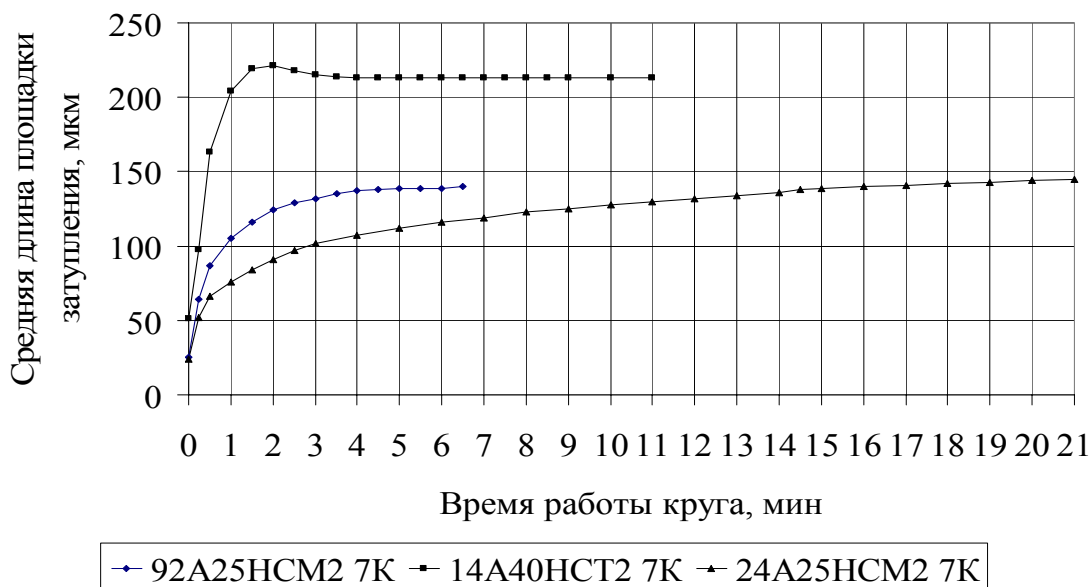


Рис. 7. Зависимость средней длины площадки затупления от времени работы круга и характеристики абразивного инструмента, полученная по формуле (1) ( $V_{\text{спад}}=0,2$  мм/мин)

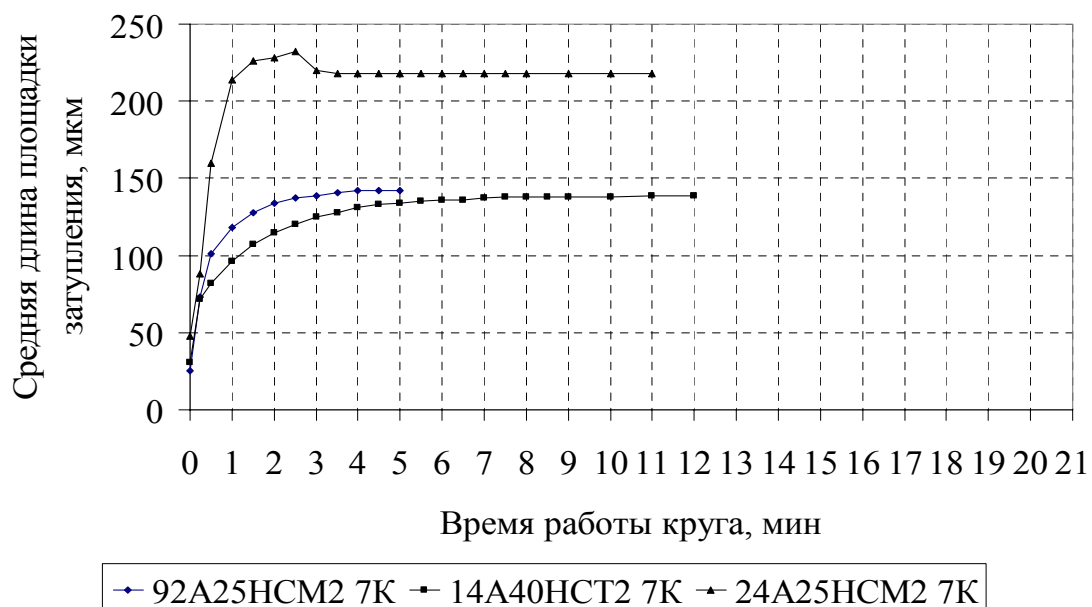


Рис. 8. Зависимость средней длины площадки затупления от времени работы круга и характеристики абразивного инструмента, полученная по формуле (1) ( $V_{\text{спад}} = 0,3$  мм/мин)

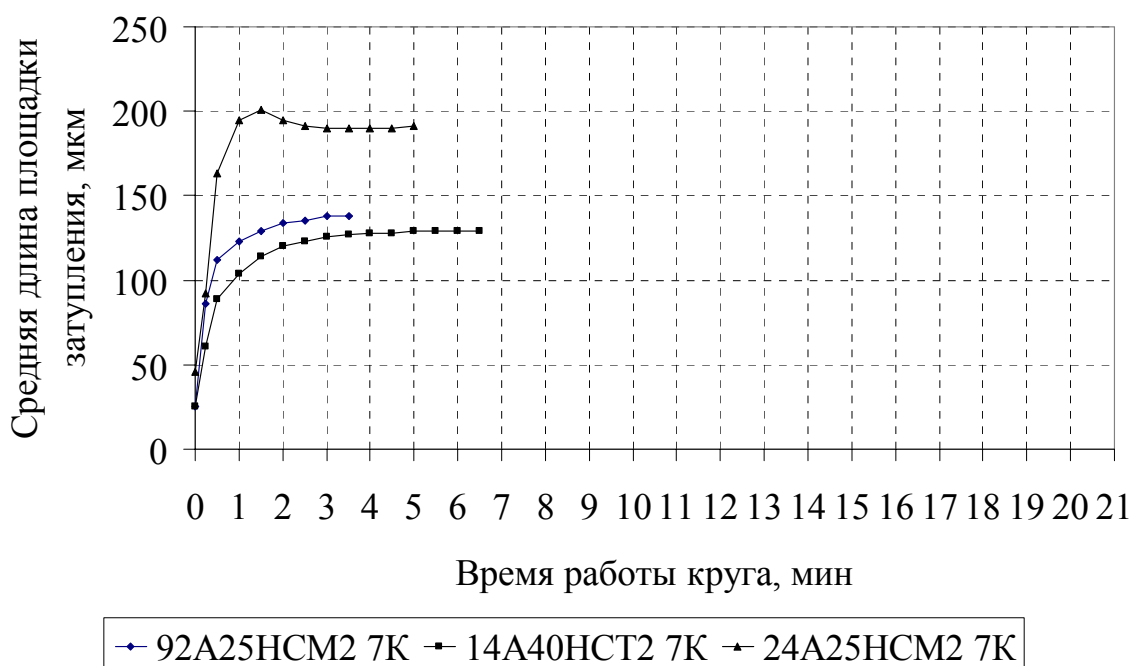


Рис. 9. Зависимость средней длины площадки затупления от времени работы круга и характеристики абразивного инструмента полученная по формуле (1) ( $V_{\text{срад}}=0,5$  мм/мин)

В таблице приведены коэффициенты уравнения (1) для разных шлифовальных кругов.

Таблица

Коэффициенты уравнения регрессии (1)

Маркировка круга	$a_0$	$a_1$	$\mu_1$	$a_2$	$\mu_2$
Подача 0,2 мм/мин					
92A25СM2 7K	151,8	-25,34	0,31	-101,96	0,9
24A25СM2 7K	140,22	-3,24	-0,3	-112,1	0,68
14A40СТ2 7K	213,4	-162,8	0,4	-154,6	0,32
Подача 0,3 мм/мин					
92A25СM2 7K	138,9	-13,75	-0,365	-94,42	0,76
24A25СM2 7K	142,675	-0,6	-0,08	-117,04	0,6
14A40СТ2 7K	206,91	265,18	0,17	-424,3	0,17
Подача 0,5 мм/мин					
92A25СM2 7K	139,4	-51,51	0,029	-66,87	,77
24A25СM2 7K	139,6	-23,95	0,007	-90,69	0,59
14A40СТ2 7K	204,3	168,89	0,12	-482,3	0,16

По полученным данным износа абразивных кругов станет возможным более глубоко изучить обрабатываемость сталей шлифованием. Моделируя работу абразивного круга в виде единичного абразивного зерна, задаваясь площадкой затупления соответствующей времени работы круга, режимам обработки и температуре возникающей в зоне шлифования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лоладзе Т.Н., Бокучава Г.В. Износ алмазов и алмазных кругов. — М.: Машиностроение, 1967. — 112 с.
2. Маталин А.А. Качество поверхности и эксплуатационные свойства шлифовальных кругов. — М.: Машгиз, 1958. — 204 с.

## ПОЛИЭКСПОНЕНЦИАЛЬНАЯ РЕГРЕССИЯ В МОДЕЛЯХ ИЗНОСА АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

А.В. Геренштейн, А.А. Кошин, А.А. Дьяконов

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Челябинской области.

Одним из важнейших показателей работоспособности шлифовального круга является его сопротивляемость износу. В условиях производственного шлифования доминирует износ в виде образования и нарастания площадок затупления на абразивных зернах шлифовального круга. Для учета этой особенности работы шлифовального инструмента при проектировании шлифовальных операций и управлении циклом шлифования необходимы функциональные зависимости износа от времени работы.

Поскольку физическая теория износа, в том числе и абразивного инструмента, находится еще в стадии выявления сущности явлений, основным направлением разработки математических моделей износа в настоящее время остается обработка результатов экспериментов с построением уравнения регрессии. Однако при этом необходимо обеспечить, чтобы уравнение регрессии отражало выявленные качественные свойства описываемого процесса — наличие экстремумов, особенности поведения на границах области определения.

Экспериментальные исследования износа шлифовальных кругов в различных условиях производственного шлифования показали, что кривые износа имеют характерный вид (рис. 1).

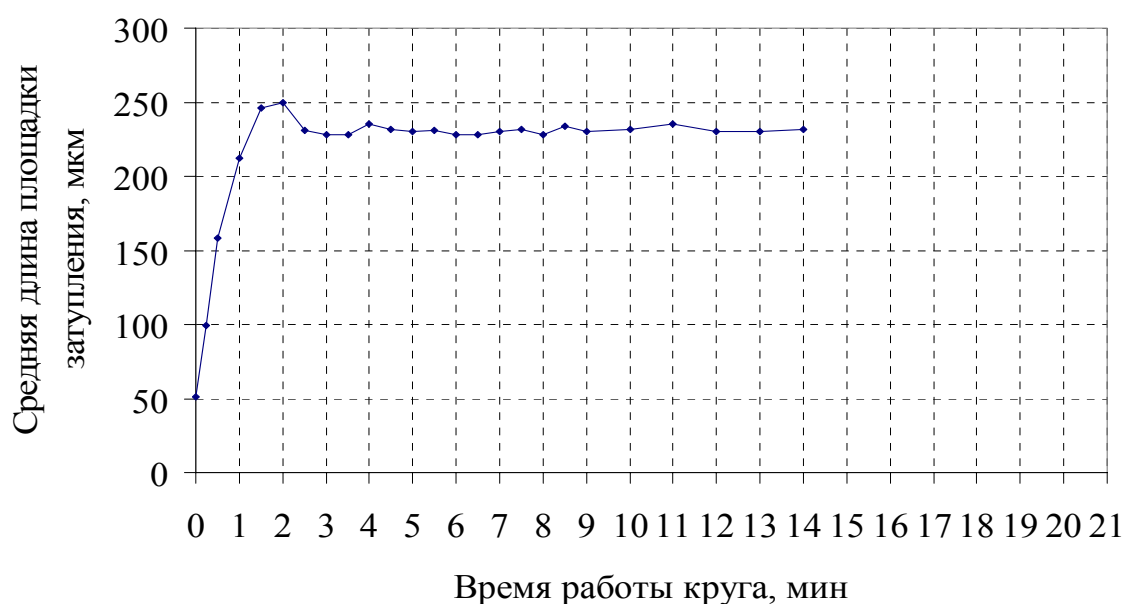


Рис. 1. Вид экспериментальной кривой износа шлифовального круга

Для подбора вида уравнения регрессии необходимо учесть следующие характерные особенности этих кривых:

- наличие экстремума;
- фиксированная точка начала процесса, определяемая зернистостью круга;
- наличие горизонтальной асимптоты, отражающей установившиеся динамическое равновесие между двумя механизмами износа: затупление режущих зерен и вырывание тупых зерен из связки.

Такому набору свойств удовлетворяет семейство экспоненциальных многочленов

$$Z = a_1 t^{\partial_1 t} + a_2 t^{\partial_2 t} + b \quad (1)$$

С точки зрения регрессионного анализа подбор коэффициентов в этом семействе функций — это существенно нелинейная задача, которая не сводится к линейной известными функциональными преобразованиями.

Для решения этой задачи предлагается наложить ограничения на метод измерения. Предлагается измерения проводить через равные промежутки времени  $h$ , что не создает дополнительных трудностей при проведении эксперимента. Тогда в формуле (1) целесообразно ввести обозначения

$$M_1 = e^{\partial_1 h} \text{ и } M_2 = e^{\partial_2 h} \quad (2)$$

В результате чего уравнение регрессии преобразуется к виду

$$Z_k = a_1 M_1^k + a_2 M_2^k + b, \text{ при } k = 0, 1, \dots, n. \quad (3)$$

В этом уравнении необходимо определить параметры  $a_1, a_2, \mu_1, \mu_2$ . Наибольшую трудность вызывает определение коэффициентов  $\mu_1, \mu_2$ . Для этого составим разности

$$\begin{cases} \Delta Z_k = Z_{k+1} - Z_k = a_1 M_1^k (M_1 - 1) + a_2 M_2^k (M_2 - 1), \\ \Delta Z_{k+1} = Z_{k+2} - Z_{k+1} = a_1 M_1^{k+1} (M_1 - 1) + a_2 M_2^{k+1} (M_2 - 1), \\ \Delta Z_{k-1} = Z_k - Z_{k-1} = a_1 M_1^{k-1} (M_1 - 1) + a_2 M_2^{k-1} (M_2 - 1). \end{cases} \quad (4)$$

Если произвести следующие линейные преобразования

$$\begin{cases} \Delta Z_{k+1} - M_1 \Delta Z_k = a_2 M_2^k (M_2 - M_1)(M_2 - 1), \\ \Delta Z_k - M_1 \Delta Z_{k-1} = a_2 M_2^{k-1} (M_2 - M_1)(M_2 - 1), \end{cases} \quad (5)$$

то можно получить соотношение

$$\Delta Z_{k+1} - (M_1 + M_2) \Delta Z_k + M_1 M_2 \Delta Z_{k-1} = 0, \quad (6)$$

в котором коэффициенты можно интерпретировать как корни некоторого квадратного уравнения. Соотношение (6) учитывает три соседних измерения. Для учета всего массива измерений по аналогии с методом наименьших квадратов из выражения (6) сформируем, путем сдвига вправо и влево и суммирования по всем точкам, систему (7).

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^{n-1} \Delta Z_{k+1} \Delta Z_k - (M_1 + M_2) \sum_{k=1}^{n-1} (\Delta Z_k)^2 + M_1 M_2 \sum_{k=1}^{n-1} \Delta Z_k \Delta Z_{k-1} = 0, \\ \sum_{k=1}^{n-1} \Delta Z_{k+1} \Delta Z_{k-1} - (M_1 + M_2) \sum_{k=1}^{n-1} \Delta Z_k \Delta Z_{k-1} + M_1 M_2 \sum_{k=1}^{n-1} (\Delta Z_{k-1})^2 = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Эта система является линейной относительно  $(\mu_1 + \mu_2)$  и  $(\mu_1 \mu_2)$ . Решая эту систему, определяем значения этих параметров, которые можно интерпретировать как корни уравнения

$$M^2 - (M_1 + M_2)M + M_1 M_2 = 0. \quad (8)$$

Решая полученное квадратное уравнение, определим неизвестные  $\mu_1$  и  $\mu_2$ . Корни могут быть и совпадающими и комплексными, т.е. вместо (3) могут быть и такие зависимости:

$$\begin{aligned} Z_k &= \mu_0^k (a_1 \cos k\alpha + a_2 \sin k\alpha) + b; \\ Z_k &= \mu_0^k (a_1 + a_2 k) + b. \end{aligned} \quad (9)$$

Так как теперь  $\mu_1$  и  $\mu_2$  известны, то зависимость (3) становится линейной относительно аргументов  $x_k = \mu_1^k$ ,  $y_k = \mu_2^k$ . Коэффициенты этой линейной регрессии находятся методом наименьших квадратов.

После этого обычными статистическими методами оценивается уровень значимости регрессии (распределение Фишера). Если регрессия не значима, то модель (3) отвергается.

На рис. 2 приведены результаты обработки экспериментальных данных для случая, приведенного на рис. 1.

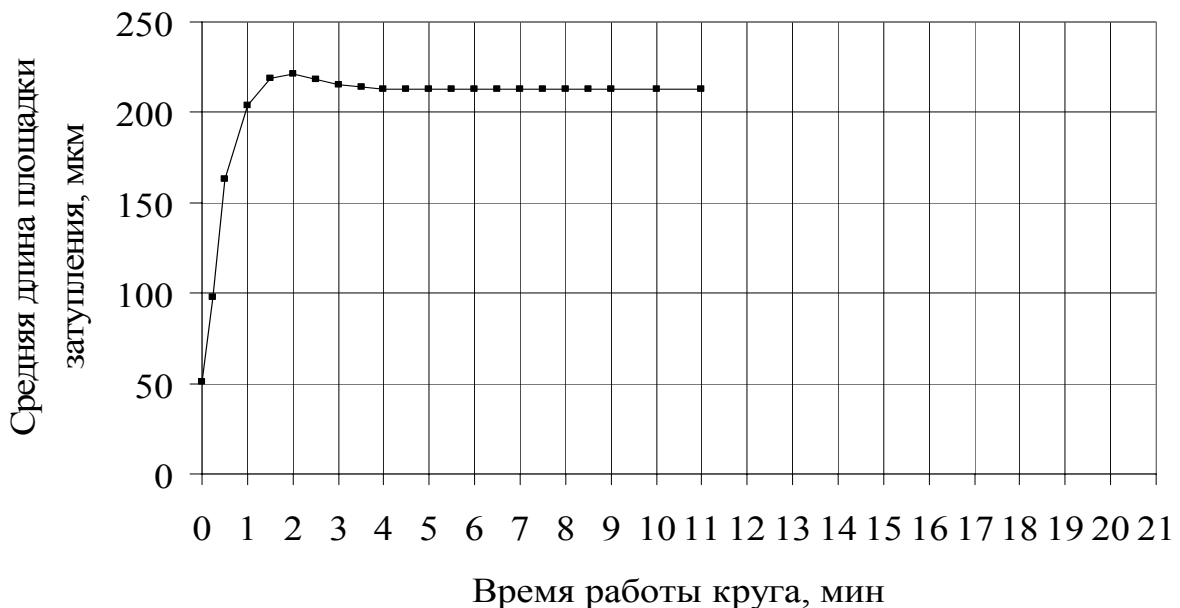


Рис. 2. Вид кривой износа шлифовального круга построенной по модели (3)

Как видно, полученное уравнение регрессии отражает все характерные свойства исследуемого процесса:

- отражает стартовую точку ( $t=0$ );
- описывает наличие экстремума;
- имеет асимптотическую достоверность.

Таким образом, можно рекомендовать полиэкспоненциальную регрессию в качестве модели для описания процессов износа абразивного инструмента.

## ПУЛЬСИРУЮЩИЙ ХАРАКТЕР СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

А.А. Кошин, Д.В. Ардашев, А.А. Дьяконов

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Челябинской области.

Обработка металлов резанием (любым методом) заключается в удалении слоя металла с поверхности заготовки при помощи режущего инструмента. В случае лезвийной обработки, например точения, резание представляет собой снятие припуска при помощи острой кромки резца.

Иная картина складывается при шлифовании. Известно, что шлифовальный круг представляет собой множество хаотично расположенных режущих зерен, которые удаляют припуск с заготовки. Каждое абразивное зерно, срезая микростружку, воздействует на заготовку единичным импульсом силы. Силовое воздействие шлифовального круга на обрабатываемую заготовку заключается в сумме воздействий, воспринимаемых заготовкой от каждого единичного абразивного зерна.

На рис. 1 показано принципиальное расположение зерен на рабочей поверхности круга.

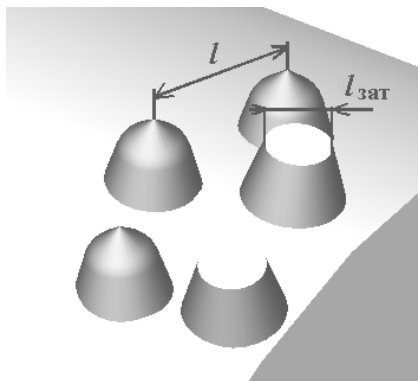


Рис. 1. Расположение зерен на рабочей поверхности шлифовального круга

Рабочую поверхность шлифовального круга можно характеризовать следующими параметрами:  $l$  — среднее расстояние между зернами;  $i$  — количество зерен, прошедших по длине дуги контакта;  $l_{\text{заг}}$  — величина площадки затупления. Как видно из рис. 1, режущая кромка круга представляет собой совокупность нескольких зерен.

Еще Л.А. Глейзер [1] разделял работающие зерна на режущие и давящие, т.е. утверждал, что контакт круга с заготовкой осуществляется дискретно. Дискретный характер шлифования учтен в работах А.В. Королева и Ю.К. Новоселова [2, 3] при моделировании процесса формообразования поверхностей инструмента и детали. В работе С.Г. Редько [4] общее количество тепла, воспринимаемого заготовкой, представлено как сумма тепловых микроимпульсов от каждого режущего зерна. П.И. Ящерицин [5] предложил формулы



для расчета баланса тепла в зоне контакта, рассматривая дискретный контакт круга с обрабатываемой заготовкой.

Таким образом, дискретный характер процесса шлифования учитывается в ряде моделей (шероховатость поверхности, температура в зоне шлифования), описывающих работоспособность шлифовального круга. При моделировании сил прерывистый характер процесса шлифования не учитывался.

Попытка учета дискретного контакта круга с заготовкой при расчете суммарной силы резания при шлифовании впервые была предпринята в работе В.И. Клочко [6]. В указанной работе расчет выполнен для одного сечения круга с равномерным расположением режущих зерен, т.е. без учета вероятностного характера расположения зерен. Реально круг представляет собой совокупность сечений (диски толщиной в одно абразивное зерно), случайным образом повернутые друг относительно друга. На каждом диске расположение абразивные зерна носит случайный характер, подчиняющийся нормальному закону распределения.

Графически, силовые импульсы от единичных абразивных зерен, расположенных в разных сечениях рабочего профиля круга, воспринимаемые поверхностью заготовки, можно представить следующим образом:

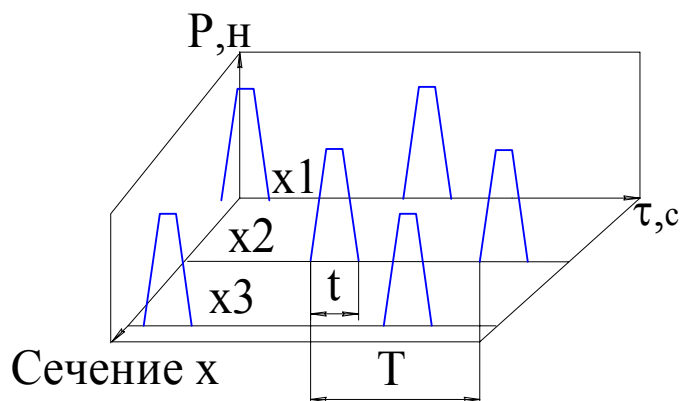


Рис. 2. Силовые импульсы, воспринимаемые заготовкой от единичных зерен  
 $P$  — величина силового импульса;  $t$  — время действия единичного силового импульса;  $T$  — время подхода следующего абразивного зерна

Величина времени действия силового импульса от единичного зерна зависит от величины площадки затупления, а также от длины дуги контакта шлифовального круга с заготовкой (от вида шлифования и режимов). Период возникновения силовых импульсов зависит от расстояния между шлифовальными зернами. Величины параметров, характеризующих рабочий профиль шлифовального круга, приведены в таблице (размеры площадок затупления, а также расстояние между зернами определялись опытным путем — посредством получения отпечатков рабочего профиля круга на алюминиевую фольгу).

Таким образом, из вышеизложенного, основанного на физике процесса шлифования ясно следующее:

1. Вследствие хаотичного расположения зерен по рабочей поверхности круга удаление микрослоев припуска происходит не равномерно.
2. Суммарное силовое воздействие от всех работающих зерен круга складывается из единичных импульсов от каждого абразивного зерна (рис. 3).

3. Предполагается, что силовой контакт круга с обрабатываемой заготовкой имеет пульсирующий характер и в каждый момент времени работы круга нестационарен.

Таблица

Зернистость круга	Среднее расстояние между зернами $l$ , мм		Средняя величина площадки затупления $l_{зат}$ , мм		
	По данным				
	Е.Н. Маслова [8]	С.Г. Редько [4]	Эксперимент	А.А. Маталина [9]	Эксперимент
25	0,26	0,32	0,25	0,100	0,098
40	0,36	0,39	0,34	0,153	0,133
50	0,47	0,58	0,44	0,200	0,160

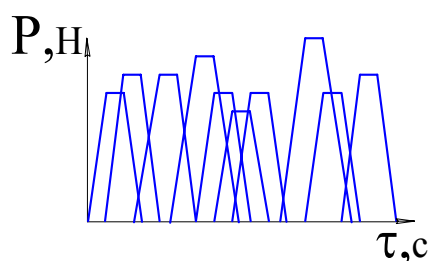


Рис. 3. Силовые импульсы, воспринимаемые заготовкой от участка рабочей поверхности шлифовального круга

Для проверки выдвинутого предположения было проведено экспериментальное исследование на стенде, выполненном на базе круглошлифовального станка модели 3М151Ф2. Кругом характеристики 24А25НСМ27К 50 м/с обрабатывались образцы из стали 45 (42...45 HRC<sub>9</sub>) по схеме круглого наружного шлифования с радиальной подачей. При помощи бесконтактного индуктивного датчика регистрировались колебания заднего центра в поперечном направлении. Сигнал с датчика направлялся в звуковую карту компьютера, где регистрировался посредством программы Sound Forge. Результаты экспериментов приведены на рис. 4.

Как видно из рис. 4, выдвинутое предположение о нестационарности и пульсирующем характере силы шлифования подтверждается. Амплитуда колебаний силы резания пропорциональна времени шлифования и не зависит от величины скорости радиальной подачи круга.

Построение разверток вибро-динамической диаграммы в характерных сечениях (рис.5) позволяет сопоставить процессы, происходящие в зоне шлифования с показаниями измерительной системы.

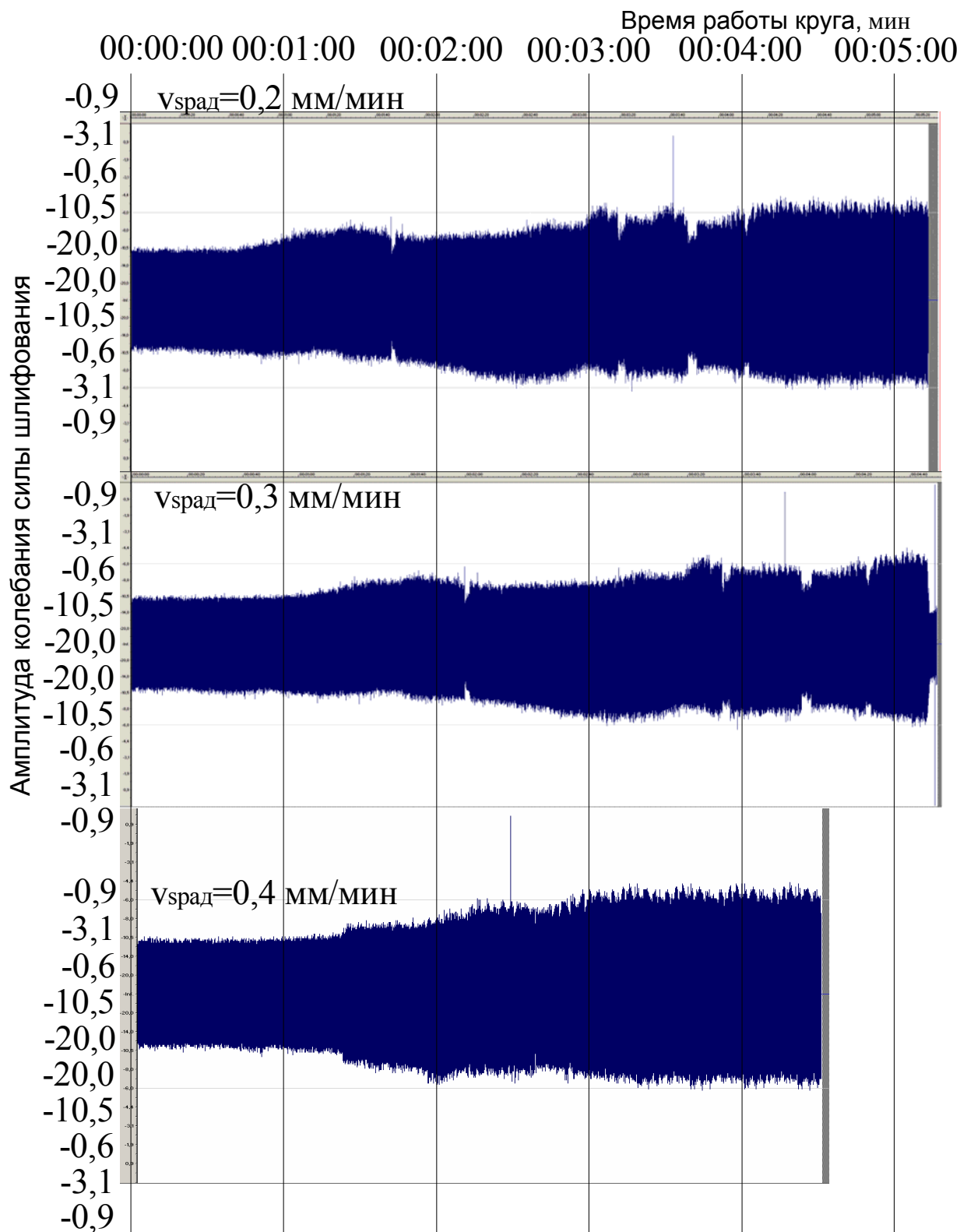


Рис. 4. Вибро-динамические диаграммы круга 24A25HСМ27К 50 м/с при обработке стали 45 (42...45 HRC) на разных режимах шлифования

Как известно, в начале процесса шлифования круг работает зернами, микрогеометрия которых сформирована правкой. Эти зерна являются острыми и первыми начинают резание. На вибро-динамической диаграмме это выражается в наличии только несущей частоты измерительной системы и отсутствии каких-либо резательных воздействий (см. рис. 5,а).

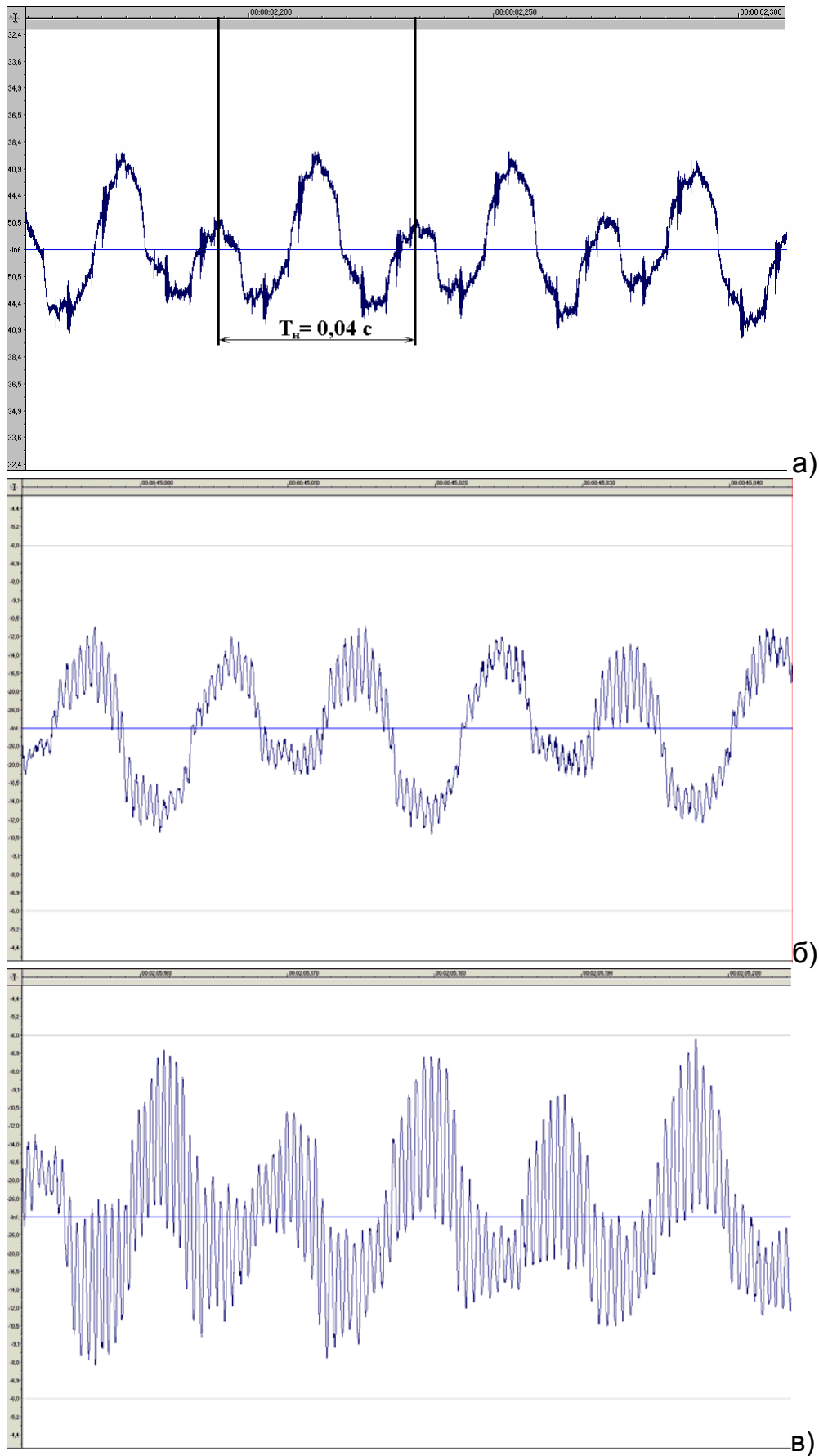


Рис. 5. Развертка вибро-динамической диаграммы в характерных сечениях (разное время работы круга) для скорости радиальной подачи круга  $V_{\text{Срад}} = 0,4 \text{ мм/мин}$ : а) 0,1 мин; б) 1,5 мин; в) 3 мин

В дальнейшем на острых зернах образуются площадки затупления, возрастает нормальная составляющая силы резания, зависящая от величины площадки затупления зерна. Это приводит к возникновению вибраций технологической системы, что на вибро-динамической диаграмме выражается в появлении низкоамплитудных гармонических колебаний (см. рис. 5 и б).

В процессе шлифования размеры площадки затупления увеличиваются, что приводит к возрастанию амплитуды колебания технологической системы (см. рис. 5,в).

Обозначим период одного колебания (см. рис. 5,а) несущего сигнала (не обусловленного резанием)  $T_H = 0,04$  с. Эта величина равна времени, за которое шлифовальный круг при  $n_K = 1590$  об/мин ( $V_K = 50$  м/с) поворачивается на один оборот  $T_{об}$ :

$$T_{об} = \frac{60}{n_K} = \frac{60}{1590} = 0,038 \text{ с}$$

При увеличении временного масштаба волны несущего сигнала (рис. 6) видно, что период колебаний  $T_{д.к.}$ , возникающих на несущем сигнале в процессе работы круга, вызванный, как установлено ранее, затуплением зерен шлифовального круга, в среднем составляет 0,001 с. Эта величина совпадает с расчетной величиной времени прохождения деталью одной дуги контакта<sup>1</sup>.

Количество пиков, находящихся на одном периоде колебаний несущей частоты (см. рис. 5,в) — около 40.

Не трудно посчитать количество дуг контакта  $K$ , которое успевает пройти деталь за один оборот шлифовального круга:

$$K = \frac{T_{об}}{T_{д.к.}} = \frac{0,038}{0,001} = 38$$

Результат расчета совпадает с количеством пиков на одном периоде несущей частоты. На основании этого можно предположить, что единичный пик на несущей частоте представляет собой вступление в резание группы абразивных зерен, расположенных в одной плоскости сечения на круге, которые проходят дугу контакта.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Интегральная сила шлифования, состоящая из отдельных силовых импульсов единичных режущих зерен, имеет пульсирующий характер.
2. Полученные вибро-динамические характеристики процесса шлифования адекватны физическим процессам, происходящим в зоне резания.
3. Вибро-динамические диаграммы позволяют определить амплитудно-частотные характеристики непосредственно процесса резания.
4. Увеличение амплитуды колебаний технологической системы вызвано ростом площадок затупления на режущих абразивных зернах.

---

<sup>1</sup> Длина дуги контакта круга с заготовкой рассчитывалась по формуле Е.Н. Маслова [6]

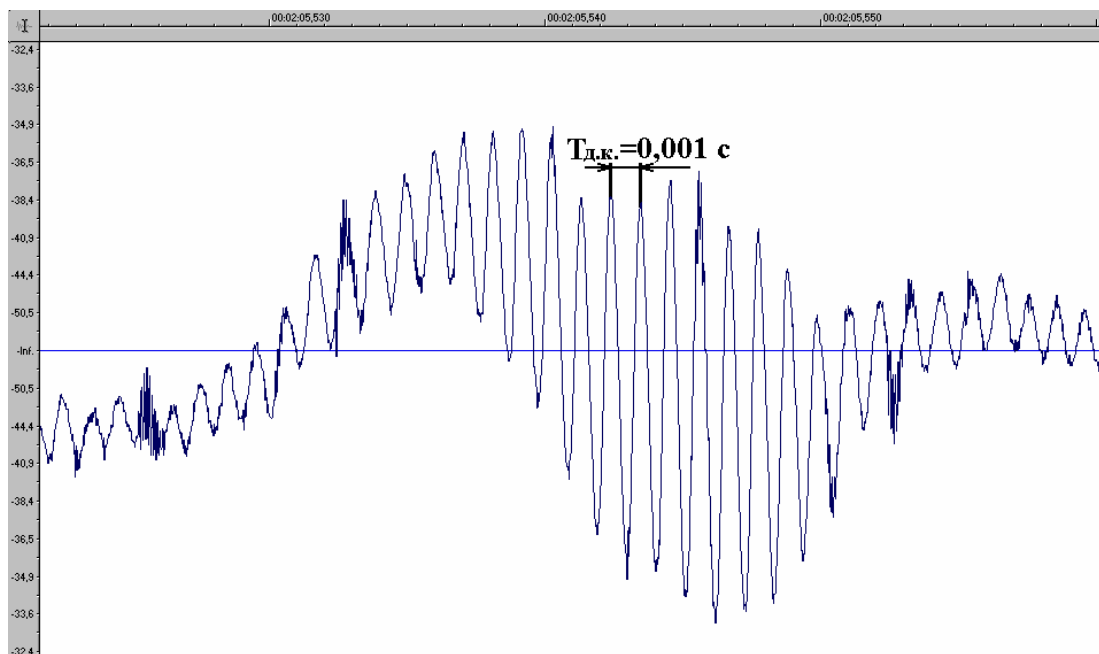


Рис. 6. Развертка вибро-динамической диаграммы с возникшей «резательной» составляющей

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глейзер Л.А. О сущности процесса круглого шлифования / В сб. «Вопросы точности в технологии машиностроения». — М., Машгиз, 1959. — 23 с.
2. Королев А.В., Новоселов Ю.К. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. — Саратов: Изд-во саратовского университета, 1987. — 156 с.
3. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. — Саратов: Изд-во саратовского университета, 1979. — 232 с.
4. Редько С.Г. Процессы теплообразования при шлифовании металлов. — Саратов, Изд. Саратовского университета, 1962. — 231 с.
5. Ящерицын П.И., Цокур А.К., Еременко М.Л. Тепловые явления при шлифовании и свойства обработанных поверхностей. — Минск: «Наука и техника», 1973. — 184 с.
6. Ключко В.И. Эффективность высокоскоростного шлифования разных сталей и сплавов с учетом точности и качества обработки: Автореферат дис. канд. техн. наук. — Челябинск: ЧПИ, 1984. — 16 с.
7. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. — М.: Машиностроение, 1974. — 280 с.
8. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. — М.: Машиностроение, 1974. — 320 с.
9. Маталин А.А. Механизм работы абразивного зерна / В сб. Основные вопросы высокопроизводительного шлифования. — М.: Машгиз, 1960. — 56 с.

## ПРОЕКТИРУЮЩИЕ МАСТЕРА КАК СПОСОБ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СП

Мясников Ю.И., Пушкарев А.В.

В результате совершенствования ранее созданной на кафедре «Технологии машиностроения» системы проектирования станочных приспособлений (СП) «Конструктор СП» [1, 2, 3] разработана новая система визуального проектирования «Контур». Эта система рассчитана на проектирование различных технологических приспособлений как части технологической оснастки (ТО) — станочных приспособлений, вспомогательных инструментов, контрольных приспособлений и других.

Процесс проектирования технологических приспособлений в системе «Контур» представляет собой решение многочисленных проектных задач, отличающихся многообразием и степенью сложности. Особенность этой системы заключается в том, что она обеспечивает решение «любых проектных задач». Это достигается в значительной степени за счет двух обеспечивающих подсистем, содержащих системные средства визуального проектирования — средств инструментального оснащения и информационного обеспечения.

Средства инструментального оснащения являются структурными компонентами подсистемы «средств инструментального оснащения» системы «Контур» и обеспечивают процесс проектирования технологических приспособлений путем использования специальных системных компонент средств инструментального оснащения (рис. 1): проектирующих шаблонов (п\_шаблоны), проектирующих мастеров (п\_мастера), проектирующих инструментов (п\_инструментов).



Рис. 1. Средства инструментального оснащения системы «Контур»  
как системные компоненты

Значимость системных компонент средств инструментального оснащения в процессе визуального проектирования неоднозначна. Проектирующие шаблоны (п\_шаблоны) являются постоянной составляющей всего процесса визуального проектирования, определяющей методику системного (инженерного) проектирования технологических приспособлений (создания объекта проектирования). Проектирующие мастера (п\_мастера) и проектирующие инструменты (п\_инструменты) являются обеспечивающими составляющими процесса визуального проектирования технологических приспособлений, определяющими технологию визуального проектирования (средств проектирования). На рис. 1 эти особенности отражены направлением стрелок.

В данной статье рассмотрены краткие характеристики и особенности проектирующих мастеров (п\_мастеров) как средств инструментального оснащения системы визуального проектирования СП «Контур».

В системе «Контур» все мастера создаются в соответствии с их служебным назначением и учетом основных требований, которые сводятся к следующим:

— расширение интерфейсных возможностей Системы как Windows-приложения;

— максимальное расширение возможностей принципа «шаг за шагом» в процессе решения проектных задач;

— создание условий ускоренного диалогового проектирования СП в соответствии с методикой и технологией визуального проектирования.

Исходя из этих требований все мастера (без исключения) в системе «Контур» рассматриваются как проектирующие мастера (п\_мастера) — от мастеров проектов (п\_мастер\_проекта) до мастеров шаблонов (п\_мастер\_шаблон). В настоящее время разработаны три группы п\_мастеров: мастера проектов, мастера шаблонов и мастера расчетов.

Проектирующий мастер проекта (п\_мастер\_проекта) — это мастер разработки нового проекта технологического приспособления на основе ранее разработанного проекта технологического приспособления (прототипа). Здесь с помощью п\_мастера осуществляется загрузка элементов проекта-прототипа в область создаваемого проекта и последовательное редактирование до получения готового проекта.

Проектирующий мастер шаблона (п\_мастер\_шаблон) — это мастер разработки документа (или документов), копирующий ввод данных в шаблон документа. Примерами таких п\_мастеров могут служить: «мастер титульного листа», «мастер содержания проекта» и т.п.

**П\_мастера шаблоны** — это мастера разработки документов, копирующих ввод данных в шаблон документа. Сущность п\_мастеров шаблонов поясняется примером мастера разработки титульного листа проекта. Поиск мастера в библиотеке мастеров поясняется рис. 2.

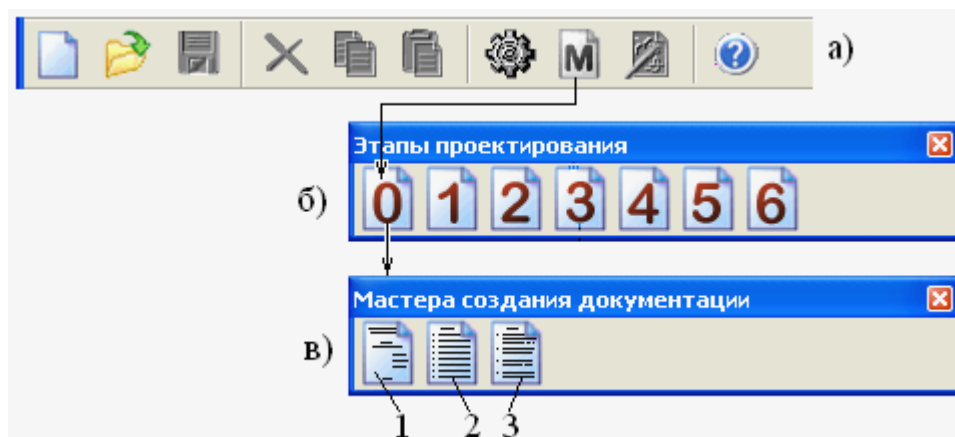


Рис. 10.1.6. Схема поиска мастера в библиотеке п\_мастеров:

а – диалоговая панель пиктограмм центра управления проектом; б – диалоговая панель этапов проектирования; в – содержание проектирующих мастеров этапа 3 (1 – титульный лист; 2 – литература; 3 – содержание)



На панели пиктограмм активизируется пиктограмма мастеров проектирования (а), на диалоговой панели этапов проектирования (б) устанавливается и активизируется нужный этап, в результате чего на экран дисплея выводится панель мастеров данного этапа (в). При активизации пиктограммы мастера формирования титульного листа проекта на экран дисплея выводятся (рис. 3) диалоговые окна формирования текста титульного листа.

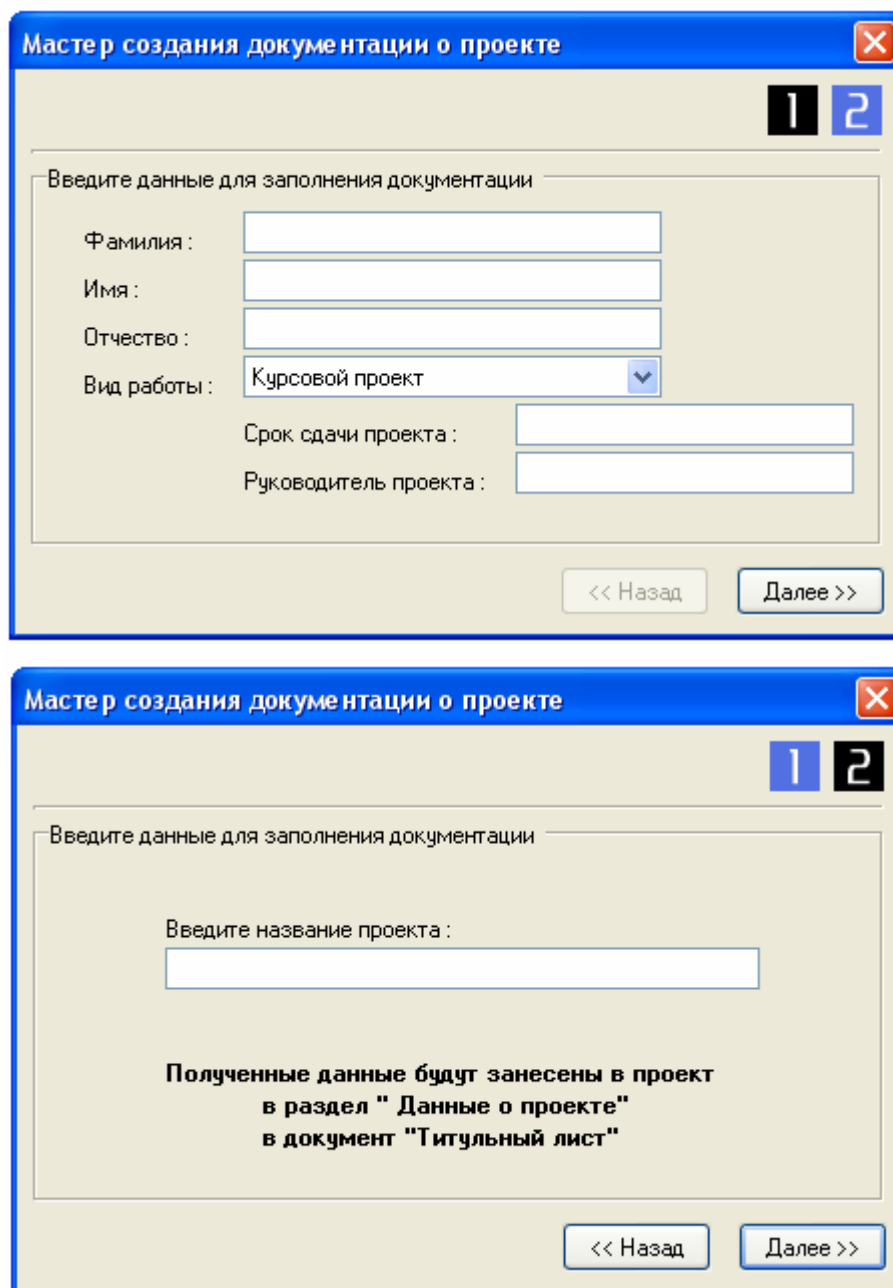


Рис. 3. Диалоговые окна формирования титульного листа проекта

**М\_мастера\_решений** — это мастера, создаваемые для решения конкретных проектных задач, необходимых при разработке проекта конструкции технологического приспособления.

Сущность п\_мастеров решений поясняются примером расчета коэффициента надежности закрепления заготовки в станочном приспособлении (СП), определяемого по формуле  $K=K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$

Расчет коэффициента  $K$  начинается с поиска мастера в библиотеке п\_мастеров (рис. 4). На панели пиктограмм (а) активизируется пиктограмма мастеров проектирования. В результате этого выводится диалоговое окно (б), отражающее содержание мастеров на различных этапах проектирования. Рассматриваемый в примере мастер относится к этапу 3 (этапу расчетов параметров зажимного устройства). После активизации пиктограммы данного этапа выводится диалоговое окно (в) с содержанием мастеров проектирования данного этапа. При активизации пиктограммы коэффициента (1) на экран дисплея (рис. 5) последовательно выводятся панели диалога для определения различных коэффициентов (а, б, в) и результаты определения коэффициента  $K$  (г).

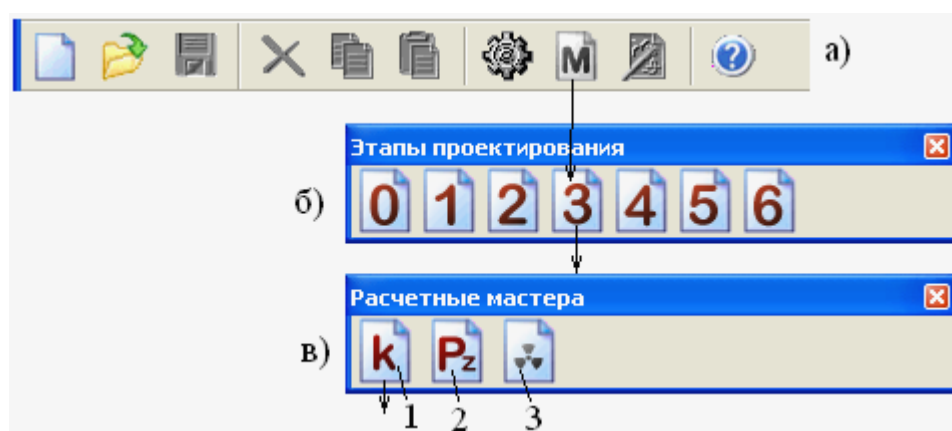


Рис. 4. Схема поиска мастера расчета коэффициента  $K$  в библиотеке п\_мастеров:  
 а) – диалоговая панель пиктограмма центра управления проектом;  
 б) – диалоговая панель этапов проектирования; в) – содержание проектирующих мастеров этапа 3 (1 – мастер расчета коэффициента  $K$  ; 2 – мастер расчета сил резания; 3 – мастер расчетов параметров поршневых силовых приводов)

При выводе первой панели диалога (а) определяется коэффициент  $K_1$ . Для этого указывается метод обработки, выбирается компонент силового воздействия и вид обрабатываемого материала. После завершения всех действий в этой панели осуществляется переход к следующей диалоговой панели путем нажатия кнопки "Далее".

При выводе второй панели диалога (б) определяются коэффициенты  $K_2$ ,  $K_3$  и  $K_4$ . Для этого указывается вид обработки, вид обрабатываемой поверхности и тип зажимного устройства.

При выводе третьей панели диалога (в) определяются коэффициенты  $K_5$  и  $K_6$  путем указания вида силового привода и характеристики площади контакта опорных поверхностей.

Завершается расчет коэффициента  $K$  выводом панели (г) с результатами расчетов. Значение коэффициента  $K$  запоминается и автоматически вставляется в расчетную формулу.

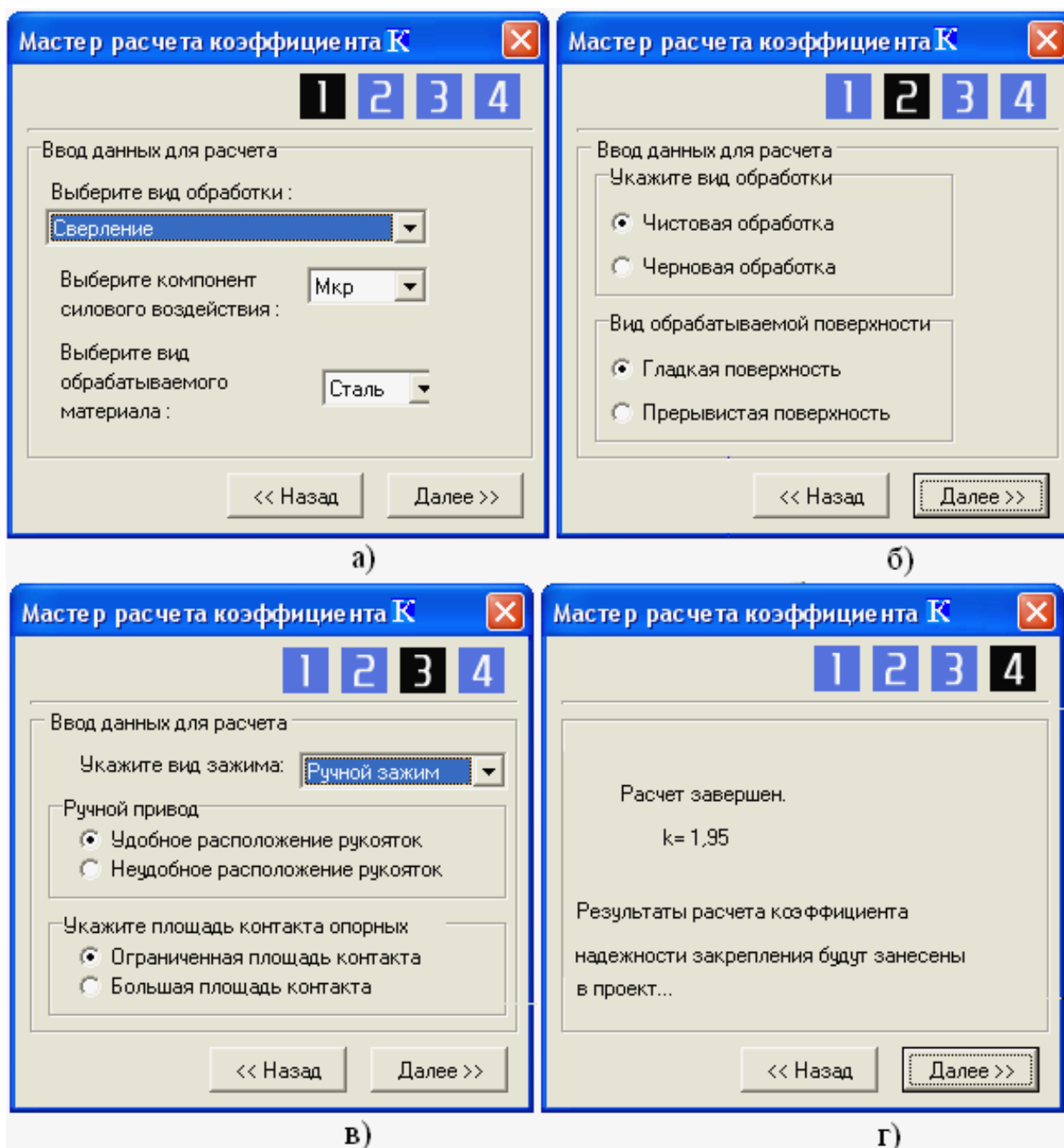


Рис. 5. Диалоговые окна мастера расчета коэффициента К

Таким образом проектирующие мастера (п\_мастер) в системе «Контур» являются специальными средствами диалога проектировщика с ЭВМ — средствами автоматизации процесса проектирования СП. С его помощью ЭВМ выдает на экран дисплея вопросы, а ответы на них проектировщика используются для решения проектной задачи. Применение в Системе п\_мастеров является наиболее быстрым способом решения «любых проектных задач» при проектировании СП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мясников Ю.И. Проектирование станочных приспособлений: Учебное пособие. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. — 481 с.

2. Мясников Ю.И., Хасанов А.М. Принцип визуального проектирования и его реализация в системе «Конструктор СП» // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. — С. 37-39.

3. Мясников Ю.И. Визуальное проектирование станочных приспособлений с помощью ЭВМ // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. — С. 38-41.

## АЛГОРИТМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ДИАМЕТРА ЦИЛИНДРА ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Пушкарев А.В., Мясников Ю.И.

**Формулировка задачи.** Необходимо разработать проектирующий мастер для расчета параметров зажимного устройства станочного приспособления (СП) типа «Оправка», принципиальная схема которого показана на рис. 1. Приспособление предназначено для обработки заготовок (Зг) по наружной поверхности на станках токарно-шлифовальной группы. Заготовка базируется (см. рис. 1) по наружной поверхности установочной части оправки (УЭ) и торцу. Закрепление Зг осуществляется быстросменной шайбой 1, тягой 2 и силовым приводом 3 поршневого типа, шток которого соединяется с тягой устройством соединения 4. При движении поршня влево Зг закрепляется. А при движении вправо — раскрепляется.

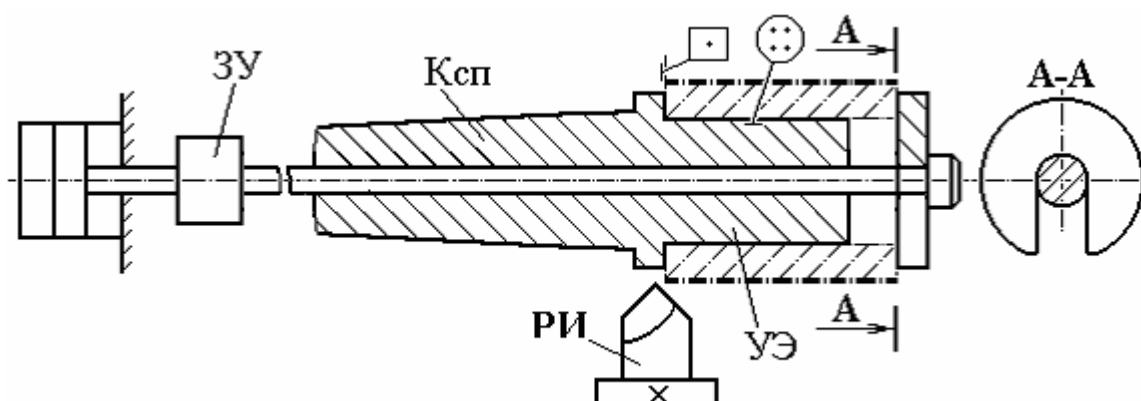


Рис. 1. Принципиальная схема станочного приспособления (СП) типа «Оправка»

**Формализация задачи.** Для решения поставленной задачи разработана расчетная схема, приведенная на рис. 2. Согласно этой схеме зажимное устройство должно обеспечить закрепление Зг силой  $W$  — теоретической силой закрепления, рассчитанной на предыдущих стадиях проектирования. Силовой привод (СПр) должен обеспечить создание тягового усилия  $Q$ . Таким образом, расчетным параметром здесь является диаметр цилиндра  $D$  (диаметр силового привода — СПр).

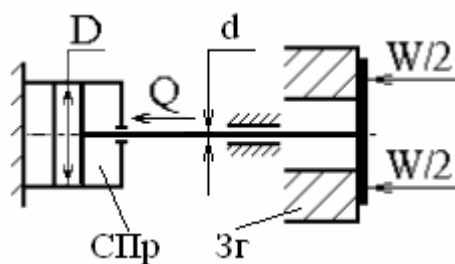


Рис. 2. Расчетная схема

Дальнейшее решение задачи сводится к определению расчетного уравнения, которое выводится на основе решения уравнения силового замыкания

$$W = \frac{Q}{i\eta},$$

где  $W$  — теоретическая сила закрепления;  $Q$  — тяговое усилие силового привода;  $i$  — передаточное отношение силового механизма;  $\eta$  — коэффициент полезного действия зажимного устройства.

Силовой привод (СПр) должен развить тяговое усилие, равное  $Q = qS$ , где  $q$  — давление рабочей среды (воздуха или жидкости);  $S$  — площадь рабочей части цилиндра.

Дальнейшие расчеты связаны с направлением действия тягового усилия ( $Q$ ) так как от этого зависит вычисление площади  $S$ . В рассматриваемом случае  $S = 0,785(D^2 - d^2)$ , где  $d$  — диаметр штока. В итоге имеем уравнение

$$\frac{W}{i\eta} = 0,785q(D^2 - d^2),$$

откуда получаем зависимость для определения расчетного диаметра

$$D = \sqrt{\left(\frac{W}{0,785q_{в}i\eta} + d^2\right)}.$$

Алгоритм решения задачи. Блок-схема алгоритма решения поставленной задачи в общем виде приводится на рис. 3.

Решение задачи начинается с ввода исходных данных (блок 2): конкретного значения теоретической силы закрепления заготовки  $W$ , значения давления рабочей среды  $q$ ; передаточного отношения силового механизма  $i$  (для рассматриваемого зажимного устройства  $i = 1$ ); значение коэффициента полезного действия  $\eta$ . Далее вычисляется необходимая площадь цилиндра (блок 3). Затем выдается поисковый запрос в базу данных диаметров стандартных цилиндров и штоков (блок 4) и производится расчет для первой пары диаметров цилиндра и штока (блок 5). Если полученное значение цилиндра меньше необходимого (блок 6), выдается поисковый запрос в базу данных диаметров цилиндров и штоков (в порядке возраста-

ния), для которых вновь производятся расчеты и сравнения. При получении необходимой площади цилиндра расчеты заканчиваются, и производится вывод результатов расчетов (блок 7).

Результаты разработки проектирующего мастера. На основе программирования разработан интерфейс проектирующего мастера, представленного в виде четырех окон на рис. 4. Результаты вводимой и выводимой информации свидетельствуют о сохранении принципа визуальности в разработанном проектирующем мастере.

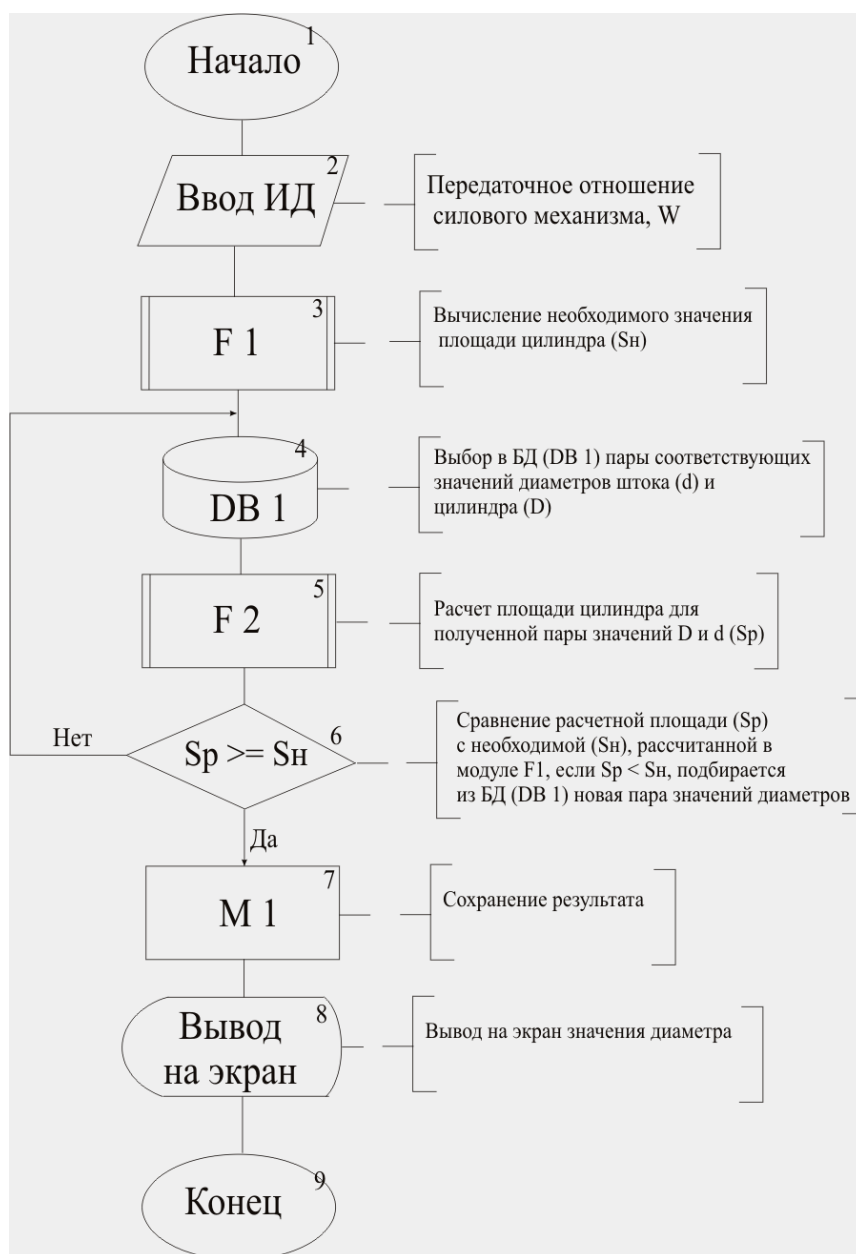


Рис. 3. Блок-схема алгоритма решения задачи

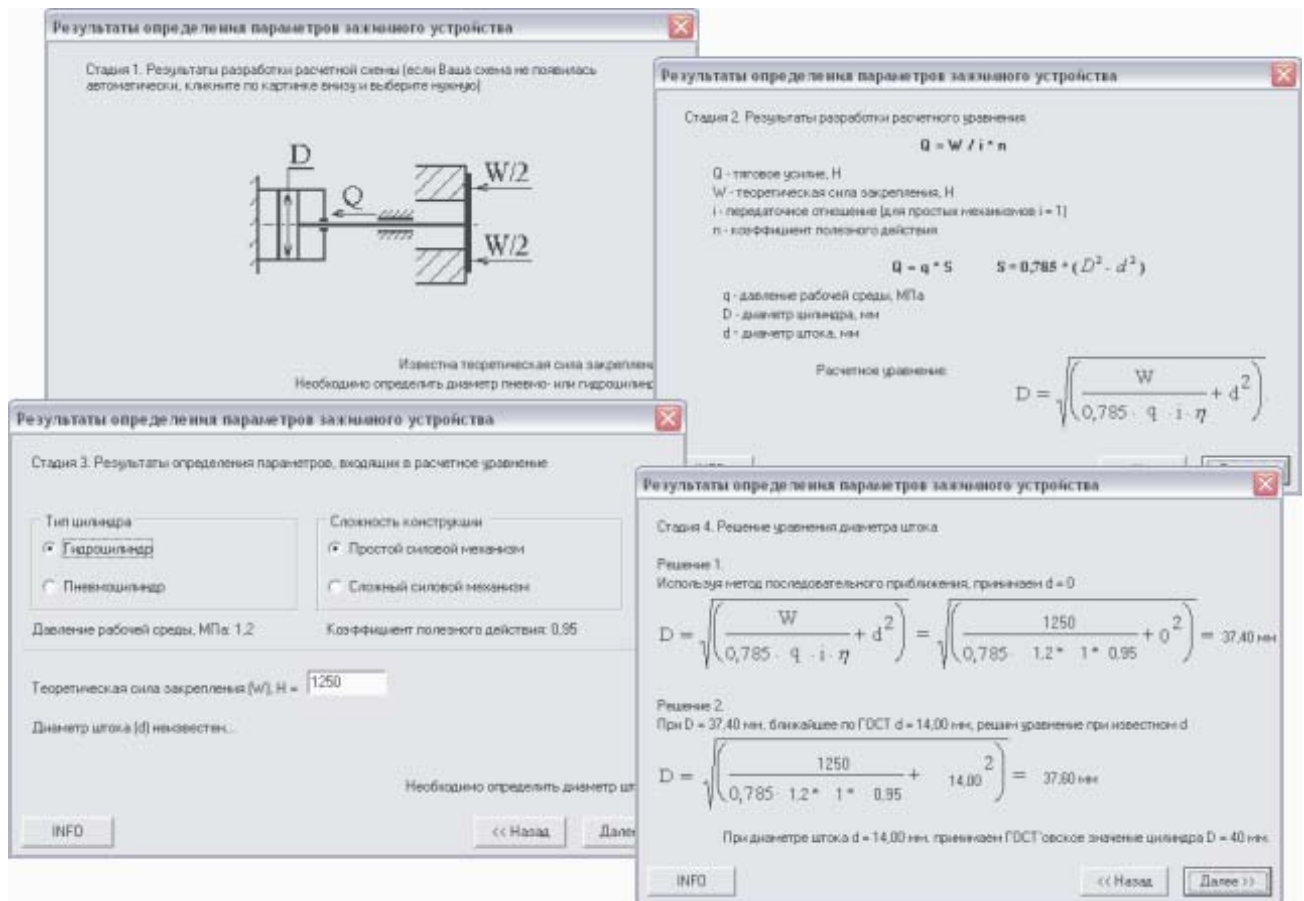


Рис. 4. Результаты разработки проектирующего мастера (интерфейс проектирующего мастера)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мясников Ю.И. Проектирование станочных приспособлений: Учебное пособие. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. — 481 с.
2. Мясников Ю.И., Хасанов А.М. Принцип визуального проектирования и его реализация в системе «Конструктор СП» // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. — С. 37-39.
3. Мясников Ю.И. Визуальное проектирование станочных приспособлений с помощью ЭВМ // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. — С. 38-41.
4. Мясников Ю.И. Визуальное проектирование технических объектов и его особенности // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. — С. 64-69.
5. Мясников Ю.И., Небреева М.Л., Пушкарев А.В. Исследование и разработка системного модуля «Библиотека типовых графических изображений» программы «Конструктор СП» // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. — С. 59-64.

УДК 621.9.02

Щуров И.А. Решение траекторных задач при обработке на фрезерных станках с ЧПУ на основе дискретного твердотельного моделирования // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 6 – 11.

Даны основные расчетные зависимости для определения точек траектории движения фрезы при обработке на станке с ЧПУ сложнопрофильных поверхностей, а также зависимости для определения рецепторов заготовки в каждый момент времени ее обработки. Приведена схема расчета отклонений получаемой поверхности детали от заданной чертежом. Дана методика решения этих задач с учетом такого технологического фактора, как износ фрезы в процессе обработки. Приведены иллюстрации работы программы ЭВМ, основанной на предложенном подходе.

Ил. 7, список лит.— 6 назв.

УДК 621.9.02

Щуров И.А., Аверьянов В.В. Расчет деформаций концевых фрез от сил резания // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 11 – 14.

Приведены расчеты методом конечных элементов деформаций от сил резания концевых фрез диаметрами 4 и 20 мм, с 2 и 4 зубьями, разными углами наклона винтовых стружечных канавок. С использованием теории планирования экспериментов на основе расчетов на ЭВМ получены степенные зависимости для расчета деформаций фрез указанных диапазонов параметров. Формулы могут быть полезными для коррекции управляющих программ ЧПУ при обработке сложных фасонных поверхностей.

Ил. 4, табл. 3, список лит.— 1 назв.

УДК 651.3.06

Болдырев И.С., Щуров И.А. Дискретная модель метчиков с учетом их износа // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 14 – 18.

Рассмотрены особенности дискретного твердотельного моделирования метчиков с учетом их износа. Износ по передней поверхности моделируется в виде кругового цилиндра, прилегающего к главной режущей кромке. Износ по задней поверхности моделируется в виде скосов по уголкам зубьев.

Ил. 3, список лит.— 2 назв.

УДК 651.3.06

Болдырев И.С. Дискретная твердотельная модель метчиков с учетом погрешностей их изготовления на основе операций отношения // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 18 – 25.



Приведена дискретная математическая модель метчиков с учетом погрешностей их изготовления на основе операций отношения.

Ил. 6, табл. 3, список лит.— 2 назв.

УДК 651.3.06

Болдырев И.С. Математическая модель метчиков с учетом погрешностей их изготовления на основе операций с множествами // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 26 – 31.

Приведена дискретная математическая модель метчиков с учетом погрешностей их изготовления на основе операций отношения.

Ил. 2, список лит.— 2 назв.

УДК 621.9.02

Щурова А.В. Расчет параметров срезаемых слоев и высоты теоретических неровностей при лезвийной обработке на основе дискретного твердотельного моделирования // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 31 – 36.

На основе выполненных расчетов установлено, что дискретное твердотельное моделирование позволяет теоретически определить высоту неровностей при лезвийной обработке.

Список лит.— 2 назв.

УДК 621.9.02

Гатитулин М.Н., Портнягин В.И. Ротационные режущие инструменты // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 36 – 42.

Ил. 5, список лит.— 4 назв.

Рассмотрены варианты применения лезвийных и абразивных ротационных инструментов в различных отраслях, а также даются рекомендации по их расширенному применению.

УДК 621.9

Гатитулин М.Н., Мазеин П.Г. Технологические возможности торцовых планетарных инструментов // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 42 – 47.

Рассмотрены особенности кинематики и технологические возможности торцовых планетарных инструментов, предложена классификация применения комбинированных ротационных инструментов.

Ил. 3, список лит.— 8 назв.

#### УДК 621.9

Корчмарь Ф.Я., Расторгуев И.Л., Сарайкин А.М. Разработка способа нанесения шлифовального зерна на сетчатую основу полировального инструмента // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 48 – 51.

Исследован и разработан способ нанесения шлифовального зерна на сетчатую основу полировального инструмента.

Табл. 1, список лит.— 2 назв.

#### УДК 621.9

Пестов С.П., Мазеин П.Г. Особенности формирования размерных цепей при обработке отверстий на станках с ЧПУ // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 52 – 55.

Рассмотрены особенности формирования размерных цепей как моделей точности расположения осей отверстий на этапе настройки станков с ЧПУ.

Ил. 4, список лит.— 2 назв.

#### УДК 621.9

Крупина Н.П., Гаврилов Ю.В. Применение решетчатых диаграмм для анализа зацепления зубчатых колес // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 56 – 59.

Принято положение о зависимости погрешностей при контроле зубчатых колес от чередования числа точек парных контактов профилей зубьев деталь-измерительное колесо. Установлено, что минимальный перепад дефектных перемещений зависит от угла зацепления.

Ил. 1, список лит.— 3 назв.

#### УДК 621.9

Сметанин С.Д., Шаламов В.Г. Взаимосвязь координат расчетных точек профиля винтовой поверхности в различных секущих плоскостях // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 59 – 67.

На основе выполненных исследований установлена прямая и обратная взаимосвязь координат точек профиля в различных секущих плоскостях, что позволяет использовать любой способ задания винтовой поверхности.

Ил. 6, список лит.— 2 назв.

#### УДК 621.9

Панов С.С., Мазеин П.Г. Минигабаритный фрезерный станок модели MF70-1Ф4 с компьютерным управлением // Прогрессивные технологические процессы в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 67 – 70.

Рассмотрены особенности конструкции минигабаритного фрезерного станка компьютерным управлением, его приводов, системы управления и программирования.

Табл. 1, список лит.— 4 назв.

УДК 621.9

П.Г. Мазеин П.Г., А.В. Шереметьев А.В. Устройства гибкого производственного модуля на базе сверлильно-фрезерного станка // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 70 – 76.

Рассмотрен состав, компоновка и конструкция устройств автоматизированной смены инструмента и заготовок малогабаритного гибкого производственного модуля, а также приводится алгоритм его работы.

Ил. 4, список лит.— 2 назв.

УДК 621.9

Шаламов А.В. Моделирование дробеструйной обработки методом конечных элементов // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск, Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 76 – 82.

Рассмотрена конечноэлементная модель распределения остаточных напряжений при гидродробеструйном упрочнении.

Ил. 4, список лит.— 10 назв.

УДК 621.9

Гузев В.И., Дерябин И.П., Миронова И.Н. Исследование точности обработки отверстий ружейными сверлами // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 82 – 87.

Рассмотрены вопросы математического моделирования процесса формообразования отверстий мерными концевыми однолезвийными инструментами типа ружейных сверл.

Ил. 7, табл. 3, список лит.— 1 назв.

УДК 621.9

Гузев В.И., Дерябин И.П. Прогнозирование параметров точности при проектировании технологических процессов // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 87 – 92.

Рассматриваются вопросы прогнозирования точности на операциях обработки отверстий концевыми мерными инструментами. Показаны недостатки существующих таблиц оценки точности. Приведены основные принципы математического моделирования точности обработки отверстий.

Ил. 2, табл. 1, список лит.— 2 назв.

УДК 621.9

Батуев В.А., Гузеев И.В. Расчет составляющих сил резания при сверлении // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 92 – 94.

Разработаны силовые зависимости, позволяющие учитывать изменяющиеся условия стружкообразования вдоль разных режущих кромок спирального сверла.

Список лит.— 1 назв.

УДК 621.9

Батуев В.В. Обеспечение производительности при чистовом фрезеровании пространственно-сложных поверхностей в условиях заданной точности // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 94 – 97.

Показано изменение сил резания и размерных погрешностей в разных направлениях движения концевой фрезы относительно ступенчатого припуска. Предложен вариант выбора стратегии обработки.

УДК 621.9

Переверзев П.П. Особенности визуального моделирования бизнес-процессов вуза в рамках внедрения системы менеджмента качества на основе процессного подхода в понимании серии стандартов ISO 9000:2000 // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 97 – 102.

Создана графическая модель деятельности вуза, необходимая для всестороннего анализа вуза с учетом всех его бизнес-процессов.

Ил. 2, список лит.— 6 назв.

УДК 621.92

Мясников Ю.И., Карпенко Г.И. Переналаживаемые приспособления-спутники в структуре современного производства // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 102 – 105.

Рассмотрены некоторые особенности применения переналаживаемых приспособлений-спутников в структуре современного производства.

Ил. 5, список лит. — 2 назв.

УДК 621.923

Исаков Д.В. Формирование рельефа рабочей поверхности шлифовального круга // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 105 – 111.

Представлена модель рельефа рабочей поверхности шлифовального круга, формирующегося при различных силовых режимах работы. Получены аналитические зависимости для расчета параметров рельефа.

Ил. 1, список лит.— 3 назв.

УДК 621.923

Исаков Д.В., Дьяконов А.А., Ардашев Д.В.. Экспериментально-расчетный метод определения средней площади контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью заготовки // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 111 – 114.

Изложена методика определения площади контакта шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью детали по показаниям приборов для измерения сил резания непосредственно в процессе шлифования и с использованием для расчета теоретической силовой модели.

Ил. 1, список лит.— 1 назв.

УДК 621.923.74

Николаенко А.А. Точность обработки при плоском глубинном шлифовании // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 114 – 119.

Рассмотрены основные принципы моделирования податливости технологической системы при плоском глубинном шлифовании периферией круга. Проанализировано влияние сил резания и податливости технологической системы на точность размеров детали, прямолинейность и параллельность поверхностей. Получены математические модели точности обработки.

Ил. 1, список лит.— 3 назв.

УДК 621.923.7

Сырейщиков А.А., Сырейщикова Н.В. Методика оценки качества абразивного инструмента по показателю рельефа рабочего слоя // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 119 – 123.

Рассмотрены основные принципы моделирования податливости технологической системы при плоском глубинном шлифовании периферией круга. Проанализировано влияние сил резания и податливости технологической системы на точность размеров детали, прямолинейность и параллельность поверхностей. Получены математические модели точности обработки.

Ил. 3, табл. 1, список лит.— 2 назв.

УДК 681.3.06+681:3.066+621:658.52.011.56+621.573

Пугач Е.В., Пугач П.Г., Шамин В.Ю. Рабочие символы кодирования для автоматизированного расчета и построения размерных схем // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. С. 124 – 132.

Рассмотрены основные символы, которые используются при кодировании исходной размерной информации, автоматизированном расчете и построении конструкторских и технологических размерных цепей при использовании загрузочного модуля «Visual KursAR».

Ил. 4.

УДК 681.3.06+681:3.066+621:658.52.011.56+621.573

Пугач Е.В., Пугач П.Г., Шамин В.Ю. Особенности автоматизированного построения конструкторских и технологических размерных схем на плоскости // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. С. 132 – 134.

Рассмотрены основные принципы работы алгоритма при автоматизированном формировании полотна размерной схемы, когда основой построения являются коды исходной размерной информации действующего или вновь проектируемого технологического процесса.

УДК 681.3.06+681:3.066+621:658.52.011.56+621.573

Гладков А.С., Шамин В.Ю. Обновление пакета прикладных программ «Электронная библиотека» // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. С. 134 – 136.

Представлен новый программный продукт, предназначенный для работы с электронными версиями учебных пособий. В программе отсутствует зависимость от технологии HTML и Java Script. Единственный блок, интегрированный из Windows — «Проводник», который поставляется со всеми версиями Windows.

УДК 681.3.06+681:3.066+621:658.52.011.56+621.573

Гладков А.С., Шамин В.Ю. Программный продукт «Призма» // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. С. 136 – 134.

Представлен программный продукт, предназначенный для параметрического расчета конструктивных элементов установочных призм и погрешностей измерения в зависимости от угла призмы и допуска на диаметр заготовки.

Ил. 1.

#### УДК 621.9

Козлов А.В., Бобылев А.В. Изготовление крутоизогнутых отводов из нержавеющей стали // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. С. 137 – 142.

Рассмотрены вопросы применения для гибки труб с раскатыванием труб из легированных марок сталей (в частности труб из стали 12Х18Н10Т). Приведен анализ проведенных экспериментов и предложены направления изменения технологических параметров гибки для обеспечения качества формы продольного и поперечного сечения изогнутой трубы. Доказано существенное влияние качества формы ложемента гибочного ролика на качествогиба и принципиальная возможность гибки труб из высоколегированных сталей при дополнительном воздействии на изгибаемую трубу раскатного инструмента.

Ил. 4, табл. 1, список лит.— 3 назв.

#### УДК 621.9

Норин П.А., Осипов А.М., Архипова Е.В. Эластичность открытой сварочной дуги // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. С. 142 – 145.

Исследованы причины разрыва сварочной дуги и установлены пороговые значения тока для сохранения эластичности сварочной дуги.

Табл. 1, список лит.— 4 назв.

#### УДК 621.9

Фадюшин С.А., Плачкова В.А. Особенности шлифования труднообрабатываемых сплавов // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. С. 145 – 148.

Исследованы причины разрыва сварочной дуги и установлены пороговые значения тока для сохранения эластичности сварочной дуги.

Табл. 2.

#### УДК 621.9

Кошин А.А., Пашнев В.А. Анализ напряженного состояния трехслойных металл-композитных систем при шлифовании // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 149 – 157.

Разработана математическая модель для анализа напряженного состояния трехслойных металл-композитных систем при шлифовании. Установлено, что решение задач анализа напряженного состояния можно решать методом конечных элементов с применением прикладной программы ANSYS.

Ил. 6, табл. 2, список лит.— 4 назв.

#### УДК 621.9

Афанасьев А. М., Кошин А. А. Унификация основных единиц проектирования для подсистемы нормирования // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 157 – 161.

Разработана унификация основных единиц нормирования для подсистемы нормирования технологических процессов с помощью ЭВМ.

Ил. 5, список лит.— 1 назв.

#### УДК 621.9

Афанасьев А. М., Кошин А. А. Использование принципа командных строк для подсистемы автоматизированного нормирования // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 161 – 168.

Разработана унификация основных единиц нормирования для подсистемы нормирования технологических процессов с помощью ЭВМ.

Ил. 5, список лит.— 3 назв.

#### УДК 621.9

Кошин А.А., Сазонова Н.С. Организация нормативной базы общемашиностроительной компьютерной системы нормирования технологических процессов // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 168 – 173.

Создана нормативная база общемашиностроительной системы нормирования технологических процессов абразивной обработки с помощью ЭВМ.

Ил. 2, табл. 1, список лит. – 7 назв.

#### УДК 621.92

А.А. Кошин, Н.С. Сазонова. Организация вспомогательной базы Общемашиностроительной компьютерной системы нормирования технологических процессов // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 173 – 177.

Обосновывается организация вспомогательной справочной базы в компьютерной системе нормирования общемашиностроительного назначения с использованием аппарата реляционных таблиц. Описан разработанный специальный программный модуль работы с реляционными таблицами, поддерживающий форматы современных промышленных СУБД.

Ил. 3, список лит. – 4 назв.



УДК 621.9

Кошин А.А., Сазонова Н.С. Графический интерфейс общемашиностроительной компьютерной системы нормирования технологических процессов // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 177 – 182.

Разработан графический интерфейс компьютерной системы нормирования технологических процессов.

Ил. 4, список лит. – 6 назв.

УДК:621.9

Кошин А.А., Самохин М.А. Расчетная коррекция режимов резания в зависимости от твердости обрабатываемого материала // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 183 – 187.

Разработаны поправочные коэффициенты на режимы резания в зависимости от твердости обрабатываемого материала с учетом требований ремонтного производства.

Табл. 2, список лит. — 2 назв.

УДК:621.9

Кошин А.А., Самохин М.А. Влияние дефектного слоя на токарную обработку деталей в ремонтных технологических процессах // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 187 – 190.

Рассмотрен характер изменения твердости металла в процессе износа и повреждения поверхности детали. Разработан метод определения приведенной твердости обрабатываемого металла в зависимости от вида повреждения и глубины резания.

Ил. 2, табл. 2, список лит. — 1 назв.

УДК 621.9

Кошин А.А., Дьяконов А.А. Функциональная зависимость износа абразивных кругов разной характеристики от времени и режимов обработки // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 190 – 196.

Экспериментально получены функциональные зависимости износа абразивных кругов разной характеристики от времени и режимов обработки.

Ил. 9, табл. 1, список лит. — 2 назв.

#### УДК 621.9

Геренштейн А.В., Кошин А.А., Дьяконов А.А. Полиэкспоненциальная регрессия в моделях износа абразивного инструмента // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 196 – 199.

Получены модели износа абразивного инструмента на основе полиэкспоненциальной регрессии.

Ил. 2

#### УДК 621.9

Кошин А.А., Ардашев Д.В., Дьяконов А.А. Пульсирующий характер сил резания при шлифовании // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 199 – 205.

Пульсирующий характер сил резания при шлифовании

Ил. 5, список лит. — 9 назв.

#### УДК 621.92

Мясников Ю.И., Пушкарев А.В. Проектирующие мастера как способ визуального проектирования СП // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 206 – 211.

Рассмотрены особенности проектирующих мастеров, используемых в системе визуального проектирования «Контур», как средств инструментального обеспечения системы.

Ил. 5, список лит. — 3 назв.

#### УДК 621.92

Пушкарев А.В., Мясников Ю.И. Алгоритмизация расчета диаметра цилиндра при компьютерном проектировании станочных приспособлений // Прогрессивные технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — С. 211 – 214.

Рассмотрены особенности разработки проектирующих мастеров, используемых в системе визуального проектирования «Контур», на примере мастера расчета параметров зажимного устройства станочного приспособления.

Ил. 5, список лит. — 3 назв.

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ

Тематический сборник научных трудов

Технический редактор: А.В. Миних

Издательство Южно-Уральского государственного  
университета

---

Подписано в печать 11.10.2005. Формат  
60\*84 1/16. Компьютерная версия. Усл. печ. л. 13,25. Усл.-изд. л. 15,93.

---

Отпечатано: