

МС
110.623/2

ИНТЕРТЕХНО '90

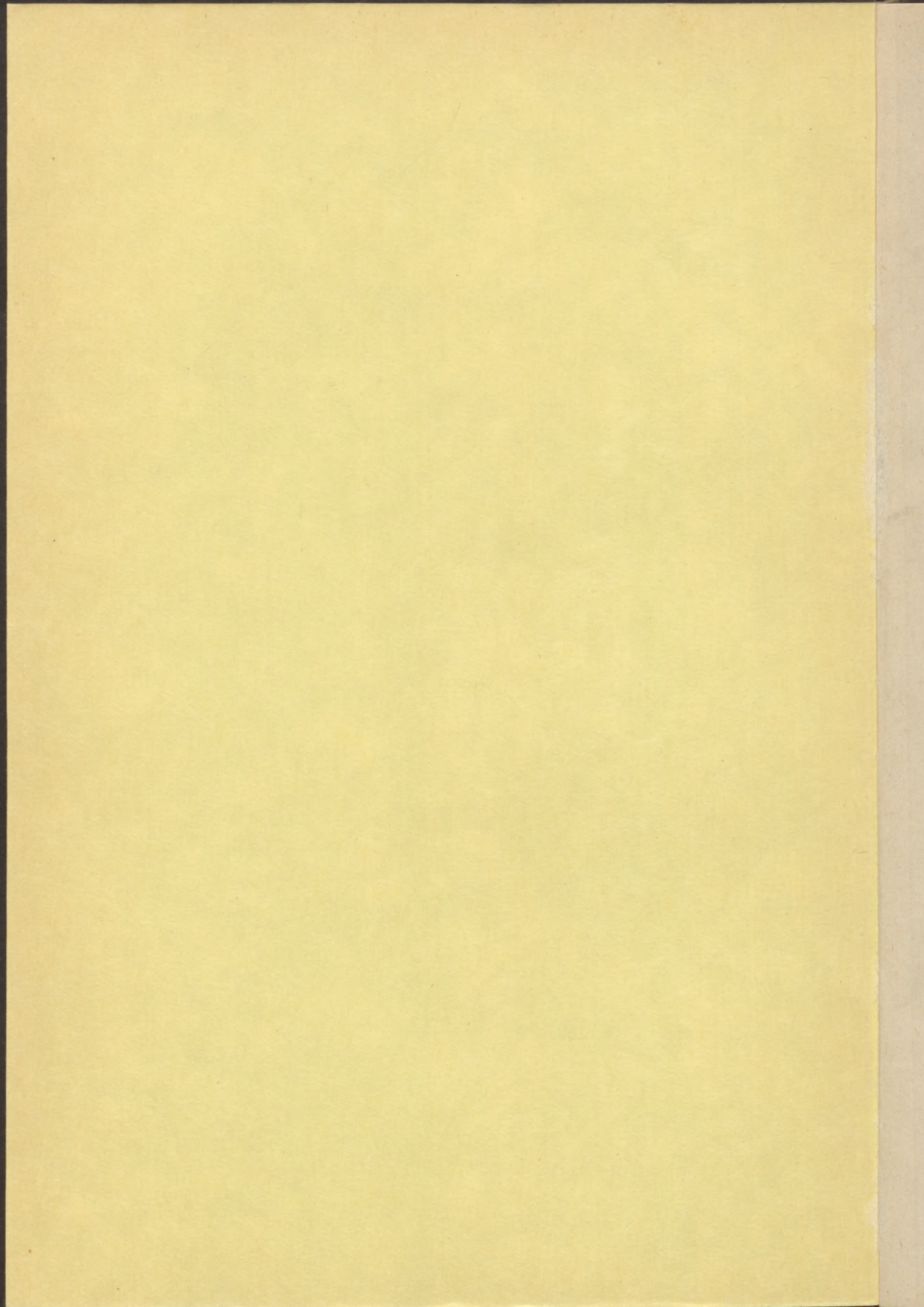
Будапешт, 11-14 сентября 1990 г.



II.-ТОМ



НАУЧНОЕ ОБЩЕСТВО ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ



НАУЧНОЕ ОБЩЕСТВО ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ
ВЕНГРИЯ

ИНТЕРТЕХНО'90

Интернациональная конференция
о заводе будущего

КИП - Компьютеризованное
Интегрированное
Производство

Будапешт

II-14 сентября 1990 г.

Редактор:
Др. Грибовски Ласло

КС 110.623/2



1990

Издатель:
НАУЧНОЕ ОБЩЕСТВО ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ
Будапешт

ISBN 963 8094 23 0 6.

ISBN 963.8094.32.X

II.

ПРЕДИСЛОВИЕ

ИНТЕРТЕСХНО' 90

II-14 сентября 1990 г.

ВЕНГРИЯ, Будапешт

Международная организация по сотрудничеству - ИНТЕРТЕХНО - является профессиональным форумом начинающих обществ по машиностроению стран-членов СЭВ.

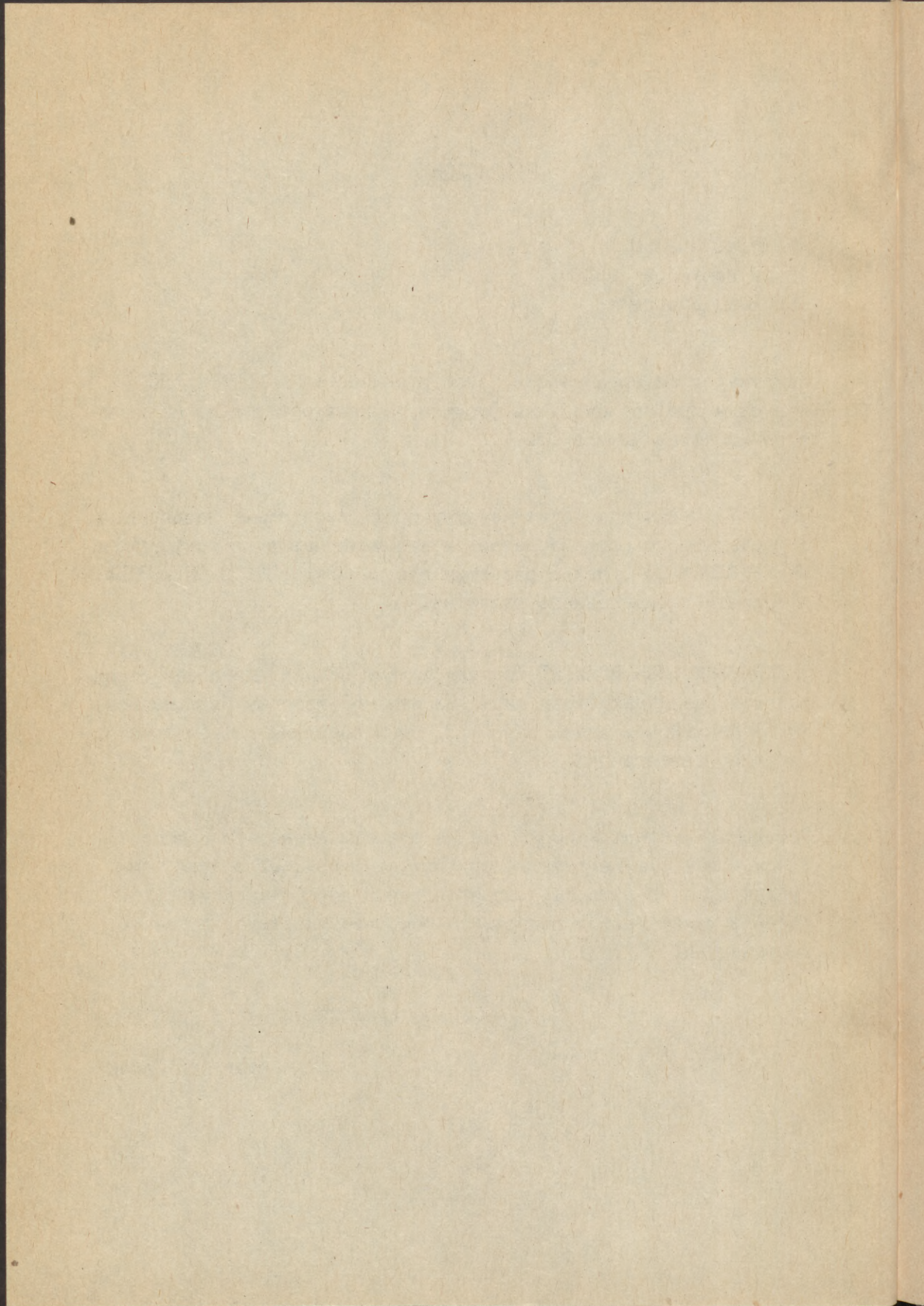
ИНТЕРТЕХНО ежегодно организует профессиональные мероприятия. В рамках этого организовалась и эта международная конференция - ИНТЕРТЕХНО' 90 с целью развития связей между Востоком и Западом в области промышленного развития.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ получил больше чем 150 докладов специалистов различных стран мира. Из этих 63, которые были написаны на английском языке - были помещены в I-ом томе материалов конференции.

Остальные доклады - посланные на русском языке - издаются в II-ом - и в III-ем томе материалов конференции. В этом томе публикуются те доклады, авторы которых до срока сдачи рукописей в издательство сообщили о том, что участвуют в работе конференции.

От имени ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

Др. Грибовски Ласло



СОДЕРЖАНИЕ

Аболяев, А.Ф. (SU)	581
Организация информационного обеспечения в САПР машиностроительного назначения	
Антышев, А.А., Волков, Н.В., Королев, Е.В., Майоршин, А.П. (SU)	586
Инструментальные средства моделирования динамики объектов управления в АСУ	
Авакян, В.А., Бабаян, К.С., Мецоян, Г.Р. (SU)	590
Система вибродиагностирования модели 33-243	
Бердиков, В.Ф., Пушкарев, О.И., Рукин, В.М. (SU)	598
Нанесение корундовых покрытий на алюминиевую подложку методом микродугового оксидирования	
Дубровский, Ю.С., Цветков, И. (SU)	604
Применение смазочно-охлаждающих жидкостей в гибких производственных системах	
Грабченко, А.И., Пыжов, И.Н., Култышев, С.А. (SU)	612
Автоматическая стабилизация режущего рельефа алмазного круга при шлифовании труднообрабатываемых материалов	

- Хомяков, В.Н. (SU) 625
Система искусственного интеллекта выбора
основных характеристик процесса плазменного
напыления для повышения эксплуатационных
свойств деталей
- Ищенко, А.А., Корчагин, В.А., Пашук, В.А. (SU) 632
Автоматизированная правка дисков пил для
резки металла
- Карюк, Г.Г., Бочко, А.В. (SU) 635
Лезвийный и абразивный инструмент на
основе вюрцитного нитрида бора
- Ким, В.А., Тимофеев, С.М. (SU) 642
К надежности работы режущего инструмента для ГПС
- Королев, А.В., Болкунов, В.В., Потапов, В.В. (SU) 648
Об основных принципах построения технологических
процессов механообработки для ГПС
- Королев, А.В., Давиденко, О.Ю., Чистяков, А.М. (SU) 653
Технологические особенности эффективного
применения брусковой абразивной обработки в
интегрированных производственных системах

- Лукашевич, В.П., Купреев, Н.П. (SU) 659
Параметризация и классификация в САПР насосного
оборудования
- Мукосей, В.И. (SU) 666
Развитие инструментальных средств разработки
и эксплуатации САПР
- Новиков, Н.В., Селех, В.Ф., Скляр, Э.Д., 676
Федотовский, А.В., Шепелев, А.А. (SU)
Технология автоматизированной конструкторско-
технологической подготовки производства абра-
зивных инструментов из сверхтвердых материалов
- Новиков, Н.В., Девин, Л.Н., Гриценко, Э.И. (SU) 681
Лезвийные инструменты из сверхтвердых материалов
в гибких автоматизированных производствах
- Новиков, В.К., Попов, С.А. (SU) 689
Организация хранения графической информации
в подсистемах САПР
- Некрасов, Е.Н. (SU) 693
Структурная оптимизация технологических
процессов на основе синтеза компоновок
станочных систем

- Нестеров, А.В. (SU) 701
Коммуникации в библиотеке
- Осипов В.А., Назаренко В.И. (SU) 710
Оперативная технология при гибкой
автоматизации производства деталей
- Павлов, В.В. (SU) 714
О математическом обеспечении САПР в
интегрированных автоматизированных производствах
- Погодин, В.М. (SU) 719
Экспериментальные исследования компонентов
роботизированного комплекса для строительства
зданий из кирпича
- Смелянский, Р.М. (SU) 725
Технология, уникальные средства испытаний
и контроля качества изделий без разрушения
- Соломенцев, Ю.М., Кутин А.А. (SU) 733
Проблемы информатики при автоматизированном
проектировании и изготовлении

- Сосонкин, В.Л. (SU) 739
Промышленные персональные компьютеры
в системах управления объектами интегриро-
ванного автоматизированного производства
- Стародетко, Е.А., Усов, Б.А. (SU) 745
Автоматизация ранних стадий проектирования
машин
- Сушинский, А.Б., Слесарев, М.Ю. (SU) 755
Рационализация структуры гибких интегриро-
ванных производств
- Усов, Б.А., Шишаков, М.Л. (SU) 763
Автоматизация схемного проектирования
механизмов
- Верезуб, Н.В., Гончаренко, И.А. (SU) 773
Прогнозирование оптимальных режимов
обработки изделий из композитов методом
имитационного моделирования процесса
резания
- Залого, В.А., Лоза, А.Б., Сотник, Н.И. (SU) 782
Резущие элементы из киборита для обработки
чугунных деталей в условиях черного нестацио-
нарного резания

Залого, В.А., Парфененко, С.Г., Слетков, В.А. (su) 786
Прогрессивный технологический процесс обработки
внутренних каналов лопастных колес

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
В САПР МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аболяев А.Ф., ИМАШ АН СССР

Одной из основных проблем автоматизации процесса проектирования машиностроительных изделий является организация информационного взаимодействия между пользователями, участвующими в разработке конструкции, а также организация информационного интерфейса между отдельными подсистемами САПР.

Указанные проблемы возникают как в сложной иерархической структуре, содержащей многоуровневый вычислительный комплекс, так и в системах, имеющих автономные или объединенные в локальные сети персональные компьютеры.

Основными требованиями к вводимой информации в САПР является однократность ввода;

к хранимой информации - исключение непредусмотренного дублирования, обеспечение коллективного доступа, возможность внесения изменений и дополнений с учетом приоритетов пользователей;

к выводимой, в качестве результатов, информации - наглядность представления.

Этим требованиям отвечает предлагаемая концепция РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ЛОКАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ САПР, разработанная в Институте машиноведения АН СССР (Рис.1).

Важнейшими элементами системы являются:

- информационно-поисковая система "Аналог" (ИПС "Аналог"),

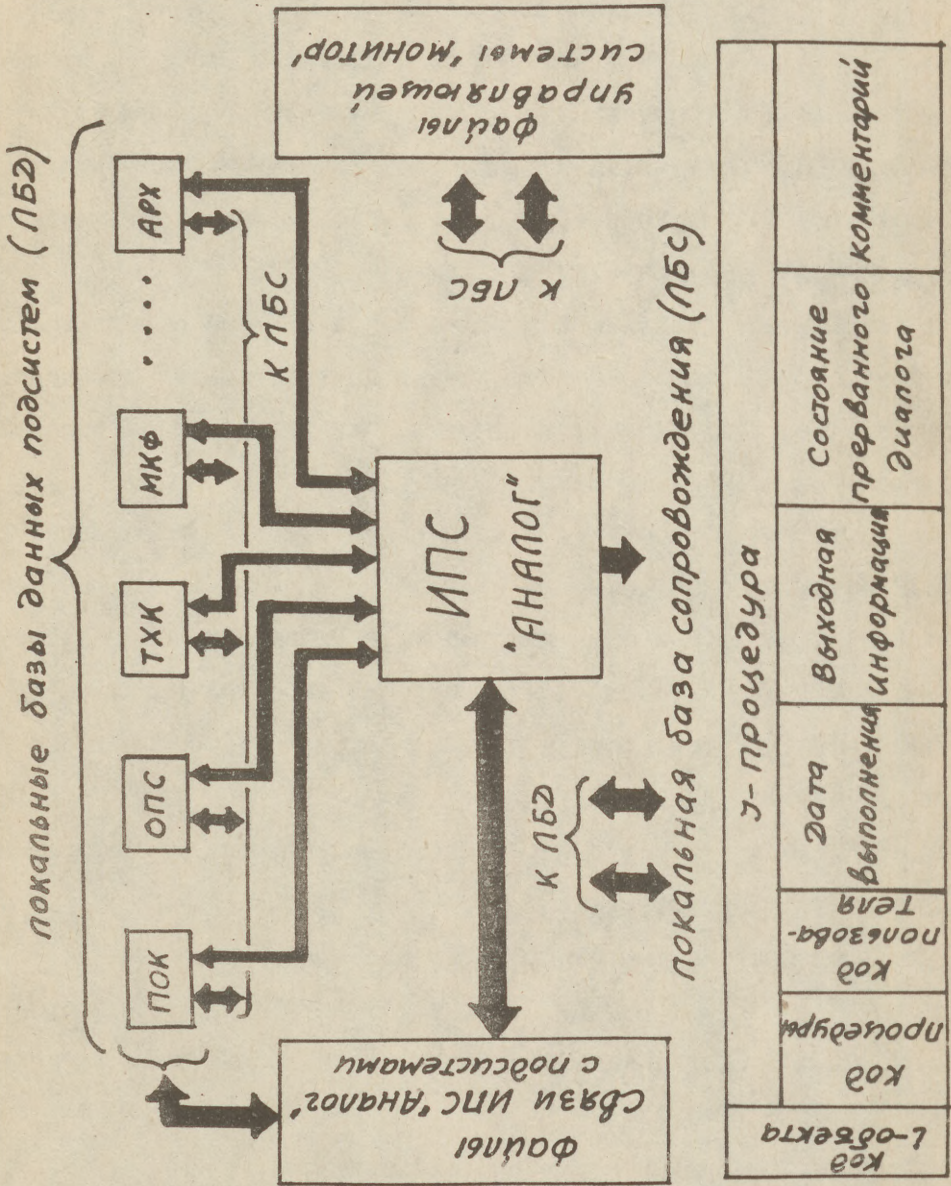


Рис. 1

основной функцией которой является организация поиска информации по запросу конечного пользователя;

- локальные базы данных (ЛБД), соответствующие конкретным проектным процедурам, содержащие дополнительную информацию по аналогу (описания, технические характеристики, графические модели, ведомости покушных изделий, спецификации и т.д.);

- локальная база сопровождения разрабатываемого объекта (ЛБС), содержащая выходную информацию каждой выполненной проектной процедуры;

- оперативная база данных, содержащая файлы связи ИПС "Аналог" с ЛБД;

- база данных управляющей системы "Монитор", содержащая информацию о пользователях, технических средствах, а также результаты работы одной из программ "Монитора" - "Планировщика" - графики загрузки ЭВМ, составленные с учетом приоритетов работ, проектных процедур и приоритетов пользователей.

Технология автоматизированного проектирования, предусматривающая функционирование ИПС "Аналог", основана, в первую очередь, на принципе "конструктивной преемственности" обеспечивающем максимальное использование предшествующего опыта при поиске технических решений, введение в разрабатываемое изделие всего полезного, что имеется в существующих конструкциях [1]. ИПС "Аналог" обеспечивает в интерактивном режиме выбор подмножества аналогов, соответствующих заданному поисковому образу (дескрипторный запрос), дальнейшее сужение области поиска за счет ввода параметров и их границ из технических характеристик изделий (фактографический запрос) и чтение дополнительной информации по аналогу из ЛБД с помощью механизма "адресов связи".

Для этой цели достаточно указать шифр подключаемой базы данных (ПОК, ОПС, ТХК, МКФ, . . . , АРХ) и номер записи, чтобы прочитать соответствующую аналогу ведомость покупных изделий, описание, техническую характеристику, адрес хранения микрофлэш или архивной информации.

Таким образом, по хранящемуся в системе в виде аналога объекту может быть прочитана исчерпывающая информация, начиная с краткого описания (186 символов) и кончая дополнительной информацией из 20 подключаемых ЛБД. Эта информация может быть не только визуализирована на экране алфавитно-цифрового или графического дисплея, но и распечатана, скопирована, передана в ЛБС разрабатываемого объекта в качестве выходной информации процедуры "Поиск аналога".

Перенос результатов выполнения процедур в ЛБС, мы обеспечиваем информационное сопровождение проектируемого объекта, начиная с его идентификации и подбора аналогов и кончая выпуском проектной документации и записью на магнитный носитель управляющих программ для станков с ЧПУ.

По каждой проектной процедуре в ЛБС хранится информация:

- код процедуры;
- код пользователя, выполнившего процедуру;
- дата выполнения процедуры;
- результаты выполнения процедуры (выходная информация);
- комментарий по продолжению работы и использованию результатов.

Если процедура еще не закончена, в ЛБС помещаются промежуточные результаты и запоминается состояние прерванного диалога.

Локальная база данных "Монитор" и ЛБС являются оперативными базами, что позволяет пользователю в любой момент времени получить доступ к выходной информации любой процедуры, выполненной другими разработчиками, и скорректировать ее, если его приоритет выше.

Распределенная система локальных баз данных реализована на СМ ЭВМ в операционной среде *RSX-II M*. Для функционирования системы достаточно 128 К-слов оперативной памяти. Локальные базы данных могут располагаться на любом количестве магнитных дисков, при этом инструментальные средства обеспечивают соответствующую настройку системы.

Список литературы.

И.Таленс Я.Ф. Работа конструктора. -Машиностроение. -Ленинград, 1987. -с.64.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ В АСУ

Антышев А.А., Московский станкоинструментальный институт, СССР
Волков Н.В., Московский станкоинструментальный институт, СССР
Королев Е.В., Московский станкоинструментальный институт, СССР
Майоршин А.П., Московский станкоинструментальный институт, СССР

Большое количество контролируемых и управляемых параметров, необходимость оперативного вмешательства в процесс управления при возникающих аварийных ситуациях предопределили создание и широкое распространение автоматизированных систем управления (АСУ), которые используются для сбора, обработки и представления информации о задачах и результатах управления и для сравнительного анализа различных вариантов решений. В составе АСУ обычно выделяют АСОИ - автоматизированную систему обработки информации. Одной из задач АСОИ является оперативное построение математической модели объекта управления (ОУ) по экспериментальным данным и анализ его динамики по свойствам построенной модели.

Традиционным средством для построения таких моделей является аппарат дифференциальных уравнений. Этот аппарат эффективно используется в условиях, когда структура объекта управления известна, модель адекватно (в определенном смысле) описывает поведение объекта, и время на построение и реализацию модели сравнительно малы.

Альтернативный инструмент для моделирования ОУ, лишенный ряда недостатков аппарата дифференциальных уравнений, представляют собой функциональные ряды Вольтерра - Винера [1]. Они не требуют информации о структуре управляемого объекта; структура математической модели задается структурой функционального ряда. Простые соотношения, связывающие входные и выходные процессы, позволяют легко настраивать параметры математической модели оптимальным в смысле среднеквадратического критерия качества образом (по отношению к выходным координатам модели и объекта) и требуют сравнительно малых временных и емкостных ресурсов ЭВМ.

Разработка инструментальных средств моделирования динамики ОУ в АСУ была сосредоточена на решении следующих проблем: формирования эффективных тест-воздействий для проведения высокоточной процедуры идентификации; построения эффективных алгоритмов расчета динамических характеристик в виде ядер функционалов и математических моделей в форме отрезков функционального ряда; удобной интерпретации результатов моделирования в привычной для исследователя форме.

Инструментальные средства моделирования оформлены в виде пакета прикладных программ (ППП), реализующего винеровский метод идентификации и моделирования нелинейных ОУ. В распоряжение исследователя предлагаются средства для проведения процедур идентификации и моделирования ОУ во временной и частотной областях с использованием функциональных рядов Вольтерра - Винера при детерминированных и стохастических воздействиях. Программные модули обеспечивают оценку адекватности модели и объекта по критерию метода и по функциям распределения, выполняют аппроксимацию динамических характеристик типовыми функциональными зависимостями, оценивают влияние параметров на динамику. Интерпретация результатов приводится в виде многомерных весовых функций во временной области и виде эквивалентных амплитудно-фазовых частотных характеристик в частотной области [2].

Разработанные инструментальные средства реализованы на языке С для операционной системы PC-DOS версии 3.x. Для удобства исследователя разработан пользовательский интерфейс типа "меню", который обеспечивает простоту управления ППП без профессионального знания программирования. На рис.1 приведен пример меню, управляющего ППП.

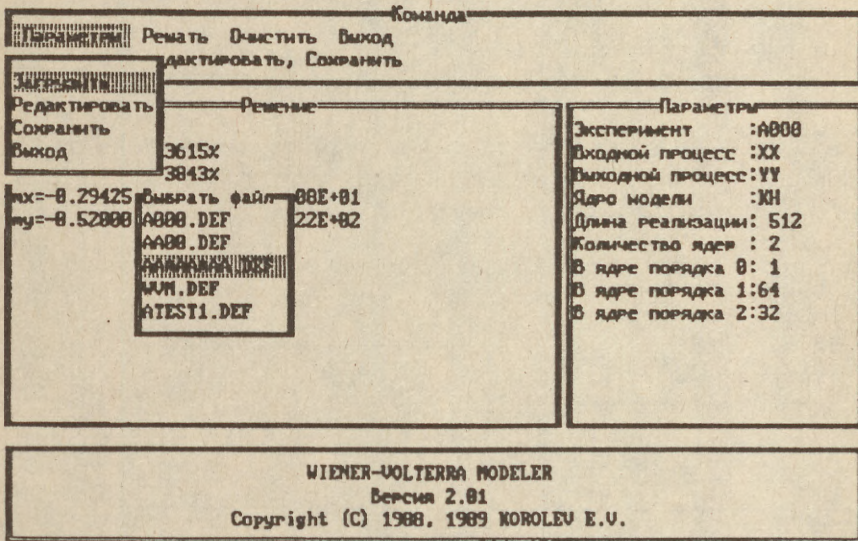


Рис.1. Управляющее меню

ППП снабжен средствами документирования информации. Фиксируются: номер, дата и время проводимого эксперимента, исходные данные для проведения процедур идентификации или моделирования, статистические характеристики вход-выходных реализаций, результаты расчетов динамических характеристик и погрешности моделирования. Пример типового протокола приведен на рис.2.

*** Program YNUS *** revision 02.12

June 7, 1988
time 11:42:55

*** time = 0 0 6 ***

Number of experiment MA08

Number of model 1
Length of array 512
Length of kernel 1 64

MX= -.134111E-06 DX= .999999
MY= -.238979E-02 DY= .724609

Spectr= 1.00140

Kernel zero
-.238966E-02

Kernel one

.271225E-01	.204917	.348744	.379440	.304657
.160621	-.641923E-02	-.146640	-.227473	-.236970
-.182804	-.883792E-01	.163050E-01	.103449	.150530
.149895	.110381	.450641E-01	-.223900E-01	-.757000E-01
-.100869	-.976119E-01	-.709086E-01	-.288626E-01	.164307E-01
.481059E-01	.597378E-01	.550029E-01	.352078E-01	.756647E-02
-.183529E-01	-.364248E-01	-.412351E-01	-.346093E-01	-.186489E-01
.104498E-02	.174135E-01	.280827E-01	.300365E-01	.241116E-01
.153757E-01	.457395E-02	-.411480E-02	-.110416E-01	-.154880E-01
-.143859E-01	-.800430E-02	-.695736E-03	.680975E-02	.928455E-02
.972074E-02	.734922E-02	.240050E-02	.785087E-03	.184350E-02
.141046E-02	.219617E-02	.227798E-02	.222160E-02	-.188903E-03
-.102197E-02	-.336950E-02	-.299340E-02	-.312548E-02	

Error of models (dispersion)

2.0142 X

Point error of models

24.2456 X

Рис.2. Типовой протокол работы ППП

При наличии графического интерфейса возможно графическое представление документируемой информации. На рис.3 представлен пример расчета динамических характеристик во временной и частотной областях для двухмассового ОУ.

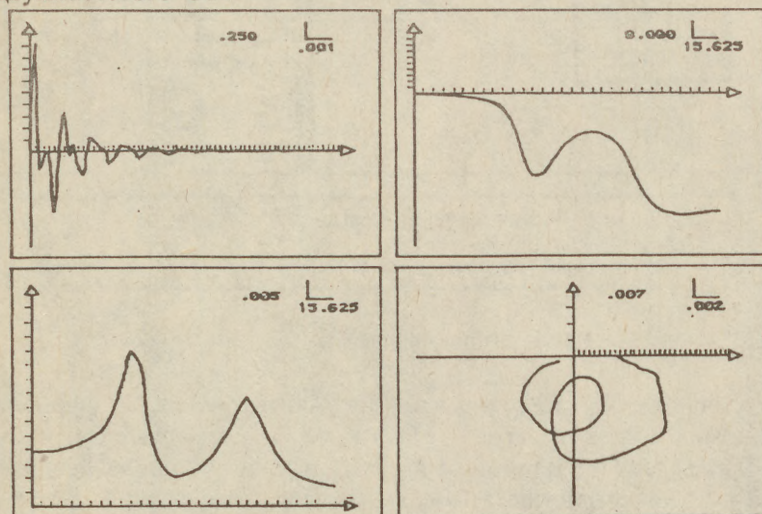


Рис.3. Пример расчета динамических характеристик

Для нелинейных ОУ производится расчет многомерных весовых функций - ядер функционалов Винера или Вольterra. Предусмотрена возможность оценки влияния параметров ОУ на его динамические характеристики с использованием стандартных средств ППП. Примеры расчетов динамических характеристик нелинейных ОУ изображены на рис.4.

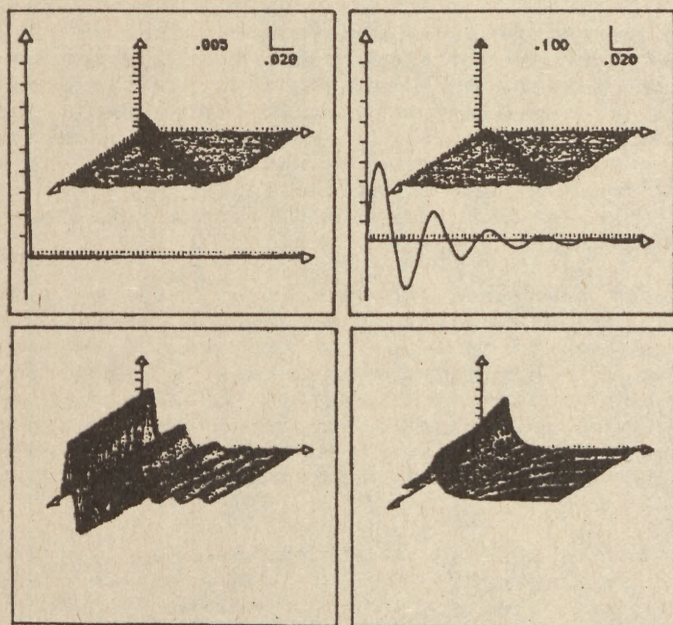


Рис.4. Пример расчета характеристик нелинейных ОУ

Эксплуатация ППП показала его эффективность в исследованиях нелинейных объектов управления, простоту и удобство использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пупков К.А., Капалин В.И., Юценко А.С. Функциональные ряды в теории нелинейных систем. М.:Наука, 1976.- 448 с.
2. Антышев А.А., Волков Н.В., Майоршин А.П. Моделирование нелинейных систем на основе функциональных разложений Винера. Материалы международной конференции "COMPCONTROL '89". Братислава, 1989.- с.54.

СИСТЕМА ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЯ МОДЕЛИ ЭЗ-243

Авакян В. А. НПО "АРМСТАНОК", г. Ереван, СССР
Бабаян К. С. НПО "АРМСТАНОК", г. Ереван, СССР
Мецоян Г. Р. НПО "АРМСТАНОК", г. Ереван, СССР

ВВЕДЕНИЕ

Вибродиагностика как высокоэффективный метод исследования и оценки технического состояния механических систем сформировалась на стыке динамики машин, акустики и цифровой обработки данных, и получила практическую реализацию в ряде современных цифровых анализаторов и систем анализа. Советский Союз хотя значительно отстает по части производства средств технической диагностики механических систем, но в области методологии накопил определенный потенциал, который нуждается в аппаратной реализации.

Следует заметить, что существует значительное различие в деятельности западных фирм, как например Брюль и Кьер, Метра-виб, Спектрал Дайнемикс, и др., и Советских организаций, например, НПО "Спектр". Последняя практически не занимается методологией вибродиагностики, а аппаратуру (анализаторы, виброизмерители, датчики и др.) создает на основе опыта западных фирм, используя при этом свою элементную базу. Пробел в методологии восполняют исследовательские лаборатории отраслевых НИИ и Академии наук.

Такая специализация имеет как свои плюсы, так и минусы. Главным из последних является то, что аппаратные средства не обеспечивают реализации всего разнообразия методических приемов, что сводит на нет достижения методологии.

Предлагаемая в данной работе система вибродиагностирования модели ЭЗ-243 разработана и изготовлена в отраслевом НИИ НПО "АРМСТАНОК" и реализует методологию вибродиагностирования машин, основанную на классификации вибрационных полей путем разложения ортогональных в пространстве сигналов вибрации на гармонические составляющие и представление их траекторий в виде эллипсов вибрации.

ЭЛЛИПСЫ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Роторные машины сегодня весьма распространены и нуждаются в специфических методах более дифференцированного вибродиагностирования, отличных от тех, которые можно реализовать на известных фирменных анализаторах или системах. В работах [1-3] был предложен и апробирован метод анализа колебаний роторных систем, основанный на понятии эллипса вибрации.

Рассмотрим кратко основные положения этого метода. Пусть $x(t)$ и $y(t)$ - сигналы вибрации измеренные по ортогональным направлениям в плоскости, перпендикулярной оси вращения ротора машины: электродвигателя, генератора, электрошпинде-

ля, авиационного газотурбинного двигателя и т.п. Причем в зависимости от конструкции машины вибродатчики могут быть установлены на подшипниковых опорах или других доступных местах на корпусе.

Если эти сигналы являются стационарными, что можно проверить с помощью тестов, то их преобразования Фурье $X(f)$ и $Y(f)$ для реальных машин всегда ограничены по частоте некоторым значением f .

В цифровой обработке сигналов принято пользоваться свойством преобразования Фурье, позволяющим оперировать комплексным представлением временного процесса. В частности для роторной системы отмеченная выше пара сигналов может быть представлена в виде одного комплексного сигнала $z(t) = x(t) + jy(t)$.

При этом дискретное преобразование Фурье принимает следующий вид:

$$Z(m) = N^{-1} \sum_{n=0}^{N-1} z(n) \exp[-j2\pi(mn/N)], \quad m=0, 1, \dots, N-1. \quad \dots 1 .$$

где $t = nh$, h -шаг дискретизации, $f = m/Nh$.

Дискретный спектр $Z(m)$ комплексного сигнала $z(n)$ является двусторонним с положительными и соответствующими им отрицательными частотами. В комплексной плоскости каждую гармоническую составляющую можно представить в виде векторной суммы двух вращающихся в противоположных направлениях векторов $Z(m)$ и $Z(-m) = Z(N-m)$. Годограф результирующего вектора представляет эллипс вибрации, большая полуось которого, равная

$$B(m) = \text{mod}\{Z(m)\} + \text{mod}\{Z(N-m)\}, \quad m=1, 2, \dots, N/2 \quad \dots 2 .$$

направлена под углом

$$\Phi(m) = [\text{arg}\{Z(m)\} + \text{arg}\{Z(N-m)\}] / 2 \quad \dots 3 .$$

к оси x , а перпендикулярная ей малая полуось равна

$$M(m) = \text{mod}[\text{mod}\{Z(m)\} - \text{mod}\{Z(N-m)\}] \quad \dots 4 .$$

Отметим, что параметры эллипса на данной частоте определяются параметрами и характером дефекта и несут почти полную информацию о нем.

ЭЛЛИПСЫ СЛУЧАЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ

При оценке параметров эллипсов вибрации, формулы /2/-/4/ справедливы для случая чисто детерминированных процессов. С целью распространения этих понятий на стационарные случайные процессы и их смеси в работе [4] был предложен эвристический способ усреднения, который использовался в [5]. Суть этого способа заключается в том, что оценки $B(m)$, $M(m)$ и $\Phi(m)$, полученные

для стационарных процессов, сглаживаются по ансамблю отрезков реализации. В настоящей системе реализована методика сглаживания, основанная на строгих методах взаимного спектрального анализа.

Коэффициенты Фурье $Z(m)$ комплексного процесса содержат полную информацию о спектрах составляющих процессов x и y [6].

$$X(m) = [Z(m) + Z^*(N-m)]/2, \quad Y(m) = [Z(m) - Z^*(N-m)]/2j,$$

где $*$ -означает комплексно-сопряженную величину. Если в формуле БПФ /1/ использовать временное выделяющее окно $w(n)$, то для спектров сигналов по осям $X(m)$ и $Y(m)$ можно записать выражения периодограмм $G_{xx}(m)$ и $G_{yy}(m)$ в виде:

$$G_{xx}(m) = 2RwTw \text{mod}^2\{X(m)\}, \quad G_{yy}(m) = 2RwTw \text{mod}^2\{Y(m)\}, \quad \dots 5$$

где Rw -коэффициент, компенсирующий некогерентные потери, вызванные обработкой временным окном [7], $Tw=Nh$ -ширина временного окна. Периодограмма взаимной спектральной плотности мощности рассчитывается по формуле

$$G_{xy}(m) = 2RwTw X^*(m) Y(m). \quad \dots 6$$

Сглаживая согласно [6] оценки /5/ и /6/ по ансамблю реализаций, можно оценить модули прямых и обратных векторов $z(+m) = \text{mod}\{Z(m)\}$ и $z(-m) = \text{mod}\{Z(N-m)\}$ по общей формуле

$$z(\pm m) = 1.41 \{ [V_x(m)]^2 + [V_y(m)]^2 \pm 2V_x(m)V_y(m)\cos A(m) \}^{1/2}, \quad \dots 7$$

где $V_x(m) = [G_{xx}(m)/(KwTw)]^{1/2}$, $V_y(m) = [G_{yy}(m)/(KwTw)]^{1/2}$, $A(m) = \arg\{G_{xy}(m)\}$.

Сглаженные оценки полуосей эллипсов вибрации рассчитываются по формулам /2/ и /4/ с учетом /7/. Сглаженная оценка угла направления большой оси эллипса рассчитывается по формуле

$$\Phi(m) = [\text{Arctg}\{V_y(m)\cos A(m) / [V_x(m) - V_y(m)\sin A(m)]\} + \\ + \text{Arctg}\{V_y(m)\cos A(m) / [V_x(m) + V_y(m)\sin A(m)]\}].$$

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИБРАЦИОННОГО ПОЛЯ

Рассмотренные оценки параметров эллипсов вибрации позволяют характеризовать вибрационные поля роторных систем. При классификации вибрационных полей используется отношение полуосей эллипсов $S(m) = M(m)/B(m)$ и оценка функции когерентности, которая рассчитывается по формуле [6]

$$\Gamma^2(m) = \text{mod}^2\{G_{xy}(m)\} / [G_{xx}(m)G_{yy}(m)],$$

В зависимости от значений параметров S и Γ^2 согласно предлагаемой классификации установлены четыре разновидности вибрационных полей: круговое (при $S > 0.75$, $\Gamma^2 > 0.7$); эллиптическое (при $0.25 < S < 0.75$, $\Gamma^2 > 0.7$); когерентное (при $S < 0.25$,

независимо от Γ^2); некоррелированное (при $S > 0.25$, $\Gamma^2 < 0.7$).

РАСПОЗНАВАНИЕ ДЕФЕКТОВ

Теория и практика вибродиагностики пошла по пути методов распознавания дефектов, основанных на принципе частотного разделения источников. Правда, существуют приемы, когда те, или иные операции обработки данных осуществляются во временной области (например: стробирование, лифтрация кепстра и т.д.). Однако и в этих случаях физическая сущность процедур не меняет своего принципиального значения, ключом к распознаванию остается частота проявления дефекта.

Приведем некоторые известные формулы расчета частот возбуждения колебаний, возникающих в элементах подшипника качения при его вращении. Как известно при повреждении наружного кольца подшипника или его перекосе при монтаже возбуждается вибрация на гармониках частоты

$$f_{нк} = f_c z_{тк},$$

где $f_c = f_{\omega} [1 - (d/D) \cos B] / 2$ - частота вращения сепаратора, f_{ω} - частота вращения внутреннего кольца подшипника, $z_{тк}$ - количество тел качения, d - диаметр тел качения, D - средний диаметр подшипника, B - угол контакта тел качения.

Повреждение внутреннего кольца или его перекос возбуждают колебания на гармониках частоты

$$f_{нк} = (f_{\omega} - f_c) z_{тк}.$$

Повреждение тел качения проявляется на частоте их вращения относительно колец подшипника, которая рассчитывается по формуле

$$f_{тк} = f_{\omega} (D/d) [1 - (d/D)]^2 \cos^2 B.$$

Взаимодействие первых двух источников вибрации (дефектов) с вращающимся с частотой f_{ω} дефектом внутреннего кольца приведет к появлению вибрации на частотах:

$$k f_{нк} \pm p f_{\omega}, \quad i f_{нк} \pm q f_{\omega},$$

где $k, i, p, q = 1, 2, 3, \dots$ - номера гармоник.

Аналогично взаимодействие этих источников с вращающимся с частотой f_c дефектом сепаратора проявляется на частотах:

$$k f_{нк} \pm p f_c, \quad i f_{нк} \pm q f_c.$$

Этот ряд формул можно было бы продолжить, распространив принцип частотного распознавания дефектов на зубчатые передачи, электромагнитные системы двигателей и генераторов, газотурбинные агрегаты и т.д. Практика показывает, что отмеченные формулы прочно вошли в обиход специалистов по виброакусти-

ческой диагностике.

Отличительной особенностью предлагаемой в данной работе методики распознавания является то, что наряду с частотным признаком используется также дополнительный - амплитудно-фазовый признак. Этот способ защищен авторским свидетельством СССР [8]. Дополнительные признаки, а именно отношение полуосей эллипса вибрации S и пространственная фаза Φ , позволяют после частотного распознавания уточнить характер дефекта, его направленность и значимость (по большой полуоси эллипса).

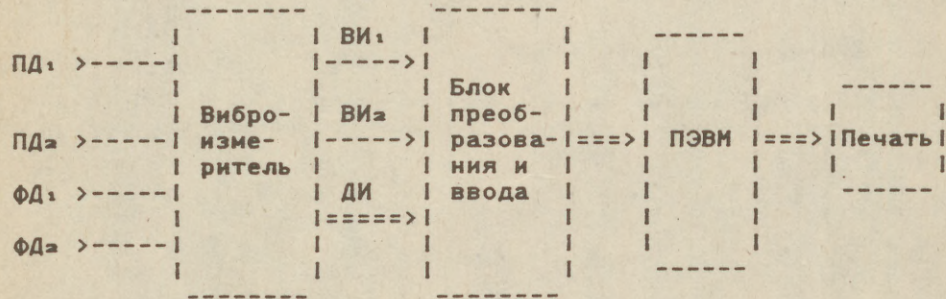
Например, если вибрационное поле на частоте вращения роторной системы классифицировано как круговое (при полной радиальной изотропности опоры), то из множества возможных дефектов: дисбаланс, перекос колец подшипника, биение центрального зубчатого колеса; однозначно устанавливается наличие первого.

На практике, конечно, приходится сталкиваться со сложными дефектами смешанного типа. Так, в работе [8] продемонстрировано как количественно различать биение и дисбаланс зубчатого колеса.

Данный способ в настоящее время не реализован ни в одном из вышеперечисленных фирменных анализаторов. Это потребовало от разработчиков способа создать систему вибродиагностирования с соответствующим программным обеспечением.

СИСТЕМА ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Система построена на базе распространенной в СССР ПЭВМ типа ДВК-3. Последняя состыкована с нестандартным оборудованием, позволяющим вводить в нее сигналы вибрации и частоты опорных валов. Блок-схема системы приведена на рисунке.



Сигналы вибрации с выходов двух пьезоэлектрических датчиков ПД₁ и ПД₂, закрепленных ортогонально на исследуемом объекте, поступают на входы виброизмерителя, который нормализует их по амплитуде и частоте, и подает по двум каналам ВИ₁ и ВИ₂ на входы блока преобразования и управления вводом данных. Последний преобразует вибросигналы в цифровую форму и через общую шину интерфейса вводит в ОЗУ ПЭВМ. Необходимое быстродействие системы обеспечивается процедурой ввода массива данных в ПЭВМ в

режиме прямого доступа к памяти.

Органы управления системы позволяют адаптировать ее к конкретным уровням вибрационной активности диагностируемой машины. С их помощью можно устанавливать требуемые частотные поддиапазоны исследуемой полосы вибросигнала в диапазоне от 10 до 20000 Гц; выбирать нужный параметр измерения: виброускорение или виброскорость; ступенчато изменять чувствительность виброизмерителя; изменять объем вводимой в ОЗУ ПЭВМ информации. Вся информация об установленном режиме работы системы собирается узлом кодирования и по шине дополнительной информации ДИ автоматически вводится в ПЭВМ.

Для ввода информации о частоте вращения подвижных элементов исследуемого объекта, в системе предусмотрены фотодатчики ФД₁ и ФД₂ и узлы формирования импульсов частоты вращения. Эта информация параллельно с вибросигналом вводится в ПЭВМ и используются при распознавании источников вибрации.

РЕЗУЛЬТАТ ВИБРОДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В качестве иллюстрации методики вибродиагностирования на основе эллипсов вибрации приведен фрагмент распечатки (протокола), полученной с помощью системы вибродиагностирования при исследовании авиационного ГТД.

Частота Гц	Вибрация мм/с	Источник вибрации	Расчетная частота	Параметры поля S=M/V	φ, град.	тип
20.0	5.25	f _{нв}	19.88	0.77	59	КРУГ
120.0	2.63	6f _{нв}	119.28	0.52		НЕКОРР
290.0	9.95	f _{ст}	289.80	0.33	105	ЭЛЛИПС
400.0	1.03	f _{нк1} +f _{ст}	405.72	0.17	15	КОГЕР
		2f _{жк1}	405.73			
475.0	3.50	f _{тк}	477.04	0.47	129	ЭЛЛИПС
810.0	2.90	2f _{нк2} +2f _{ст}	811.44	0.12	7	КОГЕР
1940.0	0.85	f _{зуб. нв}	1940.50	0.13	75	КОГЕР

Конструктивная особенность исследуемой машины заключается в том, что ее ротор состоит из двух соосных валов (свободной турбины и турбокомпрессора), вращающихся с различными частотами f_{ст} и f_{тк}. Амплитуды этих роторных гармоник являются важнейшими показателями надежности машины в полете и поэтому контролируются на борту непрерывно путем следящего анализа. Более того, современные бортовые средства контроля позволяют следить за шестью гармониками, выбор которых определяется нормами летной надежности.

Как видно из таблицы роторные гармоники выделены спектральным анализом и распознаны. Наряду с этим на сравнительно высоком уровне проявляются составляющая с частотой вращения несущего винта f_{нв}, связанного со свободной турбиной посредством планетарного редуктора. Кроме того высокий уровень шестой гармоники этой составляющей с частотой 6f_{нв} обусловлен соответ-

ствующим количеством лопастей. Обратим внимание на тип вибрационного поля на частотах $f_{нв}$ и $6f_{нв}$. Если на частоте вращения вибрационное поле классифицируется как круговое, что указывает на дисбаланс несущего винта, то на лапачной частоте поле вибрации носит некоррелированный в пространстве характер, вызванный аэродинамическими явлениями.

Другой тип поля вибрации - эллипс характеризует колебания на роторных частотах свободной турбины и турбокомпрессора. В данном случае этот тип поля возникает в результате искажения кругового, обусловленного дисбалансом. На практике условие изотропности опор этих машин как правило не обеспечивается, что и является причиной такого искажения. Очевидно, что вследствие радиальной анизотропии жесткости корпуса машины поля вибрации на различных частотах будут деформироваться по разному. Например, если круговое поле от дисбаланса несущего винта слабо деформировано, то поля вибрации на частотах $f_{ст}$ и $f_{тк}$ носят явно выраженный характер эллипса.

Предельным случаем эллиптического поля является когерентное, когда годограф комплексного вектора пульсирует вдоль узкого сектора под некоторым углом к условной горизонтали. В работах /1-3/ рассмотрена физическая природа такой пульсации и разработаны математические модели вибрации, позволяющие связывать дефекты изготовления и сборки роторной машины с параметрами эллипсов вибрации. В приведенном примере когерентное поле вибрации возникло на подшипниковых частотах свободной турбины: $f_{нк1}+f_{ст}$, $2f_{нк1}$ и $2f_{нк2}+2f_{ст}$ и на частоте пересопряжения зубьев зубчатого колеса несущего винта $f_{зуб.нв}$. Направление преобладания вибрации в последнем случае близко к линии зацепления зубчатой пары передающей движение на винт. Однако в случае свободной турбины когерентность поля обусловлена низкой жесткостью подвеса в горизонтальном направлении.

Таким образом приведенный пример вибродиагностического исследования показывает какими дополнительными возможностями обладает предлагаемая методика по сравнению с традиционными:

- по параметрам, форме и ориентации эллипсов вибрации в пространстве можно оценить размеры погрешностей и их расположение в элементах кинематических пар;
- классификация вибрации по типам полей позволяет устанавливать разновидность дефектов, проявляемых на одних и тех же частотах;
- анализ вибрации по двум ортогональным координатам раскрывает картину пространственных резонансных явлений, что позволяет надежно различать как технологические дефекты так и конструктивные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бровиан Я. С., Демирчян К. С., Шмутер С. Л. О зависимости спектра вибрации от форм дефектов асинхронного электродвигателя. - Известия Академии наук Армянской ССР, Серия технических наук, Ереван, 1973, том 26, No. 3, с. 14-17.
2. Авакян В. А. Вибродиагностика дефектов вращающихся машин. -

- Машиноведение. Москва, 1987, No. 3, с. 110-115.
3. Awakjan W. Przeobrazowanie kompleksnych spektrów. - Proceedings noise control 88, Cracow, Poland, 1988, Vol. 2.
 4. Маилян В. А., Мартиросян Г. А., Саргсян С. А. Система математического обеспечения контроля и диагностики электрических машин. - Виброизолирующие системы в машинах и механизмах, Москва, Наука, 1977, с. 109-112.
 5. Авакян В. А., Мадатов В. Р., Мартиросян Г. А., Саргсян С. А. Автоматизированная система вибродиагностики дефектов электрических машин. - Электротехника, Москва, 1980, No. 3, с. 30-32.
 6. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. - Москва, Мир, 1974, 464 с.
 7. Хэррис Ф. Дж. Использование окон при гармоническом анализе методом дискретного преобразования Фурье. ТИИЭР, 1973, том 66, No. 1, с. 60-96.
 8. Авакян В. А., Бабаян К. С., Вартанян Л. З., Сусанян А. В. Способ диагностирования зубчатых передач, Авторское свидетельство СССР. - Бюллетень изобретений, 1983, No. 33.

НАНЕСЕНИЕ КОРУНДОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВУЮ
ПОДЛОЖКУ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

Бердиков В.Ф., Волжск-ВНИИАШ, СССР

Пушкарев О.И.

Рукин В.М.

Мировым опытом доказано, что применение алюминиевых сплавов исключительно эффективно во многих сферах. При этом значительно снижается масса конструкций, машин, аппаратов, повышаются долговечность и грузоподъемность транспорта, уменьшаются на 10-15% эксплуатационные расходы. В целом это дает огромный эффект.

За последние 30 лет производство алюминия в мире росло быстрее по сравнению с другими металлами. Например, производство стали увеличилось в 3 раза, меди - в 2,5 раза, свинца - в 2,4, алюминия же - в 10 раз. Таким образом, расширение применения алюминия и его сплавов - это долговременная тенденция, которая будет определять не только текущую, но и дальнюю перспективу народного хозяйства /1/.

Нами, на основе теоретических и экспериментальных исследований советских ученых /2/, разработаны промышленная установка и технология нанесения корундовых покрытий на алюминиевые сплавы методом микродугового оксидирования, позволяющие получать изделия с качественно новыми параметрами и значительно расширяющие области их эффективного использования. Они отличаются высокой износо- и коррозионной стойкостью, являются диэлектрическими и немагнитными, радиационноустойчивыми.

Покрyтия наносят на детали из алюминиевых сплавов, прес-сованные из порошков алюминия, а также на алюминиевые покрyтия, нанесенные предварительно на стальную подложку газотермическим напылением, металлизацией или алюминированием.

Технология нанесения покрyтий заключается в окислении алюминиевой поверхности изделий в гальванической ванне микроплазменными разрядами в слабощелочном растворе при плотности тока 2-30 А/дм² в течение 2-5 часов. При этом исходные размеры изделия увеличиваются на 10-15 мкм. Пробивное напряжение покрyтий 800-1000В.

Технология нанесения корундовых покрyтий экологически безопасна.

Области применения изделий с покрyтиями.

Машиностроение: поршни и др. детали двигателей и компрессоров, калибры, детали прессоснастки, станков, нитевыводящие элементы ткацких машин, плунжера и торцовые уплотнения насосов, шестерни и т.п.

Электронная промышленность: пожаробезопасные и радиационноустойчивые подложки печатных плат телевизионной и радиоэлектронной аппаратуры, радиаторы транзисторов и др.

Конструктивно установка выполнена в виде трех отдельных блоков, объединенных вытяжной вентиляцией и системой водяного охлаждения. Каждый блок представляет собой шкаф, в котором находятся: водоохлаждаемая ванна, компрессор для барботирования электролита, источник питания и, расположенный на передней стенке шкафа, пульт управления. Три ванны позволяют равномерно нагружать трехфазную электросеть, а различные

пропорции этих ванн обеспечивают оптимальную их загрузку. Так прямоугольная ванна предназначена для корпусных деталей, низкая цилиндрическая - для деталей типа калибр, а высокая цилиндрическая - для деталей типа шнек.

Краткая техническая характеристика установки:

количество электролитических ванн	3
производительность, $\text{дм}^2/\text{час}$, не менее	3,7
масс., кг, не более	1200
габаритные размеры, мм, не более	
длина	6000
ширина	1000
высота	2500
питание установки от сети переменного тока напряжением, В	380
частотой, Гц	50
потребляемая мощность, кВт	180

Для оценки качества упрочнения микродуговым оксидированием с помощью разработанных установки и технологии, проведены исследования поверхностной прочности корундовых покрытий на алюминиевом сплаве Д16, в сравнении с рядом газотермических покрытий, металло- и минералокерамических твердых сплавов.

Поверхностную прочность исследовали методом микровдавливания по методике /2-3/ и оценивали показателями восстановленной H_d , невосстановленной H_p микротвердости и микропрочности σ при нагрузке P на алмазную пирамиду Виккерса, равную $2H$.

При этом размер отпечатка значительно превышает размеры включений и отдельных фаз, что позволяет оценивать агрегатную прочность испытуемой поверхности, реализуемую в реальных процессах изнашивания.

Идентифицирование осуществляли в поперечный шлиф испытуемого материала.

Микромеханические характеристики подсчитывали по формулам

$$H_d = \frac{1854 \cdot P}{d^2}; \quad H_p = \frac{1854 \cdot P}{(7h_p)^2}; \quad \sigma = \frac{1000 \cdot P}{\delta^2}$$

- где H_d - восстановленная микротвердость, Па;
 H_p - невосстановленная микротвердость, Па;
 σ - микропрочность, Па;
 d - диагональ остаточного отпечатка, мкм;
 h_p - глубина отпечатка индентора под нагрузкой, мкм;
 δ - размер зоны хрупкой повреждаемости в районе отпечатка индентора, мкм.

Коэффициент вариации при подсчете микромеханических характеристик не превышал 0,05 на базе 20 отпечатков индентора.

Показатель невосстановленной микротвердости является физически более обоснованным критерием, в сравнении с обычной восстановленной микротвердостью, поскольку учитывает, наряду с пластической составляющей твердости, упругую твердость испытуемой поверхности /3/.

Показатель микропрочности характеризует трещиностойкость материалов высокой твердости и прямо связан с их из-

носостойкостью в условиях граничного трения и абразивного изнашивания /4/.

Результаты испытаний приведены в таблице.

Таблица

Микромеханические характеристики материалов

Характеристика материала	Микротвердость		Микропрочность, IIa
	восстанов- ленная, IIa	невосстанов- ленная, IIa	
<u>Корундовые покрытия на алюминиевом сплаве Д16</u>	16-25	20-31	2,5-3,6
<u>Твердые сплавы</u>			
КНТ - I8	I5	I8	3,8
КХН - I5	I2	I5	2,8
<u>Плазменные покрытия</u>			
Хром порошковый	3-7	5-9	-
Феррохром, плакиро- ванный никелем	5-10	6-11	-
<u>Газопламенные покрытия</u>			
ПГ-ION-OI	7	11	-
ПГ-ION-OI-80% TiB ₂ -20%	7	9	-

Анализ результатов экспериментов показывает, что по микромеханическим характеристикам корундовые покрытия на алюминиевом сплаве Д16 не уступают твердым сплавам и имеют в 2-3 раза более высокую микротвердость, чем газотермические покрытия.

С помощью указанной технологии корундизации нами разработан ряд изделий с покрытиями: калибры и детали прессоснаст- ки абразивного производства, подшипники скольжения, торцовые

уплотнения и плунжера насосов высокого давления для перекачки нефти, подложки печатных плат, детали роторно-поршневых двигателей и др. Эксплуатационные испытания показали повышенные работоспособности изделий с корундовыми покрытиями в 2-15 раз, в сравнении с изделиями из инструментальных сталей и др. конструкционных материалов.

Список литературы

1. Белов А.Ф. В блеске мусорных урн... - ЭКО, 1989, № 1, С.83-84.
2. Николаев А.В., Марков Г.А., Пещевицкий Б.И. Новое явление в электролизе. - Известия СО АН СССР. Серия химические науки, 1977, вып. 5, № 12, С.32-34.
3. Бердиков В.Ф., Пушкарев О.И. Испытания хрупких материалов методом микровдавливания. - Проблемы прочности, 1985, № 9, С.84-87.
4. Бердиков В.Ф. Разработка микромеханических методов исследования абразивных материалов с целью оценки их износостойкости: автореф. дис.канд.техн.наук. М., 1987. - С.29.

ПРИМЕНЕНИЕ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ
В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Дубровский Ю.С., НПО "МАСМА", СССР
Цветков И., ЦИХП, НРБ

Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) являются обязательным элементом большинства технологических процессов металлообработки. Процессы резания металлов характеризуются большими статическими и динамическими нагрузками, температурами, истирающим воздействием обрабатываемого материала на инструмент. В этих условиях основное назначение СОЖ - уменьшить температуру, силу резания и износ режущего инструмента, обеспечить требуемое качество обработанной поверхности. Помимо этого СОЖ должны отвечать гигиеническим и экологическим требованиям, обладать комплексом антикоррозионных, моющих и других эксплуатационных свойств, в частности, они не должны обильно пениться, образовывать дым, туман, разрушать лакокрасочные покрытия и резиновые уплотнения станков, быть стабильными, легко эмульгировать в воде различной жесткости.

Соответствуют ли эти требования к СОЖ условиям их применения в гибких производственных системах (ГПС)?

Можно сформулировать следующие основные особенности многопозиционных металлорежущих станков с ЧПУ (типа "обрабатывающий центр"), ГПС и технологии обработки на таком оборудовании:

1. Чистая сменяемость условий обработки - номенклатуры обрабатываемых деталей и их материалов, набора технологических операций и режима обработки при быстрой переналаживаемости системы.

2. Большая концентрация технологических операций.

3. Высокий уровень автоматизации производственного цикла вплоть до почти полного исключения участия оператора (принципы "безлюдной технологии").

4. Автоматизация и адаптивность управления режимов резания, контроля состояния режущего инструмента и размеров обрабатываемой детали.

5. Высокая эксплуатационная надежность металлорежущего инструмента, всех элементов автоматики и станочных узлов.

6. Интенсивная (2-3-сменная) загрузка основного и вспомогательного оборудования.

7. Высокая сложность и стоимость металлорежущего оборудования с ЧПУ и ГПС в целом.

Отмеченные особенности обуславливают дополнительные требования к СОЖ, применяемым в ГПС:

- широкая универсальность, то есть эффективность на большинстве операций обработки резанием различных материалов;

- эксплуатационная надежность - стабильность технологических, антикоррозионных, гигиенических и других эксплуатационных свойств;

- высокие биостабильность и срок службы СОЖ;

- отсутствие вредных воздействий СОЖ (коррозии, пленок, осадков) на элементы автоматики, рабочие органы промышленных роботов;

- возможность автоматизации контроля и корректировки качества СОЖ в процессе эксплуатации (по показателям: концентрация, pH, содержание механических примесей, посторонних масел и т.п.);

- возможность автоматической подачи в зону резания в широком диапазоне рабочих концентраций, под высоким давлением, в распыленном состоянии;

- выполнение дополнительных функций, например гидротранспорта стружки, промывки деталей и паллет (вымывание стружки из рабочей зоны направленными струями жидкости).

В связи с комплексностью и сложностью этих требований и широким распространением станков с ЧПУ, обрабатывающих центров и ТПС можно рекомендовать к применению в этом оборудовании специальные или универсальные высококачественные СОЖ.

Обследование ряда действующих ТПС показало, что чаще всего используются водосмешиваемые, в основном, эмульгируемые СОЖ универсального назначения.

Концентраты таких СОЖ содержат 50-85% минерального масла, эмульгаторы, ингибиторы коррозии и другие присадки; применяются они в виде 3-10% водных эмульсий. Вместе с тем опыт испытаний показывает, что современные полусинтетические (микроэмульсионные) и синтетические СОЖ более эффективны, чем эмульсии: их прозрачные коллоидные водные растворы более универсальны и стабильны, менее требовательны к качеству воды, отличаются быстротой и более длительным сроком эксплуатации. Концентраты таких СОЖ содержат поверхностно-активные вещества (ПАВ), водорастворимые низкомолекулярные полимеры, ингибиторы коррозии, бицидные, антипенные, антиизносные, противозадирные и другие присадки, а также воду. В синтетических СОЖ отсутствует минеральное масло, в полусинтетических - содержится в пределах 10-50%.

Для большинства технологических операций лезвийной и абразивной обработки сталей, чугунов, алюминиевых, медных и других металлов и сплавов в условиях ТПС фирмами-изготовителями рекомендуются полусинтетические СОЖ Syntilo R (фирмы "Castrol"), Griton 520 (фирмы "Toho"), синтетическая СОЖ Cutora HX (фирмы "British Petroleum") и ряд других жидкостей.

Организациями СССР и НРБ также была разработана полусинтетическая СОЖ Бисна ООПК специально для применения в ТПС механообработки. СОЖ представляет собой сбалансированный концентрат на основе борсодержащего эмульгатора - ингибитора коррозии, масла, ПАВ, стабилизатора и некоторых других функциональных присадок. СОЖ безнитратная, бесхлорная, не содержит фенолов, формальдегидов, тяжелых металлов.

Бисна ООПК предназначена в виде водных растворов для шлифования (2-3%), точения, растачивания, сверления,

Внутреннее шлифование колец из шарикоподшипниковой хромистой стали ШХ15 осуществлялось абразивными кругами марки 24А40СПК6 при скоростях: круга - 38 м/с, изделия - 88 м/мин и подачах: продольной - 0,23 мм/мин, поперечной - 0,006 мм/дв.ход. Ранжирование СОЖ, испытанных в 3% концентрации, показывает (рис.1), что по коэффициенту шлифования Бисна ООПК превосходит СОЖ аналогичного назначения - Cutora НХ а также СОЖ массового назначения - Аквол-ЮМ и эмульсионную Укринол-ЮМ, серийно производимые в СССР.

Указанные СОЖ (в 5% концентрации) испытывались также при точении углеродистой стали 45 и легированной коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т проходными резцами из быстррежущей стали Р6М5 с геометрией заточки: главный передний угол - 10°, главный задний угол - 8°, угол в плане - 45°; режим обработки: скорость резания 40 м/мин (при точении стали 45) и 15 м/мин (при точении стали 12Х18Н10Т). СОЖ сравнивались по стойкости резцов (за критерий затупления был принят износ по задней поверхности равный 0,3 мм) и шероховатости обработанной поверхности. Результаты испытаний, полученные при точении стали 12Х18Н10Т, приведены на рис.2. В целом же установлено, что при точении сталей Бисна ООПК по технологическим показателям близка к СОЖ Cutora НХ и превосходит Укринол-ЮМ и Аквол-ЮМ.

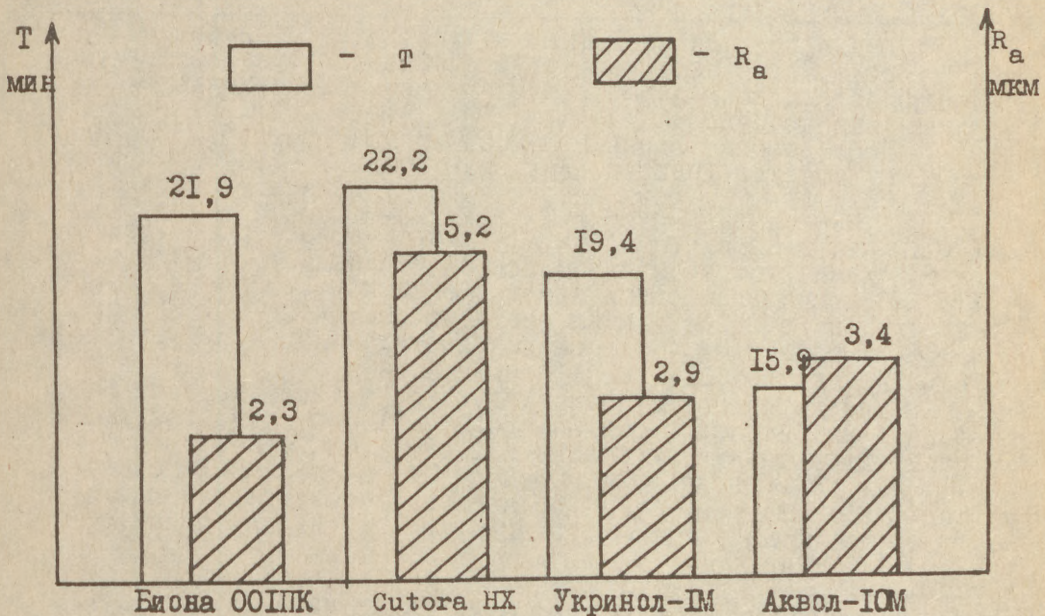


Рис.2. Стойкость режущего инструмента (Т) и шероховатость обработанной поверхности (R_a) при испытании различных марок СОЖ.

Важнейшей характеристикой эксплуатационных свойств водосмешиваемых СОЖ является их биостойкость. Оценка этого показателя новой СОЖ Бисна ООШК и ряда других жидкостей проведена по ГОСТ 9.085-78. "Жидкости смазочно-охлаждающие. Методы испытания на биостойкость". Образцы 3% водных растворов исследуемых СОЖ инфицировались смесью бактерий и грибов (Pseudomonas, Mycobacterium, Escherichia, Desulfovibrio, Aspergillus, Penicillium, Cladosporium, Fusarium, Trichoderma), выделенных из биосраженных эмульсионных и синтетических СОЖ; общее количество микроорганизмов, введенных в каждый образец: бактерий - $1 \cdot 10^5$ клеток/мл, грибов - $1 \cdot 10^4$ клеток/мл; в качестве биокатализатора вносилась также стружка из серого чугуна. Сравнительные испытания СОЖ, проведенные в течение 2 месяцев, списаны в таблице.

Оценка биостойкости СОЖ

Таблица

СОЖ	:Количество микроорга- : :низмов (клеток/мл) :		Оценка биостойкости (балл по ГОСТ 9.085-78) *
	: бактерий :	грибов :	
Бисна ООШК	0	$1 \cdot 10^2$	Удовлетворительная (0-1)
CutoraHX	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^3$	Не биостойкая (II)
Уркинол-ТМ	$2 \cdot 10^4$	0	" "
Аквол-ЮМ	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	Не биостойкая (I-II)

Видно, что Бисна ООШК, в отличие от сравниваемых СОЖ, обладает полной бактериустойчивостью, удовлетворительной биостойкостью и не требует применения специальных биоцидных присадок.

Исследование влияния 3 и 5% водных растворов СОЖ на эмалировку станков (нитроцеллюлозную эмаль НЦ-256, грунтовки ГФ-0163 и АК-070) показало, что по степени воздействия на внешний вид покрытия и его физико-механические показатели - адгезию и прочность при ударе - Бисна ООШК менее агрессивна, чем испытанные синтетические СОЖ.

Токсикологическими исследованиями установлено, что по степени воздействия на организм СОЖ Бисна ООШК относится к веществам 4 класса опасности: малопасным веществам (показатель $LD_{50} = 7600$ мг/кг).

Положительные результаты описанных комплексных лабораторных исследований СОЖ Бисна ООШК были подтверждены производственными испытаниями в НРБ и СССР, например:

1) на обрабатывающем центре КММ ЦМ 063 (НРБ) с системой ЧПУ Fanuc system 6M при сверлении, растачивании, развертывании, резбонарезании и на других операциях об-

*Предельно-допустимое содержание бактерий - $1 \cdot 10^5$ клеток/мл грибов - $1 \cdot 10^4$ - $1 \cdot 10^5$ клеток/мл.

работки корпусных деталей из серого чугуна и стали 45 (в сравнении с эмульгируемой СОЖ ЕЛТ-113);

2) на токарном станке с ЧПУ Рг2-14-1Р СпС 600 фирмы "Miles" (ГДР) при точении, сверлении, резбонарезании, отрезке валов и втулок из углеродистых и легированных сталей (в сравнении с полусинтетической СОЖ Griton 520 фирмы "Toho" и эмульгируемой СОЖ Украинол-1М);

3) в ГПС "Чакерс-С" фирмы "Fanuc" (Япония) на токарных операциях обработки рбликов, валов, втулок, паукожеров из углеродистых и легированных сталей, алюминиевых сплавов (в сравнении с синтетической СОЖ Cutora НХ и эмульсолом ЭТТ).

Испытания показали достаточную технологическую универсальность рабочих растворов Бисна ООПК, стабильность их антикоррозионных свойств, биостабильность и в целом соответствие требованиям эксплуатации СОЖ в ГПС. СОЖ Бисна ООПК была рекомендована к широким испытаниям и внедрению также в ВР, ГДР, Республике Куба, ПР и ЧССР в соответствии с программой совместных работ в рамках Международного Хозяйственного Товарищества "Интернейтепродукт". Серийное производство СОЖ Бисна ООПК планируется на НХК "Плевен" (НРБ).

Рассматривая перспективы применения СОЖ в ГПС следует отметить, что практически трудно повысить эффективность функционирования ГПС путем внедрения только одной даже специальной СОЖ.

В связи с расширением парка ГПС, увеличением номенклатуры обрабатываемых материалов целесообразно решить ряд следующих проблем.

1. Разработать серию взаимосовместимых и взаимодополняемых СОЖ на единой компонентной основе, но с различными функциональными присадками. Это необходимо для расширения технологических возможностей СОЖ и в связи с возможным применением в одной ГПС на отдельных модулях, нескольких СОЖ, допускающих смешивание при их переносе с приспособлениями и обрабатываемыми деталями.

Такой опыт имеется: например, фирма "British Petroleum" разработала для применения в ГПС подобные СОЖ серии "Cutora" (индексы: МХ - для общих условий обработки металлов резанием; НХ - для резания легкообрабатываемых и цветных металлов и сплавов, а также труднообрабатываемых материалов; GX - для шлифовальных операций; AX - для резания алюминиевых сплавов).

2. Обеспечить совместимость СОЖ с другими смазочными материалами оборудования. При их несовместимости "инородные" масла отрицательно влияют на работоспособность и срок службы водосмешиваемых СОЖ, а утечки СОЖ в смазочное и гидравлическое масла увеличивают износ и колебания узлов станков, приводят к скачкам на направляющих, образованию вязких осадков и залипанию элементов гидроаппаратуры. Эту проблему решают: а) конструктивно (совершенствованием конструкции и уплотнений станочных узлов); б) разрабатывая смазочные и гидрожидкости, содержащие

сравнительно большое количество воды и допускающие перетечки СОЖ; в) разрабатывая многофункциональные синтетические или полусинтетические водосмешиваемые жидкости, выполняющие одновременно функции СОЖ, гидрожидкости и смазочной среды.

3. Обеспечить совместимость СОЖ с материалами, применяемыми в ТПС, путем не только разработки специальных СОЖ, но и используя в ТПС прогрессивные материалы. Например, для окраски - не нитроцеллюлозные, а полиуретановые, акриловые или эпоксидные эмали; для щитков ограждения рабочей зоны - полиэфир, армированные стеклослоном; для накладок направляющих станков - композиты на основе эпоксидных смол, полиамидов, полиэтилентерефталта, тефлона; трубопроводы системы циркуляции СОЖ - из ацетата целлюлозы и нержавеющей стали вместо медных и стальных; уплывательные соединения - лабораторные, ненагруженные из современных износостойких эластомеров - неопрена, витрена и твердых сплавов.

4. Отработать рациональную технологию применения СОЖ в ТПС, обеспечивающую требуемую эффективность, длительный срок службы (до одного года), сокращение простоев оборудования при смене СОЖ. Системы циркуляции СОЖ (централизованная - для всей ТПС или индивидуальные - для отдельных модулей) должны быть оснащены устройствами фильтрации, удаления "инородных" масел, термостабилизации, подачи СОЖ в зону резания в различном виде (поливом под давлением, в распыленном состоянии, постоянном, прерывистом и тому подобном), активации (например, путем наложения ультразвуковых или магнитных полей). С целью сокращения времени на замену СОЖ целесообразно применение соответствующих модульных передвижных установок, а также механизированных устройств (мониторных месячных машин, переносных водоструйных эжекторов, пневмокассет) для очистки, промывки и дезинфекции оборудования - емкостей, лотков, трубопроводов, фильтров, при смене СОЖ. Важными этапами приготовления новой СОЖ являются подготовка воды (деионизация, обеззараживание и другие операции) и её интенсивное перемешивание с концентратом СОЖ в устройствах с использованием дозаторов, гидродинамических вибраторов или диспергаторов другого типа.

5. Максимально автоматизировать все этапы применения СОЖ, в особенности контроль и корректировку качества рабочих эмульсий и растворов в процессе эксплуатации. Имеется опыт автоматизации контроля СОЖ по показателям концентрации (рефрактометрическим методом), pH, температуры, электропроводности, содержания механических примесей. Не представляет сложности контроль и поддержание в заданных пределах расхода, давления, уровня жидкости. Для использования в системах циркуляции СОЖ в ТПС целесообразно применять применяемые в химических и нефтехимических производствах методы и приборы: автоматические рефрактометры, кондуктометры и титрометры, промышленные хроматографы, pH- и рХ-метры, колориметры, анализа-

торы мутности и цветности и так далее.

Таким образом, эффективность работы СОЖ в ГПС должна обеспечиваться использованием оптимальных типов СОЖ, смазочных и других вспомогательных материалов и рациональной технологией их применения.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ РЕЖУЩЕГО РЕЛЬЕФА АЛМАЗНОГО
КРУГА ПРИ ШЛИФОВАНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов, С.А. Кultyшев

Харьковский политехнический институт им. В.И. Ленина,
СССР

В настоящее время широкое распространение получили композиционные материалы на основе алмаза и сверхтвердых нитридов бора, а также различные керамики. Как известно / 1 /, эффективная обработка такого класса материалов даже путем традиционного алмазного шлифования весьма затруднительна. Исследования последних лет показали, что существенное улучшение значений выходных показателей обработки в этом случае может быть достигнуто путем непрерывного электрохимического автономного управления режущим рельефом токопроводящих алмазных кругов / 1 /. В современном производстве все более актуальное значение приобретает фактор повышения точности и качества обработки. В связи с этим в процессе управления режущим рельефом важным становится обеспечение устойчивости поддержания как требуемой развитости режущего рельефа, так и точности поперечной формы круга.

Исходя из этого, для выполнения указанных требований применительно к различным схемам обработки нами были предложены и разработаны специальные способы управления и устройства, их реализующие.

Известно, что одним из наиболее распространенных на практике является круглое и плоское шлифование кругами с периферийным и торцовым рабочим слоем, а также врезное шлифование сложнопрофильными периферийными кругами.

Основная проблема при электрохимическом управлении рельефом периферийных кругов - обеспечение эквидистантности зазора между рабочей поверхностью круга и специальным правящим автономным катодом,

т.к. по мере износа круга уменьшается его диаметр, а радиус катода остается неизменным. Для устранения данного недостатка предлагается устройство, представленное на рис. 1 / 2 /, которое содержит составной катод, состоящий из центрального сегмента I и соединенных с ним через ролики 2 с помощью кольцеобразных пружин 3 боковых сегментов 4, 5. Центральный сегмент I жестко связан с панелями 6, на которых установлена гайка 7. Боковые поверхности сегментов 4, 5 выполнены наклонными, по которым скользят ролики 8, закрепленные на вилке 9 с возможностью вращения. В центре вилки 9 установлена гайка 10. Через гайки 7 и 10 проходит винт II, имеющий резьбу с разными шагами, и приводится во вращение реверсивным двигателем I2.

При работе устройства вращением винта II производится перемещение катодных частей по направлению к кругу до установления определенной величины межэлектродного зазора (МЭЗ), а по мере износа круга и поддержания его на заданном уровне. Одновременно с катодными частями в направлении круга перемещается и вилка 9, но с большей скоростью из-за разности шагов резьбы винта, и своими роликами перемещается по наклонным поверхностям боковых сегментов, осуществляя их поворот пропорционально перемещению всего катодного устройства.

При этом угол наклона наружных поверхностей боковых сегментов 4, 5 определяется по зависимости:

$$\alpha = \frac{\arctg\left(\frac{\Delta - R + \sqrt{(\Delta - R)^2 + 2R\Delta(1 - \cos\beta)}}{L}\right) \cdot h \cdot P_2}{\Delta \cdot P_1} +$$

$$+ \arctg \frac{\Delta - R + \sqrt{(\Delta - R)^2 + 2R\Delta(1 - \cos\beta)}}{L}$$

где α - угол наклона наружных поверхностей боковых сегментов катода, град.;

β - угол при половине дуги рабочей поверхности всего круга, град.;

L - расстояние от центра опорного шарнира бокового сегмента до его максимально удаленного края, мм;

h - высота бокового сегмента катода, мм;

Δ - толщина алмазного слоя, мм;

P_1, P_2 - больший и меньший шаги резьбы винта II, соответственно, мм.

При шлифовании сверхтвердых материалов периферийными кругами необходимо поддерживать большие плотности токов, которые обеспечатся малыми значениями МЭЗ. Но при малых МЭЗ затрудняется подача электролита в последней.

В этом случае наиболее эффективно устройство, представленное на рис. 2 / 3 /, в котором на внешних сторонах боковых сегментов катода 4, 5 установлены опоры 6, 7 со смещением друг относительно друга на величину Y . Такое смещение позволяет обеспечить опережение поворота одного сегмента относительно другого для создания гидравлического клина в МЭЗ, что повышает надежность заполнения последнего (особенно при малых его значениях) электролитом. Величина смещения Y опор зависит от геометрии круга и определяется по зависимости:

$$Y = \frac{L(\sin \alpha + \lambda) + \sin \left(\left(\delta - \left(\frac{1}{3} Z_{cp} + 0,05 \right) / L - \alpha - \lambda \right) \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\cos \alpha},$$

где L - расстояние от центра шарнира бокового сегмента до точки касания опорного элемента с направляющей, мм;

α - угол наклона конических направляющих, град.;

λ - угол между внутренней боковой поверхностью крайнего сегмента катода и L , град.;

Z_{cp} - средний размер абразивного (алмазного) зерна, мм.

При перемещении катодного устройства опоры 6, 7 скользят по коническим направляющим 8, 9, что и позволяет осуществлять поворот боковых сегментов 4, 5.

В связи с реализацией данного процесса на внутришлифовальных станках возникают вопросы ограниченности свободного пространства между кругом и деталью, для разрешения которых нами предложено оригинальное устройство (рис. 3) / 4 /.

Суть его заключается в том, что электролит подается во внутреннюю полость катода I, а из нее - через щели в МЭЗ. Для наиболее качественного заполнения МЭЗ две крайние щели расположены под углом друг к другу, чтобы создать встречный напор, а рабочие участки катода между этими щелями выполнены с различной кривизной, соответствующей максимальному среднему и минимальному радиусам круга. Таким образом, создаются условия, обеспечивающие возможность иметь хотя бы один участок катода, радиус кривизны которого будет примерно равен рабочему радиусу круга на протяжении всего срока его службы.

Угол взаиморасположения щелей определяется зависимостью:

$$j = 180 + \beta - 2 \operatorname{arctg} \frac{9 \times 10^6}{f^2 \cdot n^2 \cdot R_{cp}}$$

где β - центральный угол при дуге катода между осями первой и последней щелей, град.;

R_{cp} - средний радиус круга, м;

n - число оборотов шпинделя станка, об/мин.

Известно, что наиболее трудоемким из всех процессов механической обработки является шлифование изделий из сверхтвердых материалов и, в частности, заточка инструментов на их основе, которая осуществляется, как правило, торцовыми алмазными кругами. Поэтому вопросы управления режущей поверхностью таких кругов, при решении дан-

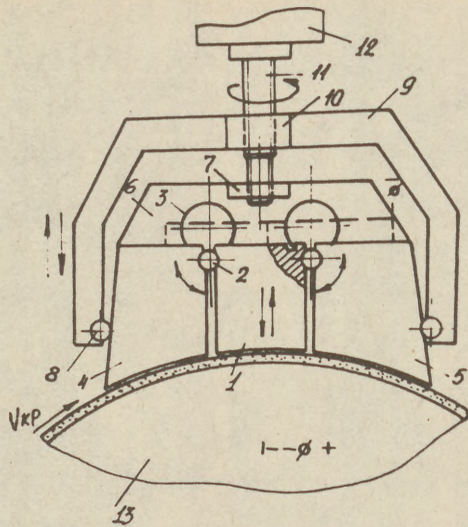


Рис. 1. Схема устройства, реализующего способ управления режущей поверхностью алмазного круга с периферийным рабочим слоем

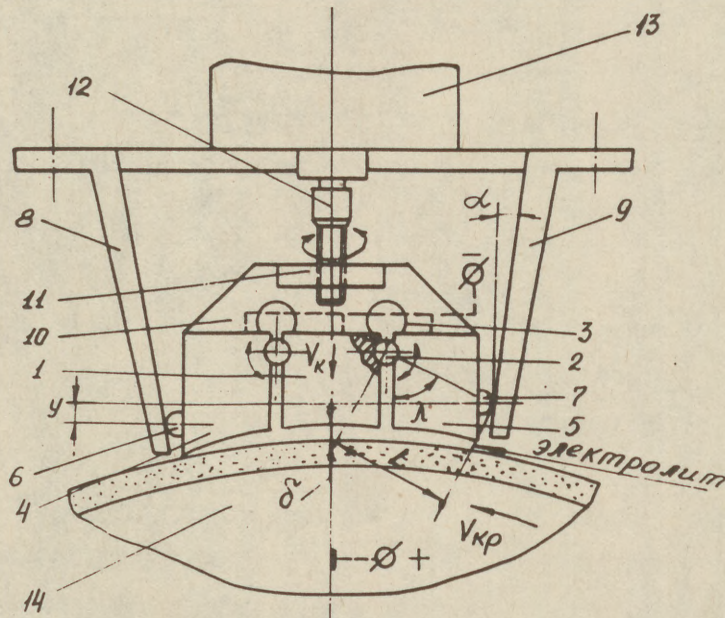


Рис. 2. Устройство, реализующее способ управления рельефом периферийных кругов при повышенных плотностях технологического тока

ной проблемы проявляются наиболее остро. Для ее решения нами предложен и разработан ряд устройств.

В частности, устройство / 5 /, представленное на рис. 4, позволяет повысить устойчивость процесса правки и обеспечивать наибольшую точность поддержания заданного профиля круга, что в конечном итоге приводит к сокращению расхода инструмента и улучшению качества обработки. В нем для повышения надежности попадания электролита в МЭЗ рабочая поверхность катода 1, 2 выполнена конической, т.к. электролит подается во внутреннюю полость круга 5 и крышки 3, на которой установлен катод. А для устранения влияния конусности катода на искажения поперечного профиля круга в устройство введен компенсирующий элемент 4, имеющий специальную форму, которая описывается выражением:

$$l_i = \frac{l_i \cdot R_i [\delta_H + (R_i - R_1) \cdot \operatorname{tg} \varphi]^{-0,66}}{R_1 \cdot \delta_H^{-0,66}}$$

где l_i - длина i -ой дуги компенсирующего элемента катода, мм;

l_1 - длина дуги внутренней стороны компенсирующего элемента катода, мм;

R_i - радиус i -ой дуги кольцеобразной части катода, мм;

R_1 - радиус дуги внутренней стороны кольцеобразных частей катода, мм;

δ_H - зазор между кольцеобразными частями катода и рабочей поверхностью круга в точках максимального радиуса последнего, мм;

φ - угол между рабочей поверхностью круга и кольцеобразными частями катода в радиальном направлении, град.

При этом для конкретных условий обработки местоположение компенсирующего элемента 4 и его длина определяется выражением:

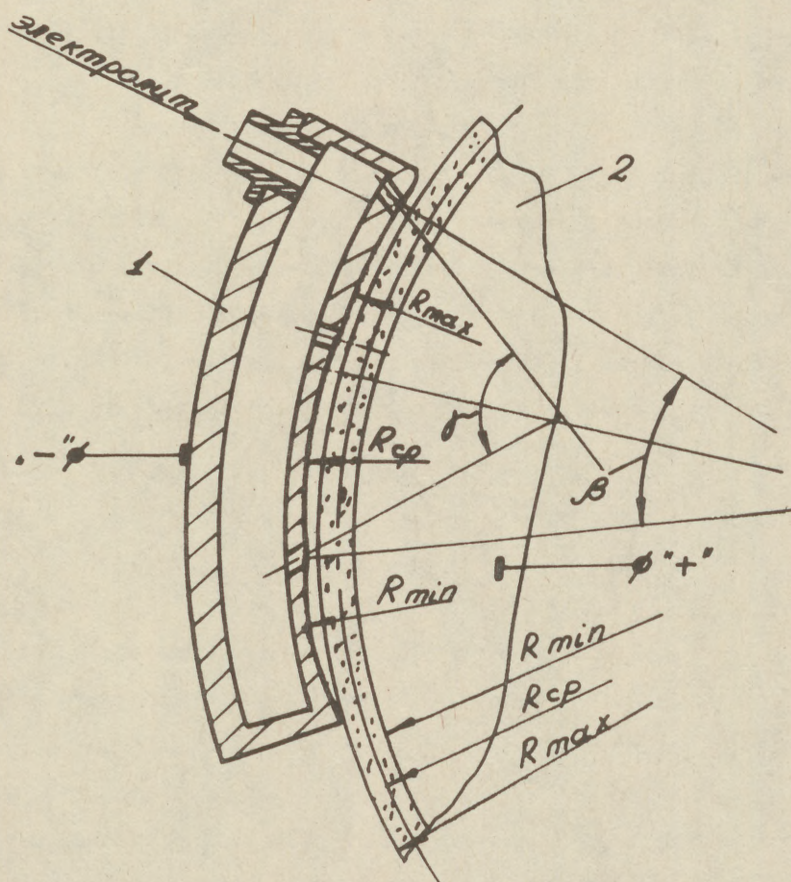


Рис. 3. Устройство, реализующее способ управления рельефом кругов на внутришлифовальной станке

$$X = R_1 - 5,92 + 232,23 \cdot \delta_{cp} - 2970,00 \cdot \delta_{cp}^2 + 13935,90 \cdot \delta_{cp}^3 - 23665,06 \cdot \delta_{cp}^4,$$

$$L_k = 3,3 \cdot B^{0,7},$$

где X - расстояние между центром катодного устройства и внутренней стороной компенсирующего элемента катода, мм;
 L_k - длина компенсирующего элемента катода, мм;
 δ_{cp} - средний МЭЗ между рабочими частями катода и круга, мм;
 B - ширина рабочей поверхности кольцеобразных частей катода, мм.

Как уже отмечалось, при обработке материалов с различными физико-механическими свойствами интенсивность электрохимического удаления связки определяется величиной силы тока в цепи управления. Ее необходимо поддерживать неизменной в процессе обработки с помощью специальных устройств. Известные устройства в качестве задающего используют сигнал с шунта, который сравнивается с заданным эталонным сигналом источника постоянного стабилизированного напряжения. Одним из основных недостатков таких устройств является невозможность исключения коротких замыканий в зоне управления, которые возникают по таким причинам, как, например, прекращение подачи электролита, его недостаточная электропроводность и др. При этом с уменьшением силы тока автоматика выдает команду на сближение катода с кругом, в результате чего происходит их разрушение как вследствие электроэрозионных разрядов, так и сошлифовывания катода кругом, а также нарушается состояние его режущего рельефа.

В связи с этим нами разработано и испытано оригинальное механическое устройство / 6 /, обеспечивающее стабилизацию режущего

рельефа круга на протяжении всего периода работы круга до полного его износа, лишенное указанных недостатков и более простое в изготовлении и использовании.

Схема устройства представлена на рис. 5. Оно содержит катод, рабочая поверхность которого состоит из двух частей I, соединенный с корпусом 5 и установленный на направляющих 6, 7. Между частями катода находится сменный трубчатый элемент 4, который крепится к переходнику, имеющему внутреннюю резьбу и жестко связанному с шестерней. Переходник и шестерня навинчены на вал, который имеет наружную резьбу и жестко связан с другой шестерней. В свою очередь, шестерни находятся в зацеплении с зубчатым колесом, приводимым в движение электродвигателем-редуктором. Шестерни имеют неодинаковое число зубьев. У трубчатого элемента диаметр больше, чем ширина рабочей поверхности круга 3, которой он касается частью своей торцовой поверхности. Свободная же часть торцовой поверхности трубчатого элемента упирается в толкатель 2, жестко связанный с корпусом катода 5.

Толкатель 2 имеет на свободном конце внутреннюю резьбу, в которую ввинчен винт, механически связанный с корпусом 5 катода. Для подвода электролита в корпусе 5 катода установлен штуцер. Электролит в зону правки подается через отверстие в катоде. Деталь 9 обрабатывается вне зоны правки.

Устройство работает следующим образом. Сообщают вращение шлифовальному кругу 3. Торцовая поверхность трубчатого элемента 4 вводится в контакт с рабочей поверхностью круга 3 путем вращения зубчатого колеса с помощью электродвигателя 8. Электродвигатель 8 через зубчатое колесо приводит посредством шестерен во вращение винт и переходник. Однако, поскольку у шестерен неодинаковое количество зубьев, то переходник вращается быстрее винта и выкручивается на него, а трубчатый элемент, таким образом, перемещается в направлении, перпендикулярном рабочей поверхности круга 3. Затем в зазор

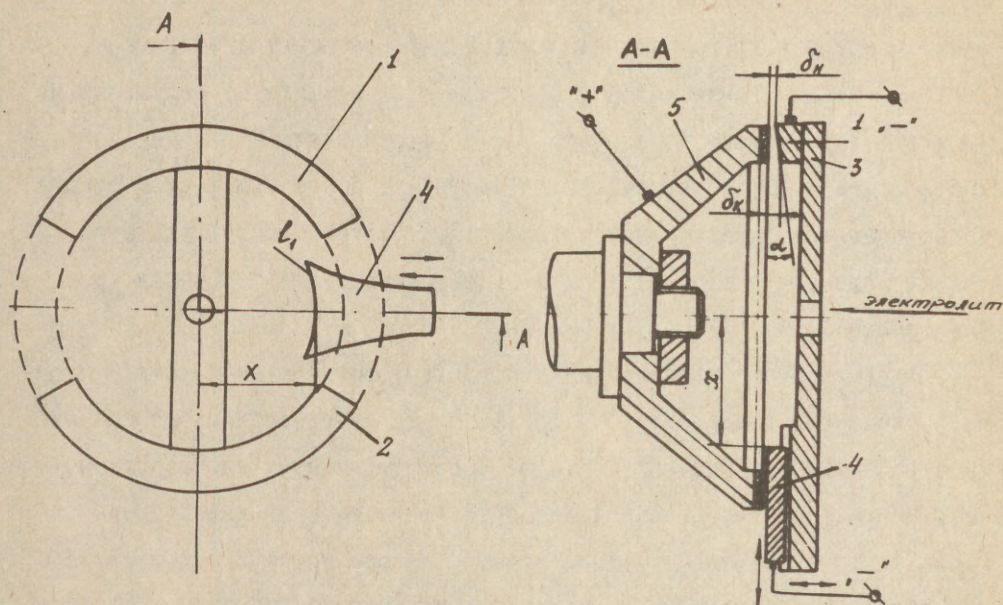


Рис. 4. Устройство для управления рельефом торцовых кругов

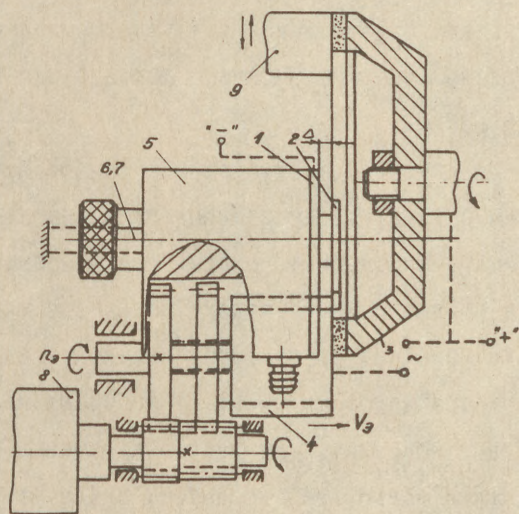


Рис. 5. Механическое устройство для автоматического регулирования силы тока в цепи управления

между катодом и кругом подадут электролит и замыкают электрическую цепь. Вращением винта катод с корпусом 5 перемещают по направляющим 6, 7 и устанавливают с зазором Δ по отношению к рабочей поверхности круга 3. Контроль зазора осуществляют по величине силы тока в цепи управления. Величина тока определяет интенсивность удаления связки круга, а следовательно, и высоту выступления зерен над уровнем связки.

Перемещение катода начинается после того, как толкатель 2 плотно прижимается к торцу трубчатого элемента 4, свободному от контакта с рабочей поверхностью круга 3. Затем включается электродвигатель 8 и устройство обеспечивает автоматически величину зазора (тока в цепи управления), т.к. по мере износа круга 3 при шлифовании детали 9 будет меняться положение трубчатого элемента 4 (который вращается и постоянно сошлифовывается кругом). При этом толкатель 2 будет также перемещаться вместе с катодом по отношению к кругу 3 под действием трубчатого элемента 4. Если износ круга 3 отсутствует, то в результате сошлифовывания трубчатого элемента 4, имеющего перемещение, положение его рабочего торца будет неизменным и катод останется на месте.

Отвод катода от круга осуществляется путем обратного вращения винта под действием пружин, установленных на направляющих 6, 7.

Скорость перемещения трубчатого элемента 4 принимается минимально возможной и должна быть несколько больше, чем скорость износа круга 3. Частота вращения трубчатого элемента 4 значительной роли не играет. Длину трубчатого элемента 4 выбирают из такого расчета, чтобы ее хватило, например, для работы в течение смены. Таким образом, на протяжении всего времени работы круга устройство стабильно поддержит требуемую развитость его рабочей поверхности в автоматическом режиме.

Описанные выше устройства для управления режущим рельефом токо-

проводящих кругов нашли применение во многих областях промышленности при изготовлении широкого диапазона изделий из материалов с различными прочностными свойствами.

В таблице представлены результаты лабораторных и промышленных испытаний разработанных процессов в сравнении с уже известными.

Параметры процесса	Обрабатываемый материал	Предлагаемый вариант /6/	Базовый вариант /1/
Максимально возможная плотность тока, i , А/см ²	-	7	5
Шероховатость R_a , мкм	22ХС	0,4 - 0,2	0,5 - 0,3
	СКМ-Р	0,1 - 0,08	0,1 - 0,08
	Гексанит-Р	0,1 - 0,05	0,1 - 0,07
Неплоскостность, мм	22ХС	0,003	0,007
	СКМ-Р	0,01	0,02
	Гексанит-Р	0,005	0,008
Удельный расход алмазов круга, q , мг/мм ³	22ХС	0,003	0,005
	СКМ-Р	45	53
	Гексанит-Р	0,8	1,0
Конусность рабочей поверхности торцового круга, град	22ХС	0,2 - 0,3	1,5 - 2,0
	СКМ-Р	0,2 - 0,3	1,5 - 2,0
	Гексанит-Р	0,2 - 0,3	1,5 - 2,0

Анализ результатов, приведенных в таблице, позволяет сделать вывод о том, что дальнейшее улучшение процесса алмазного шлифования с электрохимической правкой кругов может быть достигнуто за счет совершенствования способов правки, направленных на обеспечение эквидистантности заданного зазора, повышение надежности заполнения МЭЗ электролитом и удержание его в зоне правки.

Как показывают результаты исследований, шероховатость поверхности зависит не только от состояния микрорельефа алмазного круга, но также и от макропрофиля его рабочей поверхности, т.е. возможно

уменьшение R_a за счет обеспечения неизменной формы исходного профиля круга в процессе работы.

В связи с тем, что разработанные устройства обеспечивают большую плотность тока и позволяют производить более точную регулировку электрических параметров процесса правки, появляется возможность увеличения производительности обработки и улучшения значения многих выходных показателей обработки. Так, неплоскостность в среднем улучшается на 20 - 25 %, производительность - до 1,5 раз, а удельный расход алмазов круга снижается на 5 - 10 %.

Литература

1. Семко М.Ф., Грабченко А.И., Ходоревский М.Г. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов. - Х.: Вища школа. - 1980. - 192 с.
2. А.с. № 1454592 (СССР) Устройство для электрохимической правки токопроводящих абразивных кругов / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов, С.А. Култышев и др. Оpubл. Б.И., 1989. - № 4.
3. Способ непрерывной правки токопроводящих абразивных кругов / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов, С.А. Култышев: Решение от 16.01.89 о выдаче а.с. по заявке № 4414396/08 от 25.04.88.
4. Способ непрерывной электрофизико-химической правки токопроводящих абразивных кругов на внутришлифовальном станке / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов, С.А. Култышев и др.: Решение от 30.05.89 о выдаче а.с. по заявке № 4470665/08 от 08.08.88.
5. Способ электрохимической правки торцовых кругов / А.И. Грабченко, И.Н. Пыжов, С.А. Култышев: Решение от 16.05.89 о выдаче а.с. по заявке № 4606272/08 от 21.11.89.
6. А.с. № 1484508 (СССР) Устройство для правки чашечных кругов на металлической связке / А.И. Грабченко и др. Оpubл. Б.И., 1989. - № 21.

СИСТЕМА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ВЫБОРА
ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОГО
НАПЫЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ

Хомяков, В.Н., Тульский ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт, кафедра прикладной математики, СССР

Преимущества плазменной технологии получения покрытий заключаются в универсальности плазменного метода, возможности нанесения покрытий на большие и малые поверхности, на изделия сложной формы. В процессе напыления покрываемая поверхность нагревается до сравнительно небольших температур, что позволяет сохранить особенности структуры и свойства материала основы. В плазменных горелках используются, как правило, газы, не содержащие кислорода, что уменьшает окисление напыляемого материала, плазменные покрытия имеют достаточно высокую плотность и прочное сцепление с основой. Используя плазменное напыление, можно добиваться повышения износостойкости деталей, жаростойкости, антикоррозионных свойств, теплоизоляции и т.п.

Феноменологическая теория процесса плазменного напыления порошковых материалов отсутствует из-за сложности и многочисленности физико-химических, механических и других процессов, протекающих в системе "плазмотрон-плазма-порошок-подложка", из-за глубокой взаимозависимости и тесной взаимосвязи указанных процессов между собой. Поэтому определение оптимальных условий функционирования оборудования, обеспечивающих получение покрытий с заданными свойствами, осуществляется в основном чисто экспериментальным путем.

Разработка технологических процессов (ТП) плазменного напыления связана с выбором ряда характеристик напыления, это: способ подготовки поверхности перед напылением, материал напыления, дистанция напыления, угол напыления, ток и напряжение на плазмотроне, тип плазмообразующего и транспортирующего газов, скорость вращения детали (для деталей вращения) и т.п. [1]. Сложность решения этой задачи и отсутствие формальных методов ее решения не позволяют разрабатывать технологические процессы плазменного напыления без наличия специального оборудования, позволяющего проводить эксперименты, без концентрации усилий специалистов-технологов высокой квалификации.

Эффективность плазменного напыления прямо зависит от количества и качества разработанных новых технологий, от освоения новых классов деталей для плазменного напыления.

В связи с этим приобретают важное значение методы организации экспериментальных исследований, создание математических или информационных моделей технологической подготовки производства плазменного напыления и на их основе автоматизация процесса разработки новых технологий. Математическая мо-

дель должна служить базой для научного обоснованного принятия решения о необходимости продолжения оптимизации технологического процесса. Она должна обобщать накопленный опыт разработки технологий плазменного напыления и позволять использовать его технологю любой квалификации. Кроме того, математическая модель должна давать возможность переносить опыт проектирования с одного класса деталей на другой, с освоенного класса деталей на осваиваемый.

Для создания таких моделей процесса плазменного напыления требуются неформальные методы, позволяющие создавать адекватное описание проблемной области, выявлять ее закономерности и принципы функционирования.

Таковыми методами могут быть методы искусственного интеллекта. Наиболее подходящими в данном случае будут методы, основанные на нейронном подходе - активные семантические сети (АСС) [2,3]. Разработанная на их основе система искусственного интеллекта способна решить задачу создания модели процесса плазменного напыления.

Система искусственного интеллекта выбора основных характеристик процесса плазменного напыления имеет базу данных (БД) и базу знаний (БЗ). Кроме того, она включает в себя следующие блоки (рис. 1):

- блок формирования БЗ (БФБЗ)
- блок рабочего функционирования (БРФ)
- блок активизации БЗ (БАБЗ)
- блок принятия решения (БПР)
- блок самоорганизации (БСО)
- блок окончания рабочего функционирования (БОРФ)
- блок механического обучения (БМО)
- блок обслуживания БД (БОБД)
- главная управляющая программа (ГУП)

Ядром системы являются блоки рабочего функционирования, выделенные на рисунке 1 штриховой линией. Работа этих блоков существенно зависит от структуры БЗ системы (структуры АСС). Кроме того, важно правильно выбрать входные параметры, так как именно они определяют правильность выводов системы.

Все узлы АСС разбиваются на четыре уровня (зоны). Самый нижний уровень составляют узлы рецепторной зоны, на которые поступает входная информация. Они не являются порожденными ни для каких других узлов сети.

Следующая зона - зона отображения ситуации во внешней среде. Узлы этой зоны имеют более, чем один вход и один выход и служат для интеграции рецепторных узлов сети.

Верхняя зона - эффекторная зона. Каждый узел этой зоны соответствует определенной характеристике процесса плазменного напыления. Между зоной отображения и эффекторной зоной расположена зона принятия решения, узлы которой содержат величину интегральной оценки на принятое системой решение в конкрет-

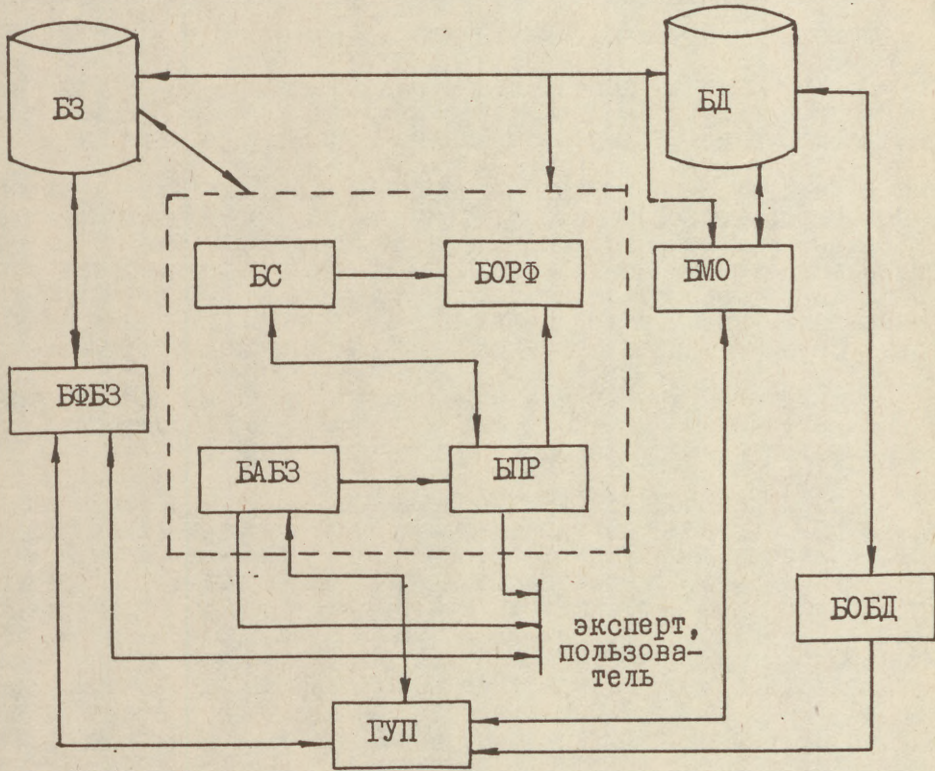


Рис. 1. Структура системы искусственного интеллекта

ной ситуации.

Связи между узлами одной зоны называются ассоциативными, между узлами сопредельных зон - интегрирующими. Ассоциативные связи могут быть тормозными или усиливающими.

Каждому узлу ставится в соответствие величина возбуждения этого узла, каждой связи - величина проводимости.

Общая структура АСС приведена на рис. 2.

Для выполнения поставленной задачи выбора характеристик плазменного напыления система должна обладать следующими механизмами: обучения, самоорганизации, принятия решения.

Функционирование делится на два этапа: обучение и рабочее функционирование. В период обучения в АСС происходит накопление опыта. На вход системы поступают известные технологии с описанием деталей, среды, принятых решений и оценок этих решений. В зависимости от поступающих примеров в АСС происходит формирование новых узлов и связей, изменение проводимостей старых связей и характеристик ранее сформированных узлов.

После того, как обучение закончено, т.е. введено достаточное количество примеров, система может эксплуатироваться, т.е. перейти к этапу рабочего функционирования.

В период рабочего функционирования на вход системы подаются входные параметры напыляемой детали и среды. Учитывая опыт, полученный при обучении, система принимает решение и выбирает характеристики процесса плазменного напыления. О своем решении она сообщает эксперту и получает от него оценку своих действий. В случае отрицательной оценки эксперта на принятое решение процесс поиска решений продолжается до получения системой положительной оценки. При рабочем функционировании процесс обучения системы продолжается: каждое новое описание детали, принятое решение и оценка этого решения являются примером для обучения.

Важным вопросом для обеспечения эффективного функционирования системы является выбор входных параметров, позволяющих полно представить исходную информацию для выбора основных характеристик процесса плазменного напыления.

Входные данные выбирались исходя из анализа процесса плазменного напыления с учетом мнений экспертов в данной области. Все входные параметры можно разделить на три группы (рис. 3).

1. Группа параметров, описывающих напыленную поверхность и деталь в целом.

2. Группа параметров, описывающих среду, в которой будет эксплуатироваться данная деталь.

3. Группа желаемых параметров.

Все три группы содержат 28 параметров. Количество значений этих параметров равняется 160.

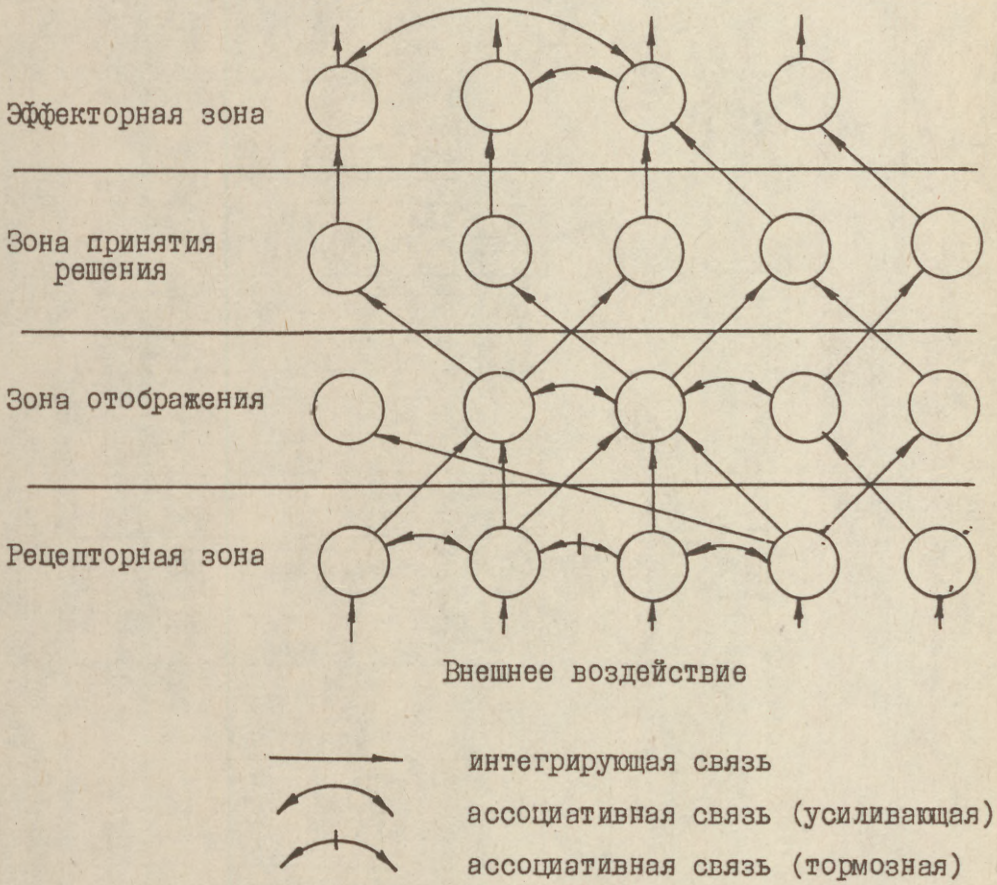


Рис. 2. Общая структура АСС

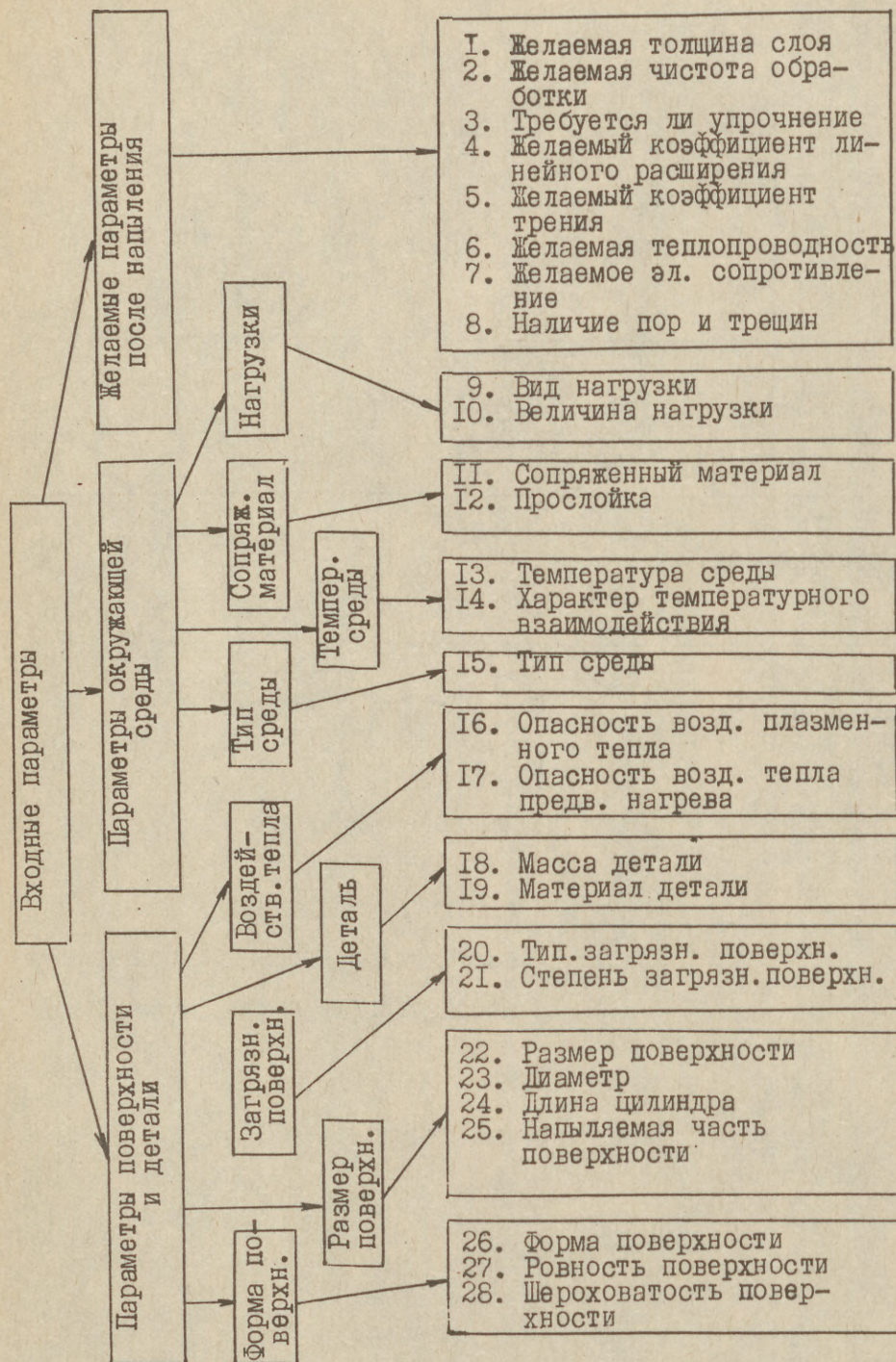


Рис. 3. Структура входных параметров

Система искусственного интеллекта выбора основных характеристик процесса плазменного напыления реализована на ПЭВМ IBM PC/AT в операционной среде MS-DOS, язык программирования Си.

Для обучения системы было использовано 500 примеров. После обучения система успешно эксплуатируется. Вероятность правильных решений оценивается интервалом $0,93 \pm 0,097$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хасуй А. Техника напыления. - М.: Машиностроение, 1975 - 288 с.
2. Амосов Н.М. и др. Автоматы и разумное поведение /Н.М.Амосов, А.М.Касаткин, Л.М.Касаткина, С.А.Талаев. - Киев: Наукова думка, 1973 - 375 с.
3. Диалоговые системы в АСУ /В.М.Брябрин, Ю.А.Любарский, Л.И.Микулич и др. - М.: Энергоатомиздат, 1983 - 208 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПРАВКА ДИСКОВ ПИЛ ДЛЯ
РЕЗКИ МЕТАЛЛА

Ищенко А.А., Мариупольский металлургический институт, СССР
Корчагин В.А., Мариупольский металлургический институт, СССР
Пашук В.А., Мариупольский металлургический институт, СССР

Производительность и качество резки, энергоемкость и долговечность режущего инструмента, все эти показатели процесса резания дисковыми пилами горячего и холодного проката во многом определяются качеством выправки полотна пильного диска, которое в большинстве случаев характеризуется торцевым его биением. Поэтому вопросу правки дисков и в металлургии, где работают пилы горячей резки, и в машиностроении, где применяются пилы холодной резки, уделяется большое внимание.

В настоящее время для этой цели широко применяют пневматические молоты, вальцы или правку путем нагрева сжатого пакета дисков с последующим охлаждением на воздухе. Однако все эти способы требуют больших затрат времени, высокой квалификации персонала и, как правило, не дают стабильных результатов.

Мариупольским металлургическим институтом разработана технология механической правки дисков диаметром от 500 до 2500 мм, которая лишена указанных выше недостатков старых способов правки. Выправка дисков по предложенной технологии осуществляется на пятироликовой правильной машине (рис.1) [1]. Исследования, которые были выполнены на лабораторной установке с использованием дисков \varnothing 500 мм, толщиной 3 мм (сталь 65Г, сталь 50), позволили установить, что стабильные результаты правки достигаются путем разбиения процесса на два этапа. Первый предполагает получение тарельчатой формы диска из любой исходной формы (рис.2 а,б). При этом исправляются местные дефекты диска (выпуклости, волнистость и т.д.). А второй этап включает операцию получения плоского диска из диска тарельчатой формы (рис.2 в). Описанные изменения формы диска достигаются благодаря изменению условий деформирования диска по определенной закономерности.

Разработанная технология позволяет получить высококачественные диски с торцевым биением не более $\pm 0,5$ мм на диаметре 1000 мм. При этом время выправки одного диска не превышает 5 мин.

Для реализации технологии разработана серия конструкций правильных машин для правки дисков диаметром от 500 мм до 2500 мм. В качестве примера ниже приведена техническая характеристика машины для правки дисков диаметром 1000-1250 мм.

Техническая характеристика машины:

1. Скорость правки, м/с	0,1-0,3
2. Скорость подачи диска, м/с	0,01
3. Диаметр правильных роликов, мм	150

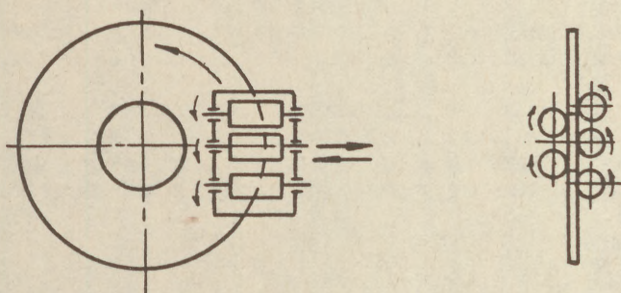


Рис.1. Схема процесса правки дисков

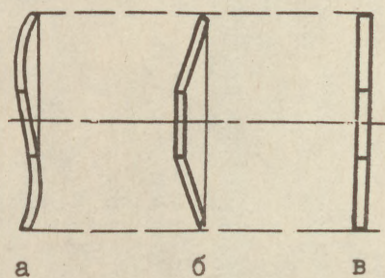


Рис.2. Форма диска

- а - до правки;
- б - после первого прохода роликов;
- в - после второго прохода роликов.

4. Длина бочки ролика, мм	150
5. Усилие прижатия роликов, Н	60000
6. Диаметр дисков, мм	1000-1250
7. Толщина дисков, мм	5-7
8. Время правки, мин	5

Процесс правки на машине осуществляется автоматически за два прохода роликов по полю пильного диска. Вначале от периферии к центру, затем от центра к периферии. При этом автоматически отрабатываются по заданной программе изменения скорости перемещения роликов и давление роликов на диск.

Эксплуатация машин в производственных условиях показала, что их использование позволяет значительно сократить затраты на этот процесс и существенно улучшить показатели широко применяемых в промышленности дисковых пил для резки проката.

Список литературы

1. Ищенко А.А., Корчагин В.А., Сидоров П.И. Качественная и высокопроизводительная правка пильных дисков. Сталь.-1987, № 7.- С. III.

ЛЕЗВИЙНЫЙ И АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ НА ОСНОВЕ ВЮРЦИТНОГО НИТРИДА БОРА

Карюк Г.Г., Бочко А.В. Институт проблем материаловедения
АН УССР, г.Киев, СССР

Использование техники сверхвысоких статических давлений для последующего компактирования и спекания плотных модификаций алмаза и нитрида бора позволили создать новое направление в области создания сверхтвердых поликристаллических материалов.

Применение техники взрыва для получения вюрцитной модификации ВН позволило решить не только проблему массового производства этого важного сверхтвердого материала, но также обеспечить в нем необходимый гранулометрический состав (размер частиц менее 1 мкм) и соответствующие структурные изменения и дефектность (плотность дислокаций около 10^{12}см^{-2}), которые послужили основой для создания сверхтвердых поликристаллических ударостойких материалов для режущего и абразивного инструмента, предназначенного для обработки, главным образом, черных металлов.

Первые сообщения об этой принципиально новой возможности сверхтвердого материала были сделаны в СССР в ряде публикаций в 1971-1973 г.г., посвященных ПТНБ и гексаниту-Р [1,2]. Затем только после публикаций по вюрцитному нитриду бора в США [3], подобный материал с использованием вюрцитного нитрида бора был создан в Японии фирмой "Ньюпон ойл" и получил товарное наименование вюрцин [4,5].

Гексанит-Р - двухфазный материал со структурой вюрцитного и сфалеритного нитрида бора, предназначен для использования в лезвийном инструменте и по своим физико-механическим свойствам несколько не уступает сверхтвердым поликристаллическим материалам, созданным на основе кубического (сфалеритного) нитрида бора, а по такой важной характеристике как прочность на изгиб - даже превосходит их (табл.1). В результате специальных исследований, выполненных в ИГиМ АН УССР [6], было показано, что трещиностойкость (характеристика близкая к ударной вязкости) сверхтвердых материалов на основе вюрцитного нитрида бора (гексанит-Р, ПТНБ) находится в пределах 15-18 МПа/м^{1/2}, в то время как сверхтвердые материалы на основе кубического нитрида бора имеют ее на уровне алмаза, а именно - 6 МПа/м^{1/2}.

Решающей проверкой высокой ударной вязкости любого инструментального материала является его стойкость к ударным нагрузкам в процессе резания. На рис.1 и 2 показан износ резцов из гексанита-Р различного фазового состава в зависимости от времени работы в непрерывном (рис.1) и прерывистом (рис.2) резании (сталь ХВГ НРС 60-62; паз 4 мм; $V = 80 \text{ м/мин}$, $S = 0,07 \text{ мм/об}$, $t = 0,2 \text{ мм}$). Из сопоставления кривых, представленных на рис.1, видно, что в непрерывном резании максимальную стойкость (кривая 1) показал резец, содержащий

Табл. I. Физико-механические свойства сверхтвердых материалов [7-14]

Материал	Плотность, г/м ³	Микротвер- дость по Кнуппу, ГПа	Модуль уп- ругости, ГПа	Предел прочности на сжа- тие, ГПа	Предел прочности при изги- бе, ГПа	Термостой- кость на воздухе, градус	Трещино- стойкость, МПа/м ^{1/2}
Алмаз	3,515	68-94	1160	8,7	0,29	800	6,0
BN куб	3,45-3,47	47	720	5,0	-	1300	-
Эльбор-Р	3,31-3,39	34	665-885	1,9-2,1	-	1100-1200	6,0
Гексанит-Р	3,41-3,44	47	720-820	3,0-4,0	1,2	1100	18,0
Амборит	-	40,5	680	-	0,57	1300	-
Сумиборон	4,2	30-33 (Виккерс)	-	-	-	-	-

~100 мас.% VNсф, а минимальную (кривая 5) - резец с содержанием 15-20 мас.% VNсф, в то время как в прерывистом резании максимальную стойкость показал (кривая 3) резец, содержащий 60 мас.% VNсф, а минимальную (кривая 1) резец с содержанием ~100 мас.% VNсф.

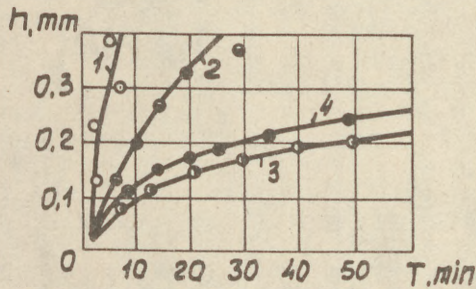


Рис.1. Износ резцов из гексаниа-Р различного фазового состава в зависимости от времени работы в условиях непрерывного резания (1 - 100, 2 - 80, 3 - 60, 4 - 40, 5 - 20 мас.% VNсф.)

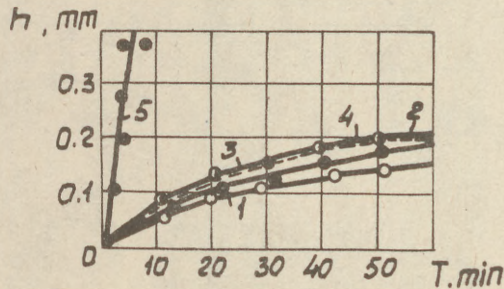


Рис.2. Износ резцов из гексаниа-Р различного фазового состава в условиях прерывистого резания (1-100, 2 - 80, 3 - 60, 4 - 40 мас.% VNсф, 5 - разрушение в процессе закрепления).

Подтверждением высокой ударной стойкости инструмента на основе вюрцитного нитрида бора по сравнению с инструментом на основе его кубической модификации являются прямые сравнительные испытания гексаниа-Р и его ближайших аналогов при обработке детали из стали ХВГ HRC 60-62 с пазом 4 мм ($v = 80$ м/мин, $s = 0,07$ мм/об, $t = 0,2$ мм). Как видно из рис.3, наибольшей стойкостью и в этих сравнительных испытаниях обладали резцы из гексаниа-Р, характеризующиеся двухфазной (вюрцитно-сфалеритной) структурой.

Инструмент из гексаниа-Р (резцы, фрезы и др.) освоен промышленностью и выпускается серийно. Основная область его

применения - обработка закаленных сталей и чугунов с твердостью HRC 40-65, как в прерывистом, так и непрерывном режимах резания. Он может использоваться, как в основном, так и во вспомогательном производстве при замене резцов из твердого сплава и минералокерамики, а также при замене шлифования точением с повышением производительности обработки от 2 до 10 раз.

Последней разработкой ОКТБ ИПМ АН УССР в области инструмента из СТМ являются сменные многогранные пластины из безвольфрамового твердого сплава, оснащенного гексанитом-Р. Форма пластин соответствует стандарту ИСО. В настоящее время освоены выпуск пластин четырех и трехгранной формы без отверстий. В дальнейшем планируется выпуск этих же пластин с отверстием, а также ромбических пластин с отверстием и без отверстия.

Основные размеры и точность изготовления указанных пластин показаны на примере четырехгранной пластины в табл.2.

Табл.2. Геометрические размеры четырехгранной пластины, оснащенной гексанитом-Р

Обозначение	r	d	S	Δd	ΔS
SNGN I2 04 02 T	0,2				
SNGN I2 04 04 T	0,4	12,7	4,76	$\pm 0,025$	$\pm 0,13$
SNGN I2 04 08 T	0,8				
SNGN I2 04 12 T	1,2				
SNMN I2 04 02 T	0,2				
SNMN I2 04 04 T	0,4	12,7	4,76	$\pm 0,05$	$\pm 0,13$
SNMN I2 04 08 T	0,8				
SNMN I2 04 12 T	1,2				
SNVN I2 04 02 T	0,2				
SNVN I2 04 04 T	0,4	12,7	4,76	$\pm 0,08$	$\pm 0,13$
SNVN I2 04 08 T	0,8				
SNVN I2 04 12 T	1,2				

Результаты стойкостных испытаний таких пластин представлены на рис. 4. (ст.ХВГ HRC 57; $v = 64\text{м/мин}$, $S = 0,05\text{мм/об.}$ $t = 0,04\text{мм}$)

Абразивный вариант гексанита-Р, характеризующийся устойчивым преобладанием сфалеритной составляющей, получил наименование гексанит-А и предназначается, главным образом, для изготовления шлифовальных кругов на органической, керамической и металлической связках.

Гексанит-А выпускается преимущественно в виде порошка зернистостью 1000/800 - 50/40 мкм и отличается высокой прочностью

зерен. Кроме того, поскольку эльбор зернистостью выше 315/250 мкм промышленностью не выпускается, гексанит-А оказывается единственным сверхтвердым материалом на основе нитрида бора, способным взять на себя не только заточные, но и грубые шлифовальные и обдирные операции с минимально возможной шероховатостью поверхности.

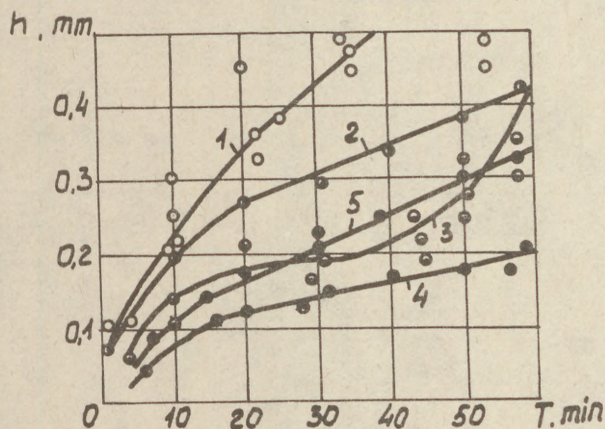


Рис.3. Результаты сравнительных испытаний ниборита (1), киборита (2), сумиборона (3), гексанита-Р (4), амборита (5) в условиях прерывистого резания.

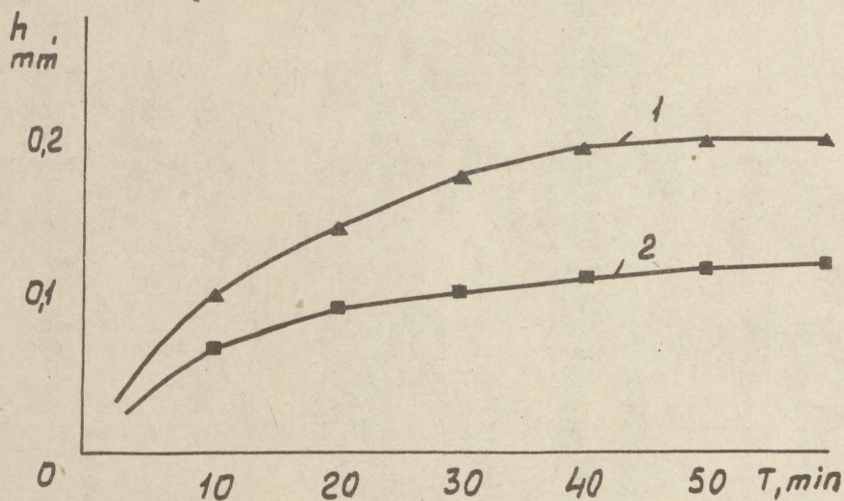


Рис.4. Результаты стойкостных испытаний сменных многогранных пластин, оснащенных гексанитом-Р: 1 - четырехгранная пластина, 2 - трехгранная пластина (1 - $r = 0,4$ мм; 2 - $r = 0,8$ мм).

Шлифовальные круги из гексанида-А на органической связке БСТ и металлической МВК, разработанные в ИПМ АН УССР, переданы в промышленность и выпускаются серийно.

Заточка инструмента из быстрорежущих сталей Р 18, Р3М5 и др. кругами из гексанида-А обеспечивает высокую производительность и хорошее качество обработанной поверхности при $V = 30$ м/с, S прод. = 2 м/мин (табл.3). По сравнению с кругами из эльбора и электрокорунда производительность кругов из гексанида-А повышается в 1,5 - 2 раза и срок службы заточенного инструмента возрастает в 1,5 - 2,5 раза.

Табл.3. Условия обработки и качество поверхности образцов из быстрорежущей стали Р3М5

Характеристика круга	Режим обработки			Шероховатость R_a мкм	К-во остаточно аустенита, %	Вид поверхности
	S попер. мм/дв.х.	при-пуск, мм	к-во проход.			
Электрокорунд белый	0,02	0,2	10	1,3	48	легкий прижог
24А 25Н СМ1 К6	0,05	0,3	6	1,5	60	сильный прижог
Гексанит-А	0,02	0,2	10	0,3	17	без прижога
125/100 100% БСТ	0,05	0,3	6	0,5	25	без прижога

Шлифовальные круги из гексанида-А на металлической связке МВК формы ЧК 200х20х5 зернистостью 400/315 - 800/630 100% концентрации хорошо зарекомендовали себя на ряде заводов на операции глубинного шлифования ($t = 2,5$ мм) ст.Х6ВФ (HRC 61-63), сталей Х12М и 95Х18 (HRC 56-60) с повышением производительности в 3-5 раз и снижением шероховатости на 2 класса по сравнению с фрезерованием.

Мелкоразмерный шлифовальный инструмент из гексанида-А ($\phi 10-30$ мм) на керамической связке не уступает кругам из эльбора на керамической связке.

Таким образом, из приведенных данных видно, что сверхтвердые материалы на основе вюрцитного нитрида бора практически не уступают сверхтвердым материалам на основе кубического (сфалеритного) нитрида бора, а по такому важному параметру как ударная прочность даже превосходят, что позволяет надеяться на дальнейшее расширение сферы применения поликристаллических сверхтвердых материалов на основе вюрцитного нитрида бора в качестве лезвийного и абразивного инструмента.

Список литературы

1. Верещагин Л.Ф. и др. Патент ФРГ № 2235240, СОI 2I/06, 22.02.1973г.
2. Алексеевский В.П., Бочко А.В., Джамаров С.С. и др. Способ получения компактного материала из нитрида бора. А.с. 483345 СССР, МКИ СОI 2I/06, опубл. в Б.И. 1975г., № 33.
3. Corrigan F.R., Bandy F.P. Direct transitions among the allotropic forms of boron nitride at high pressures and temperatures. J.Chem.Phys. 1975, 63, N II, p.3812-3820.
4. Araki M., Wurzin (wBN) tool. Preprint Nippon Oie and Pate Co. LTD, 1982, 17p.
5. Араки М., Саваока А. Режущие многогранные пластины из вюрцитного нитрида бора. "Kogē Kаяку Kёкайси", 1983, 44, № 4, с.230-235.
6. Григорьев О.Н., Джамаров С.С., Трефилов В.И. и др. Изменение структурного состояния и механических свойств поликристаллов при термообработке. Порошковая металлургия, 1981г. № I, с.53-61.
7. Федосеев Д.В., Новиков Н.В., Вишнеvский А.С. и др. Алмаз. Справочник. Киев : Наукова думка, 1981, 76с.
8. Хирт Д., Лоте И. Теория дислокаций. М : Мир, 1972, 599с.
9. Лысанов В.С. Эльбор в машиностроении. Л. : Машиностроение, 1978г., 280с.
10. Сен-Пьер П.Д.С. Разработка сверхтвердых абразивных материалов. В кн.: Синтетические алмазы в промышленности. Киев : Наукова думка, 1974г., с.18-21.
11. Францевич И.Н., Гнесин Г.Г., Курдюмов А.В. и др. Сверхтвердые материалы. Киев : Наукова думка, 1980, 296с.
12. Карюк Г.Г., Бочко А.В., Мойсеенко О.И. и др. Высокопроизводительные инструменты из гексанита-Р. Киев : Наукова думка, 1985, 136с.
13. Pipkin N.J., Roberts D.S., Wilson W.I. Amborite - a remarkable new cutting material from De Beers. Industrial Diamond Review, 1980, I, p.203-206.
14. Tabuchi, A.Hara, S.Yazn at all. Performance of "Sumiboron BN 2006". Sumitomo Electric Technical Review. 1978, N 18, p.57.

К НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ППС

Ким В.А., Ташкентский машиностроительный институт, СССР.

Тимофеев С.М., Ташкентский машиностроительный институт, СССР.

Развитие обработки материалов резанием представляется как борьба приоритетов станкостроения и инструментального производства. В эволюции этого процесса долгое время качество производимого инструмента обеспечивало перспективу развития станкостроения и удовлетворяло все требования машиностроения. Однако на современном этапе выпускаемый инструмент зачастую не соответствует требованиям по производительности и качеству механической обработки, не способствует реализации всех возможностей высокопроизводительного технологического оборудования и становится тормозом в модернизации средств производства. Острота этой проблемы усугубляется возрастающим дефицитом основных компонентов инструментальных материалов и повышением объёма использования в машиностроении жаропрочных и труднообрабатываемых материалов.

Появление высокоэффективных, но дорогостоящих гибких производственных систем /ППС/ резко ужесточило требования, предъявляемые к эксплуатируемому на них инструменту. Так помимо высокой стойкости режущий инструмент для ППС должен обладать повышенной стабильностью и надёжностью. Это связано с тем, что процесс износа инструмента характеризуется отсутствием строгих функциональных связей, однозначно определяющих степень его затупления, что в свою очередь затрудняет создание устройств для поднастройки системы резания. Попытка же

создания систем активного контроля состояния инструмента пока представляются дорогими, ненадежными и неудобными в практическом использовании, поэтому вопрос надёжности режущего инструмента, эксплуатируемого на ППС, решается путём занижения режимов резания, приводящих в конечном итоге к падению экономической эффективности работы дорогостоящего оборудования.

Определённый резерв повышения стабильности затупления и надёжности работы режущего инструмента заложен в самом механизме износа, а именно в процессе приработки, в период когда осуществляется формирование вторичных контактных структур, максимально приспособленных к заданным режимам эксплуатации. Свойства этих структур в значительной степени определяются режимами контактного взаимодействия, при этом всегда можно найти такие условия, когда сформированные вторичные структуры будут по прочности и износостойкости превосходить исходную. В трибонике этот процесс называется структурной приспособляемостью, а сами структуры именуются диссипативными.

Согласно феноменологической термодинамической модели контактного взаимодействия при резании интенсивность износа инструмента в период приработки описывается соотношением [1]:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{d}{dt}(\rho - \mathcal{U}) \dots I.$$
$$\left(\frac{\partial \mathcal{U}}{\partial M} \right)_t + \frac{\partial}{\partial M} \left(\frac{d\mathcal{U}}{dt} \right)$$

где $\frac{dM}{dt}$ - интенсивность массового износа инструмента,
 ρ - нетепловая составляющая энергодолговесности процесса контактного взаимодействия,

\mathcal{U} - внутренняя энергия, поглощаемая контактным

объёмом инструмента,
 $\left(\frac{\partial U}{\partial M}\right)_H$ - химический потенциал контактных структур инструмента.

Химический потенциал является энергетическим критерием износостойкости и прочности контактных структур и достигает максимума в процессе приработки инструмента в определённых оптимальных условиях. С физической точки зрения поглощение упругой внутренней энергии осуществляется за счёт повышения плотности дефектов кристаллического строения, поэтому поиск оптимальных режимов приработки можно осуществлять исходя из теоретических положений деформационного упрочнения. Оптимальные режимы предварительной приработки инструмента с этой точки зрения соответствуют максимуму напряжений на контактных участках при температуре не превышающей рекристаллизационную материала инструмента.

Варьированием режимами резания не всегда удаётся выйти на оптимальные условия структурной приспособляемости инструмента. В частности это имеет место при обработке конструкционных сталей и сплавов повышенной обрабатываемости. Поэтому для повышения эффекта упрочнения рабочих поверхностей инструмента предварительную приработку его можно осуществлять на специально подобранном для этого обрабатываемом материале повышенной твердости, но с учётом, что истинное соотношение твердостей контактирующих материалов должно удовлетворять условию формоустойчивости режущего клина [2].

При наличии на рабочих поверхностях инструмента износостойких покрытий на деформационный механизм структурной приспособляемости накладываются трибофизические явления, связа-

нные с миграцией отдельных элементов из покрытия в инструментальную матрицу и наоборот. Суммарное значение химического потенциала в этом случае опишется соотношением

$$M = \left(\frac{\partial u}{\partial M}\right)_H + \left(\frac{\partial u}{\partial M}\right)_T + \frac{\partial}{\partial M} \left(\frac{du}{dt}\right) \dots 2.$$

где $\left(\frac{\partial u}{\partial M}\right)_T$ - химический потенциал покрытия.

Таким образом, предварительная приработка инструмента является одним из способов повышения эффективности износостойких покрытий, которые в свою очередь представляются не просто экранирующим слоем между обрабатываемым и инструментальным материалами, а активной составляющей системы контактного взаимодействия, играющей важную роль в процессах структурной приспособляемости. Действительно, как показали лабораторно-производственные исследования эффект от предварительной приработки на инструментах с износостойким покрытием в 2,0...2,5 раза выше чем на обычных.

Структурная приспособляемость инструмента как проявление фундаментальной закономерности самоорганизации термодинамически открытой системы, каковой является зона контактного взаимодействия при резании, формирует поверхностные структуры с более стабильными свойствами. Теоретические аспекты процесса самоорганизации при трении убедительно освещены в работе [3]. Стабилизация всех кинетических процессов является основной идеей самоорганизации. Выполненные нами экспериментальные исследования подтверждают данное положение и применительно к износу инструмента. Так приработка червячных фрез повышает стабильность износа и надёжность работы в 1,75...2,0 раза, а токарных резцов в 2,5...3,0 раз.

Итак, практическая реализация структурной приспособляемости осуществляется путём предварительной приработки инструмента на технологически заниженных режимах резания, но оптимальных с точки зрения формирования износостойкой и прочной контактной поверхности. Продолжительность процесса предварительной приработки не должна превышать период начального износа и составляет в среднем 5...10 минут. В дальнейшем инструмент эксплуатируется на рабочих режимах резания.

В условиях ППС предварительную приработку инструмента можно осуществлять следующими способами:

1. Совмещение предварительной приработки инструмента с основной технологической операцией.
2. Выполнение предварительной приработки инструмента на этапе настройки его на размер и обработке контрольной детали.
3. Организация предварительной приработки на отдельном участке с последующей загрузкой ими инструментальных магазинов.

Первые два способа требуют минимальных материально-технических затрат и легко реализуются на любом предприятии. Согласно первой схемы предварительную приработку можно предусмотреть в самом начале управляющей программы, каждый раз обращаясь к ней при замене инструмента. По второму варианту качество приработки во многом будет зависеть от квалификации рабочего. Однако первые два способа не дают возможности в полной мере реализовать все резервы предварительной приработки, так как оптимальные условия структурной приспособляемости определяются не только режимами резания, но и физико-механическими свойствами обрабатываемого материала.

При организации предварительной приработки на отдельном

специализированном участке обеспечивается более качественная приработка, а также осуществляется полный контроль и отбраковка всех инструментов. Для сокращения материально-технических затрат предварительную приработку инструмента можно совместить с черновой обработкой заготовок, используемых в дальнейшем на ППС.

Применение предварительной приработки инструмента на ряде Ташкентских машиностроительных предприятиях показало их эффективность, а в отдельных случаях и конкурентоспособность данного способа с традиционными технологиями упрочнения инструмента.

Литература

1. Якубов Ф.Я. Энергетические соотношения процесса механической обработки материалов.-Ташкент: "Фан", 1985, 104 с.
2. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента.- М.: Машиностроение, 1982, 320 с.
3. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах.- Киев: Техника, 1970, 375 с.

ОБ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПАХ ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ МЕХАНООБРАБОТКИ ДЛЯ ГПС

Королёв А.В., Саратовский политехнический институт, СССР
Болкунов В.В., Саратовский политехнический институт, СССР
Потапов В.В., научно-исследовательский институт, СССР.

Масштабы разработок и внедрения гибких производственных систем (ГПС) поставили перед технологами новые задачи, так как в большинстве своем ГПС получают малоэффективными и одной из основных причин этого является то, что в их основу закладываются традиционная технология и несовершенная методика создания и реализации технологических процессов. Полностью использовать потенциальные возможности ГПС и, тем самым, обеспечить их наибольшую эффективность можно только при условии, если техническое проектирование ГПС будет основываться на новых технологических концепциях. Данный вывод и послужил началом исследований авторов, в результате которых была разработана концепция гибкого технологического процесса [1], определены его основные свойства [2,3] и предложена оригинальная методика построения технологического процесса механообработки для ГПС из законченной системы унифицированных технологических элементов [4].

Высокая степень гибкости производственной системы обеспечивает уменьшение длительности производственного цикла изготовления изделий, оперативный переход к выпуску новых изделий, снижение затрат на незавершенное производство, согласование сроков изготовления со сроками поставки и улучшение других показателей эффективности производства. Гибкость системы проявляется в её способности эффективно функционировать при различных внешних и внутренних изменениях. Первые связаны с запуском в производство новых изделий, изменением серийности и партионности выпуска изделий, их приоритетности изготовления, требований к точности и качеству выпускаемых изделий и др. Вторые определяются отказами технических устройств системы, неполадками и сбоями в системах обеспечения вследствие ограниченности ресурсов и недостаточной надежности, отклонениями во времени обработки из-за несбалансированности производственной мощности и т.п.

Способность ГПС учитывать возможные изменения и эффективно при этом функционировать во многом определяется гибкостью технологии. Это свойство определяет комплексность решений, учитывающих особенности одновременного изготовления в ГПС определенного комплекта изделий, переналадки оборудования и транспортировку средств труда; многовариантность, обеспечивающая более полное использование технологических возможностей системы при изменении производственной ситуации; унификацию технологических элементов и решений.

Исходя из вышеприведенного, под гибким технологическим процессом (ГТП) будем понимать технологический процесс, предназначенный для изготовления всей номенклатуры изделий замкнутой производственной системы, синтезируемый из унифицирован -

ных технологических элементов и гибко перестраиваемый при изменении производственной ситуации, а также имеющий другие необходимые свойства, обеспечивающие стабильный и экономичный выпуск изделий в условиях стохастического характера производства. Как видно из определения, ГПС является унифицированным технологическим процессом, и в общей классификации технологических процессов он находится рядом с типовым и групповым технологическими процессами.

Анализ показал, что к основным свойствам ГПП относятся: автоматизируемость, универсальность, интегрируемость, устойчивость, инвариантность структуры и альтернативность. Рассмотрим более подробно два последних свойства. Инвариантность структуры - свойство ГПП, обеспечивающее возможность его построения и реализации из ограниченной и сравнительно узкой номенклатуры унифицированных технологических элементов. Альтернативность - свойство ГПП, обеспечивающее возможность рационального изменения состава, последовательности и параметров осуществления его отдельных элементов установов, позиций, технологических переходов и др. при изменении производственной ситуации на основе многовариантности технологических решений и динамического планирования рабочих технологических процессов (ГП). Последнее должно проводиться одновременно с оперативным планированием производства.

Рабочий ГП изготовления конкретного изделия в ГПС в этом случае будет зависеть не только от конструктивно-технологических свойств данного изделия, но и свойств других изделий, изготавливаемых в тот же плановый период времени, а также от производственных условий и величин производственных партий. Следовательно, он не может быть установлен заранее без учета сложившихся к моменту изготовления изделия производственной ситуации. Поэтому и должно осуществляться динамическое планирование рабочих ГП.

Альтернативность ГПП может быть реализована на операционном и маршрутном уровнях. Наличие свойства операционной альтернативности позволяет менять ГПП по изготовлению деталей одного наименования и типоразмера с применением различных средств технологического оснащения приспособлений, режущего и вспомогательного инструмента, широкого диапазона режимов резания, различной последовательности выполнения работ. На уровне производственного участка возможно использование свойства маршрутной альтернативности, частными случаями которой является альтернативность по многовариантности и альтернативность по последовательности выполнения ГПП. Проведенные машинные эксперименты с использованием имитационной модели позволили определить влияние развития свойств альтернативности на сокращение длительности производственного цикла. В отдельных случаях длительность производственного цикла сокращалась на 40%.

Другим преимуществом использования свойства альтернативности является расширение возможности приоритетности изготовления изделий без существенного снижения технико-экономических показателей работы ГПС. Во многих случаях практически легко может быть реализовано такое свойство маршрутной альтернативности, как альтернативность по последовательности выполнения ГПП. При этом возможны две области использования данного

свойства:

- возможность резервирования или замещение технологической операции в случае отказа технологического оборудования или другой нестандартной ситуации;

- сокращение величины производственного цикла на основе анализа совмещения операций при параллельно-последовательном изготовлении изделий. У единичного ТП могут быть достаточно развиты только свойства автоматизируемости, интегрированности и устойчивости и то лишь в условиях массового производства. В среднесерийном и мелкосерийном производстве и свойство автоматизируемости у единичного ТП реализовать очень сложно из-за необходимости частой переналадки технологического оборудования. Типовой и групповой ТП имеют более развитые свойства, но все же это "жесткие" ТП, так как у них, как правило, слабо развиты свойства универсальности и инвариантности, а свойство альтернативности вообще отсутствует. Это связано с тем, что номенклатура изделий, для изготовления которых они предназначены, обычно существенно меньше номенклатуры замкнутого производственного участка, а перестройка ТП при изменении производственной ситуации, например, поломки технологического оборудования, отсутствие требуемого инструмента, неподачей вовремя заготовок и т.д. весьма затруднена. Это и приводит к большим потерям времени при их применении в условиях ППС.

Построение ГТП начинается с анализа возможной номенклатуры изготавливаемых изделий на данном замкнутом производственном участке, затем определяются возможные виды заготовок и, что особенно важно, устанавливается рациональная система унифицированных технологических элементов УТЭ, необходимая и достаточная для реализации возможности изготовления любого из рассматриваемых изделий.

Система УТЭ строится на основе классификации технологических переходов по определенным признакам. Все эти признаки разделены на фиксированные, т.е. заданные однозначно, и ограничительные, т.е. заданные с указанием возможных предельных значений параметров. К фиксированным признакам относятся технологическая база, вид поверхности или сочетания поверхностей, обрабатываемых механической обработкой или соединяемых, и кинематика осуществления перехода. К этим же признакам могут относиться вид технологического оборудования, режущий инструмент со всеми его заданными геометрическими параметрами. Но эти же признаки могут быть и ограничительными, если для осуществления данного УТЭ предполагается использовать различное технологическое оборудование, режущий инструмент, а заготовка изготавливается из разных материалов. УТЭ содержит все другие необходимые для его реализации признаки: размеры деталей, показатели качества обрабатываемой поверхности, погрешность взаимного расположения поверхностей и т.д., а также математическую модель для параметрической оптимизации условий осуществления технологического перехода и часть управляющей программы для станка с ЧПУ. Таким образом, каждый УТЭ может гибко использоваться для изготовления всех деталей и в разных условиях.

Система УТЭ разрабатывается на основе передовых достижений науки и техники, передового производственного опыта и играет ту же роль, что и типовые ТП.

На втором этапе создания ГТП анализируются возможные слу-

чайные потоки УТЗ через производственную систему. Определяются рациональный состав технологического оборудования, средств технологического оснащения, рациональная планировка производственного участка, рациональные потоки изделий через участок. Таким образом, в отличие от традиционных методов проектирования ТП предлагаемый метод позволяет тесно увязать построение ГПП с планировкой производственного участка и учитывает возможные действия случайных факторов, в том числе поломку оборудования, не подачу вовремя заготовки, инструмента, оснастки и т.д. Это повышает надежность производственной системы. Кроме того на этом и предшествующем этапе ГПП строится не для каких-то определенных групп изделий, а сразу для всех изделий, изготавливаемых на данном производственном участке, что упрощает процесс проектирования и позволяет решать оптимизационные задачи.

На третьем заключительном этапе проектирования ГПП в зависимости от изготавливаемой в данный период времени номенклатуры изделий, наличия исправного технологического оборудования, инструментов и т.д. конкретизируется состав УТЗ, определяются их рациональные последовательность и условия осуществления и таким образом решаются ситуационные технологические задачи, в результате чего определяется конкретный технологический маршрут каждого изделия через производственную систему. В зависимости от производственной ситуации технологический маршрут одного и того же изделия в разные сроки изготовления может быть различен. В этом и проявляется свойство альтернативности ГПП.

Практическая реализация концепции ГПП позволяет:

1. Тесно связать создание ТП изготовления изделий с рациональным построением производственного участка, учесть действие случайных факторов, что повышает надежность производственной системы.
2. Строить рабочие ТП с учетом сложившейся в данный момент времени производственной ситуации и оперативно их перестраивать при изменении этой ситуации, что существенно сокращает непроизводственные затраты времени и средств.
3. Создать эффективную систему автоматизированного планирования технологического процесса и осуществить на её основе построение интегрированной производственной системы.

Список литературы

1. Королёв А.В., Бржозовский Б.М. Гибкие технологические процессы - основа развития ГАП второго поколения // Чистовые и отделочные методы обработки: Межвуз. науч. сб. Саратовский политехнический институт 1985, с. 20 - 24.
2. Беляков Н.В., Болкунов В.В., Королёв А.В., Кудашев В.Я. Оценка гибкости технологических процессов, реализуемых в ГПС // Прогрессивная технология в ГПС. Материалы краткосрочного семинара 20-21 ноября ДДНП. Л. 1987. с. 32 - 36.
3. Системы производственные гибкие. Требования к технологическим процессам и оценка их эффективности. ММ 18027-88.
4. Системы производственные гибкие. Правила проектирования многономенклатурных технологических процессов из унифицированных

технологических переходов. ММ 18026-88

5. Королёв А.В., Болкунов В.В. Совершенствование методов проектирования техпроцессов в ГАП. / Обзорная информация М.: ВНИИТЭРМ, вып. I, 1989.- 84 с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
БРУСКОВОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Королёв А.В., Саратовский политехнический институт, СССР
Давиденко О.Ю., Саратовский политехнический институт, СССР
Чистяков А.М., Саратовский подшипниковый завод, СССР

Для существенного повышения эффективности функционирования гибких производственных систем важным условием является их построение не на старой технологической базе, как это делается до сих пор, а на принципиально новой основе, включающей создание универсальных методов обработки, наилучшим образом отвечающих специфике гибких производств, разработку гибких технологических процессов и реализующего их оборудования [1].

Такой подход к рассмотрению технологических аспектов проектирования гибких автоматизированных производств (ГАП) актуален для самых различных видов обработки. Однако степень его актуальности, безусловно, неодинакова. В частности, применяемые в настоящее время методы токарной, фрезерной, сверлильной и шлифовальной обработки в большинстве своем не требуют глубокой модернизации с целью их эффективного использования в условиях ГАП. Это, в определенной мере, обусловлено тем, что при обработке различных по форме и размерам поверхностей деталей, комплекс рабочих движений заготовки и инструмента, а также исполнительных органов оборудования практически не меняется, а изменяются лишь условия и режимы обработки, и в некоторых случаях инструмент. Таким образом, перечисленные выше методы механической обработки, а также разработанные на их основе технологические процессы, обладают такими важными свойствами, как универсальность, автоматизируемость и устойчивость, являющимися непременным условием высокой эффективности гибких производств.

Что касается финишных методов обработки, необходимость которых при изготовлении прецизионных деталей очевидна, то проблема использования их в условиях ГАП наиболее актуальна.

Традиционные методы окончательной обработки, такие как суперфиниширование или хонингование, нашедшие широкое применение в обычных производствах, мало эффективны, а часто просто не пригодны для использования в гибких производственных системах.

Низкая производительность, сложность наладки, отсутствие элементов универсальности и технологической гибкости делает практически невозможным создание на основе классических способов доводочного оборудования для гибких автоматизированных производств.

Особую остроту указанная проблема может приобрести в подшипниковом производстве, для которого характерна широкая номенклатура выпускаемой продукции и весомая доля доводочных операций в общем технологическом цикле изготовления изделий.

Технологические особенности классических методов брусковой доводки таковы, что для обработки различных по конфигура-

ции поверхностей требуются специальные способы доводки, отличающиеся друг от друга кинематикой перемещения инструмента, строго обусловленной формой и размерами обрабатываемых поверхностей. Так, при обработке вогнутых поверхностей, таких например, как желоба колец шариковых подшипников, брусок совершает осциллирующее качательное движение вокруг оси, совмещенной с центром кривизны обрабатываемого профиля. Поверхности с прямой линейной образующей требуют возвратно-поступательного движения инструмента вдоль оси вращения заготовки. Иная форма профиля детали, например сферическая вогнутая или выпуклая, предусматривает соответствующий, присущий только этой форме, комплекс рабочих движений инструмента. Такое разнообразие методов обработки предполагает создание специального оборудования, применение которого в условиях ГАП крайне затруднительно. Поэтому, необходимо разработать такие методы брусковой доводки, которые, обладая свойствами автоматизируемости, интегрируемости, устойчивости, универсальности и альтернативности, обеспечивали бы высокую эффективность работы в составе ЛПС [2].

В качестве примера, показывающего правомерность такого подхода, проведем сравнительный анализ традиционного метода доводки и предложенного авторами [3,4].

На рис. 1 показана классическая схема выполнения технологической операции доводки дорожек качения колец шариковых подшипников. Абразивный брусок 1 прижимается с силой P к дорожке качения вращающегося с частотой n_1 кольца 2 и осциллирует с частотой n_2 вокруг оси $O_ж$ желоба.

Можно показать, что этот технологический процесс (П) не обладает свойством автоматизируемости, так как каждое кольцо 2 практически имеет свою ось $O_ж$ желоба и вследствие этого трудно создать какое-то автоматическое устройство, обеспечивающее совпадение оси осцилляции бруска 1 с этой осью. Слабо у этого П развито и свойство интегрированности, так как при доводке по такой схеме брусок быстро засаливается, режущие его свойства невысоки, и для обеспечения требуемого качества требуется выполнение нескольких подобных операций. По этой же причине данный процесс очень чувствителен к качеству предшествующей обработки, вследствие чего у него слабо развито свойство устойчивости. Отсутствуют свойства универсальности и альтернативности, так как данный процесс предназначен только для обработки колец шариковых подшипников при определенном режиме осуществления.

На рис. 2а показана предложенная авторами более рациональная схема осуществления П доводки [3,4]. Сущность его заключается в том, что два, три или большее количество абразивных брусков 1 закрепляются на оси $O_б$ в головке 2 и от специального механизма (на рис. 2а не показан) подводятся с ограниченной подачей S к обрабатываемой поверхности кольца 3, вращающегося с частотой n_1 . Между всеми брусками 1, головкой 2 и заготовкой 3 обеспечивается силовое замыкание. Кроме того, су- перфинишной головке сообщается осциллирующее движение вдоль оси вращения кольца с частотой n_2 .

Анализ этого П показывает, что он обладает свойством автоматизируемости, так как бруски 1 при осциллирующем движении головки 2 вращаются вокруг оси желоба, а вокруг собственной оси $O_б$ и для наладки технологического оборудования достаточно

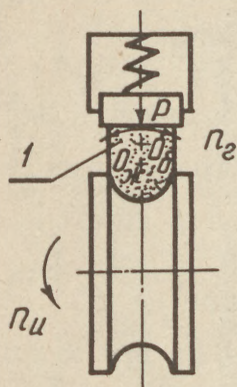


Рис. 1. Классическая схема доводки дорожек качения колец шарикоподшипников

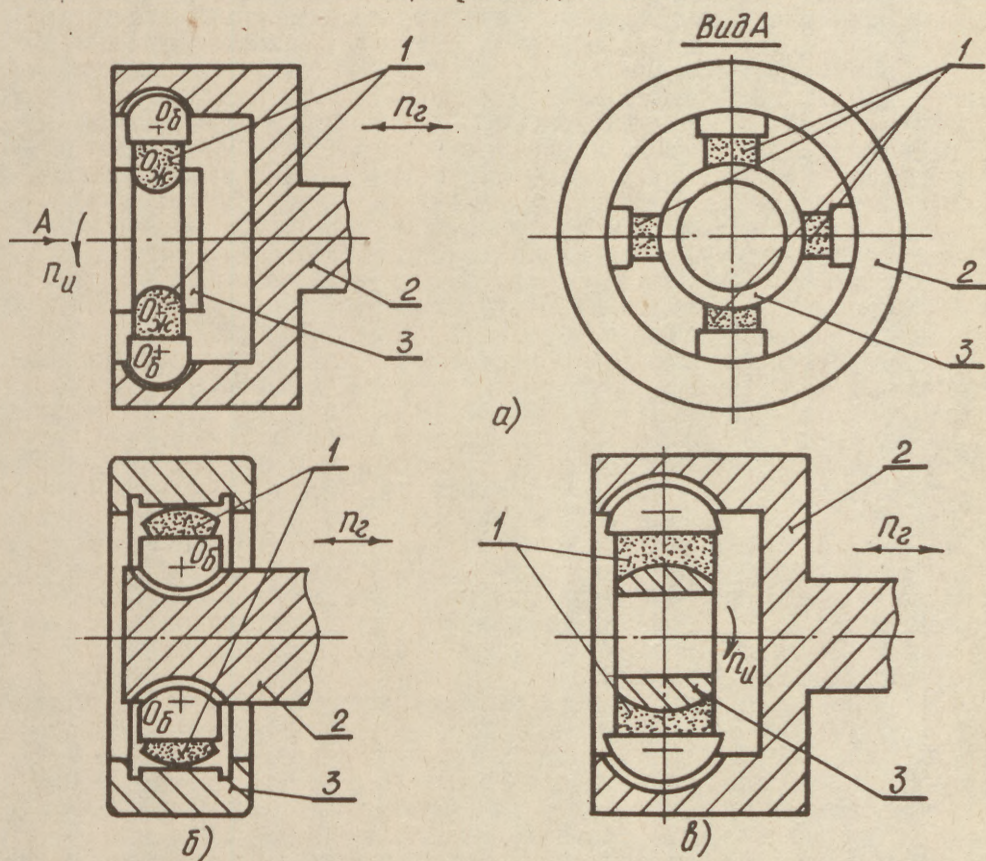


Рис. 2. Схемы многобрусковой доводки рабочих поверхностей колец подшипников: а) шариковых; б) роликовых; в) шаринирных

установить простое автоматическое устройство для замены из соответствующего магазина инструмента нужной суперфинишной головки. Достаточно развито у этого ТП и свойство интегрированности, так как бруски I при каждом крайнем положении головки 2 отрываются от обрабатываемой поверхности, очищаются от стружки и шлака, чем обеспечивается их высокая режущая способность и возможность доводки в один технологический переход. В связи с высокой режущей способностью брусков данный ТП слабо чувствителен к качеству предшествующей обработки, и следовательно, у него развито свойство устойчивости. Кроме того, у данного ТП значительно развиты и свойства универсальности, и свойство альтернативности, так он может использоваться для обработки широкой номенклатуры деталей и при разных условиях осуществления.

На рис. 2б показана схема обработки указанным способом колец шарнирных подшипников, на рис. 2в - дорожек качения колец роликовых подшипников. При обработке колец роликовых подшипников возможно эффективное профилирование обрабатываемой поверхности. Для этого необходимо обеспечить переменный в пределах одного рабочего хода инструмента режим его взаимодействия с заготовкой. Изменяя, либо скорость перемещения бруска, либо его давление на обрабатываемую поверхность в различных точках профиля, можно управлять величиной снимаемого припуска на любом его участке, формируя требуемую геометрическую форму образующей. Так, задавая равномерный закон перемещения бруска, можно обрабатывать профиль с прямолинейной образующей, обеспечивая синусоидальный закон изменения скорости инструмента, формируется выпуклый профиль обрабатываемой поверхности.

Таким образом, предлагаемый метод существенно расширяет технологические возможности брусковой доводки и является наиболее приемлемым для использования в условиях ГАП.

Для иллюстрации технологических возможностей рассматриваемого метода приведем некоторые результаты экспериментальных исследований. Так, на рис. 3а представлены зависимости величины снимаемого припуска φ , шероховатости R_a , отклонений от круглости $\Delta_{кр}$ и волнистости W_z обработанной поверхности от частоты осцилляции инструментальной головки $\rho\delta$ и давления брусков P_b при доводки желобов колец шариковых подшипников. А на рис. 3б приведены аналогичные зависимости, полученные при обработке дорожек качения роликоподшипников. Как видно из рисунков в том и другом случае во всем диапазоне изменения режимов обработки обеспечивается высокая производительность и точность доводки, которые в 1,5 - 4 раза выше, чем при обработке традиционными способами.

На рис. 4 приведены зависимости, которые хорошо иллюстрируют возможности предлагаемого метода в области рационального профилирования обрабатываемой поверхности. Здесь показан характер изменения величины выпуклости δ и показателя формы ρ обрабатываемого профиля в зависимости от режимов обработки. Из рисунка видно, что задавая определенные значения амплитуды $A\delta$ и частоты осцилляции инструментальной головки, можно получать различные по форме и величине выпуклости профили, что невозможно при обработке классическими методами.

Таким образом, выполненные авторами экспериментальные и теоретические исследования механизма формообразования обраба-

W_z
МКМ
1,15
0,12
0,10
0,07
0,05
0,02
Р
Р

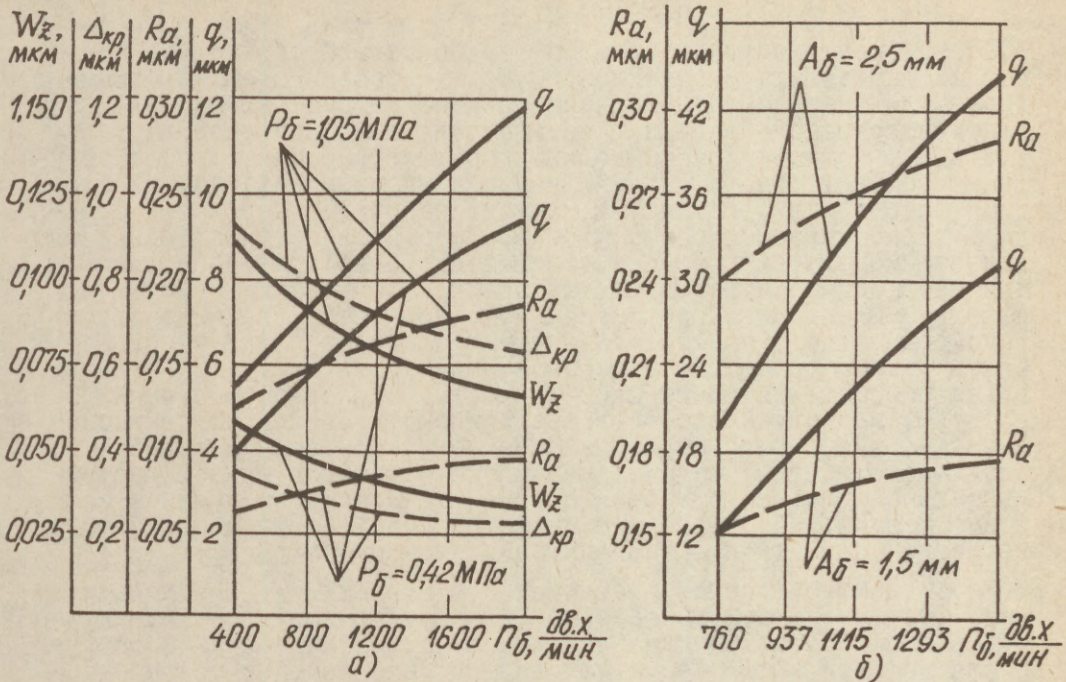


Рис. 3. Зависимости параметров обработки от режимов многобрусковой доводки рабочих поверхностей колец подшипников: а) шариковых, б) роликовых

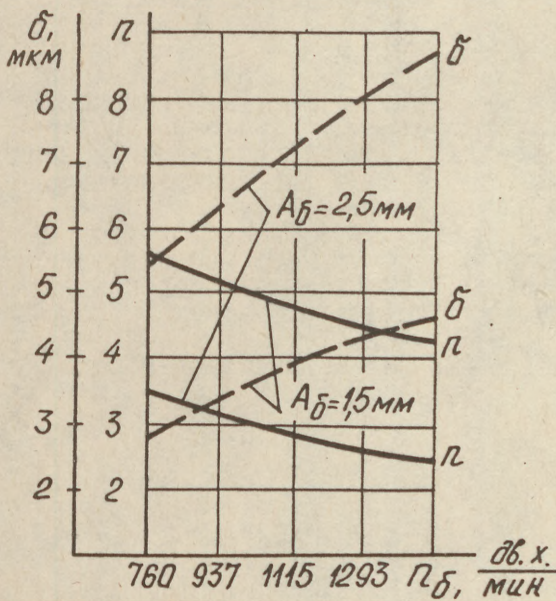


Рис. 4. Зависимости параметров формы профиля дорожек качения колец роликоподшипников от режимов многобрускового

тываемой поверхности в процессе ее брусковой обработки, позволили определить ряд технологических особенностей, которыми должны обладать методы абразивной доводки с целью наиболее эффективного использования в интегрированных производствах.

1. С целью повышения производительности обработки за счет улучшения условий отвода стружки и шлама из зоны резания, необходимо обеспечить прерывистый контакт рабочей поверхности бруска с обрабатываемой поверхностью. Требуется создать такие условия взаимодействия бруска с заготовкой, которые позволили бы при необходимости регулировать время контакта инструмента с отдельными зонами обрабатываемой поверхности, управлять величиной снимаемого припуска на любом участке профиля и осуществлять таким образом прецизионное профилирование.

2. Для обеспечения повышенной точности в поперечном сечении заготовки, наиболее целесообразно применять многобрусковую схему обработки с силовым замыканием между брусками и обрабатываемой поверхностью, за счет установки брусков в единой инструментальной головке с жесткими кинематическими звеньями в механизме подачи. Использование многобрусковой схемы позволяет также резко повысить и производительность обработки.

3. Необходимо обеспечить рациональную кинематику перемещения инструмента, дающую возможность без трудоемкой переналадки оборудования обрабатывать различные по форме и размерам поверхности деталей и не требующую сложных механизмов и устройств для ее осуществления.

Этими свойствами в полной мере обладает предложенный авторами способ доводки показанный на рис. 2.

Список литературы

1. Королёв А.В., Болкунов В.В. Совершенствование технологических процессов в ГАП. - М., :ВНИИТЭМР, 1989. - вып. I. - 80 с.
2. Давиденко О.Ю., Елисеев А.Ю. Повышение гибкости технологического процесса доводки дорожек качения подшипников // Гибкие технологические процессы и системы в механооборочном производстве: СПН. - Саратов, 1988. - С. 25-28.
3. Давиденко О.Ю., Гуськов А.В. Способ брусковой доводки с повышенной универсальностью и технологической гибкостью. // Тез. докл. Всесоюз. науч. конф. "Состояние и перспективы развития ПС механообработки в условиях хозрасчета и самофинансирования" 25-26 июля 1989 г. - Ижевск, 1989. - с. 30
4. А. с. II99593 МКИ В24В. Способ чистовой обработки /А.В. Королёв СССР

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ В САПР НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Лукашевич В.П., НПО ВНИИГИДРОМАШ, СССР

Купреев Н.П., НПО ВНИИГИДРОМАШ, СССР

Начальный этап применения ЭВМ в проектировании насосов

Расширение использования систем автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства является характерной чертой современного машиностроения. Если на начальных стадиях своего развития САПР были доступны только для крупных авиастроительных и автомобильных фирм, то в настоящее время в связи со значительным снижением стоимости технических и программных средств это стало возможным для фирм малого и среднего размера.

Применение ЭВМ в насосостроении началось с решения расчетных задач из области гидравлики и прочности. Были разработаны пакеты программ расчета трех- и двумерного потока жидкости через рабочие колеса и направляющие аппараты динамических насосов. Расчеты были построены на основе метода интегральных уравнений, а в последующем на основе метода граничных элементов. Были запрограммированы осесимметричные методы расчета напряженного состояния в деталях насоса, динамические расчеты. В последующем были разработаны пакеты программ расчета осевых и радиальных сил, а также течения в торцевых и сальниковых уплотнениях. Однако указанные программы решали малую часть из всего объема задач, возникающих в процессе проектирования насоса, и применялись в основном на заключительных стадиях проектирования насоса.

Следующую группу решаемых на ЭВМ задач образовали так называемые проектировочные задачи, для которых существовали в ручном проектировании насосов полуэмпирические методики и в результате решения которых рассчитывались геометрические параметры, определяющие геометрические формы элементов насоса. Такими элементами являются: рабочие колеса, направляющие аппараты, отводы и подводы.

В процессе перевода на ЭВМ задач данной группы возникли три проблемы.

Расчитанные геометрические параметры должны быть отображены в виде чертежа с помощью графопостроителя. При этом возникла необходимость программирования построения чертежей, что в общем случае связано с большими трудностями, преодоление которых шло по пути создания специализированных графических языков типа *GRAFOR*, также типизации выходных чертежей.

Для правильного выбора коэффициентов, используемых в полуэмпирических методиках, а также оценки результатов проектирования по этим методикам, потребовалось оперативное отображение промежуточных и окончательных результатов в графической форме на экране графического дисплея. Последнее стало возможным в результате использования средств интерактивной машин-

ной графики и графических рабочих станций.

Получаемые геометрические параметры не определяют полностью форму геометрии проектируемого элемента (например, при расчете рабочего колеса центробежного насоса лопасть устанавливается только в расчетных сечениях, аналогично расчет спирального отвода определяет концевое и промежуточное сечения). В связи с этим возникает необходимость в разработке методов по доопределению геометрии проектируемого элемента, созданию для их представления математических моделей, обладающих определенными свойствами, в частности, имеющими явно выраженные параметры, которые определяются в полуэмпирических методах проектирования. Кроме того, указанные математические модели должны обладать возможностями эффективного управления формой элемента за экраном графического дисплея.

Применительно к элементам проточной части насосов подобная модель была построена на основе полигонных кривых (кривых Бизье) кусков поверхностей Кунса [1]. Методология построения моделей, алгоритмы и программы решения задач на этих моделях входят в состав нового научного направления "Машинная геометрия проточных частей насосов", основные проблемы которой были сформулированы в [2].

Результаты решения указанных проблем были положены в основу разработанных во ВНИИгидромаше программных систем для проектирования рабочих колес и спиральных отводов центробежных насосов. Следует сказать, что полуэмпирические методики проектирования были использованы фирмой NREC (США) при разработке программных систем проектирования рабочих колес компрессоров и газовых турбин [3].

На рисунках 1 и 2 представлены начальное меню по работе с программной системой проектирования рабочих колес центробежных насосов и чертеж с результатами проектирования спирального отвода средствами САПР. На рис. 3 представлена аксонометрия лопатки осевого насоса.

Автоматизация конструкторских работ в насосостроении

Накопленный в насосостроении опыт применения средств вычислительной техники, сокращение стоимости и увеличение расширения возможностей рабочих станций конструктора создали предпосылки автоматизации проектирования насоса целиком. Следует сказать, что данная проблема чрезвычайно сложна. С настоящее время отсутствуют сколь угодно надежные алгоритмы проектирования насосов, а разнообразие проблем, возникающих постоянно в связи с освоением насосостроением новых областей применения, не вселяют надежды в быстрое построение такого алгоритма. Сложности процесса проектирования насосов подробно рассмотрены в [4].

Один из возможных путей формализации, а этим самым, и автоматизации проектирования насосов, может быть построен на основе моделирования насоса.

Система знаний о насосе может быть разбита на предметные области, которые определяются физическими процессами, происхо-

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
РАБОЧИХ КОЛЕС ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

- 0 - ВЫХОД ИЗ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
- 1 - РАСЧЕТ ВЕРШИН ПОЛИГОНОВ ОСНОВНОГО И ПОКРЫВНОГО ДИСКОВ
- 2 - РАСЧЕТ КООРДИНАТ ЖИВОГО СЕЧЕНИЯ
- 3 - РАСЧЕТ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛОПАТКИ
- 4 - РАСЧЕТ ПОВЕРХНОСТИ ЛОПАТКИ
- 5 - ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ СРЕЗОВ
- 6 - ПОМОЩЬ

FIRST PAGE OF IMPELLER
DESIGN SCREEN DIALOG

Рис. 1

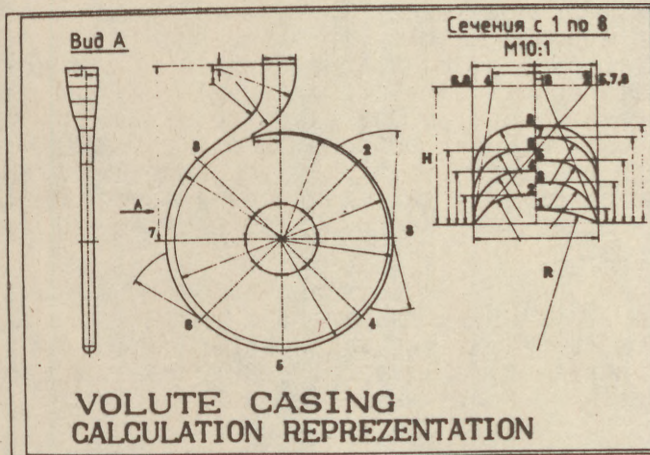


Рис. 2

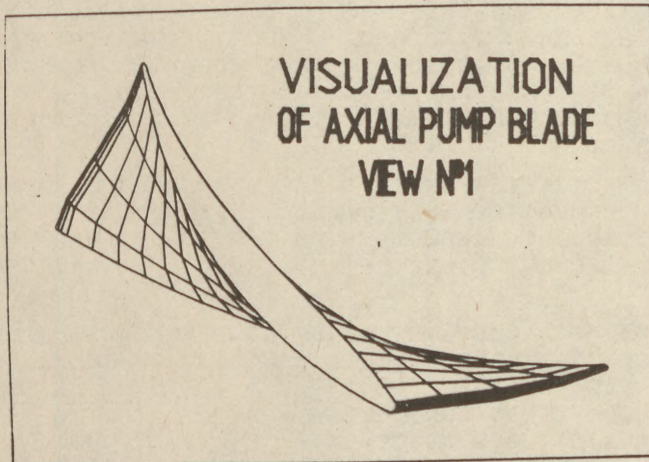


Рис. 3

дьями в проектируемом изделии. Один или несколько процессов называется главными (они определяют принцип действия изделия), другие - вспомогательными [5]. Особое место занимает геометрия изделия. Оптимальное протекание любого физического процесса определяется формой ограничивающих поверхностей. Например, уменьшение утечек по валу достигается выбором определенной формы уплотняющих поверхностей. Такие поверхности называются функциональными. Благодаря достижению научных дисциплин (гидравлики, гидродинамики и др.), накопленному опыту проектирования и экспериментальным исследованиям возможно по заданным условиям протекания процесса определить форму функциональных поверхностей. Следующей задачей является увязка этих функциональных поверхностей в единую конструкцию. Последняя должна удовлетворять множеству различных, порой противоречивых, требований, причем некоторые из них можно проверить только после полной проработки. Создание конструкции является одним из центральных творческих моментов деятельности конструктора. Как показывает практика, важным средством решения данной задачи является использование ранее разработанных конструкторских решений, представленных в виде чертежей. Это могут быть конструкции фирм-конкурентов, собственные ранее разработанные конструкции и др. По данным [6] 55% всех проектных работ, в металлообрабатывающих отраслях составляет доводочное проектирование. В этих условиях актуальное значение имеет классификация как элементов конструкции (насосов в целом, узлов и деталей насосов), так и отдельных конструктивных решений.

Благодаря применению САПР возможно автоматизировать поиск необходимых конструктивных элементов и решений, их видоизменения путем использования параметрического описания и операций сложения и вычитания, а также непосредственного изменения с помощью средств интерактивной машинной графики.

Создание системы классификаторов структурных единиц динамических насосов

Как отмечалось в нашей работе [7], создание классификаторов структурных единиц насосов - комплексная и трудоемкая задача, решение которой требует всестороннего анализа и переосмысления теорий и практики проектирования насосов с привлечением прикладного аппарата теорий системного и структурного анализа.

Декомпозиция конструктивных исполнений насосов. Создается система классификаторов следующих структурных единиц, на которые декомпозируется конструкция любого динамического насоса: агрегат (насос); узел; деталь; конструктивные элементы детали.

В основу принципов систематизации для различных структурных единиц насосов закладывались те или иные признаки, среди которых можно отметить:

- функциональный признак;
- признак полноты представления структуры;
- признак принципа действия;

- конструктивные признаки;
- технологические признаки;
- признак геометрической формы.

Классификатор конструкций насосов и выборка их базовых конструктивных исполнений. Классификация насосов велась с учетом функционально-конструктивного признака и признака полноты представления структуры. Для этого был проведен структурный анализ сборочных чертежей типовых представителей центробежных, диагональных и осевых насосов общепромышленного применения. В результате этого анализа все многообразие конструктивных исполнений насосов было разделено на тридцать пять больших групп, в число которых, например, вошли:

- одноступенчатые и многоступенчатые насосы с различным типом проводов и отводов;
- насосы с двойным и обычным подводом и горизонтальным и вертикальным разъемом;
- моноблочные, герметичные, сегментные, ... ;
- консольные насосы с различным типом стоек.

От каждой из этих тридцати пяти групп насосов было выделено в базовую выборку по одному представителю с учетом признака полноты представления структуры. На базе этой выборки параллельно и независимо проводились классификации деталей и узлов насосов.

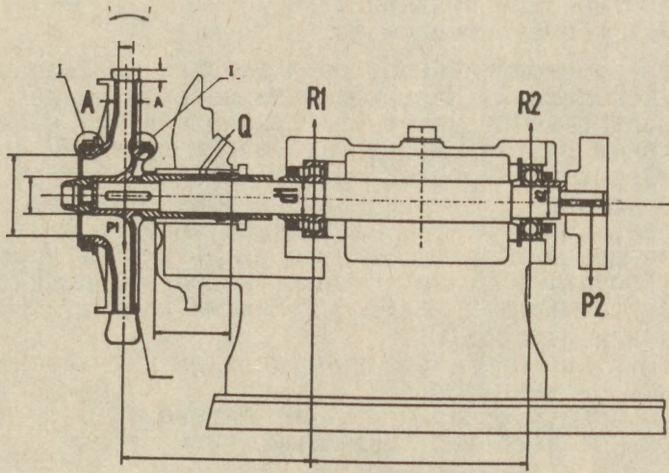
Классификатор узлов динамических насосов. Классификатор узлов создается по комплексному критерию с учетом функционального и конструктивного признаков и признака геометрической формы.

Объем классификатора - около 500 узлов. Каждый узел и деталь планируется связать с необходимым для них типом расчета: гидродинамическим, прочностным и т.п. На рис. 4 и 5 представлены, соответственно, сборки роторной группы и опорной стойки консольных насосов.

Классификатор узлов планируется завершить к началу 1991 года.

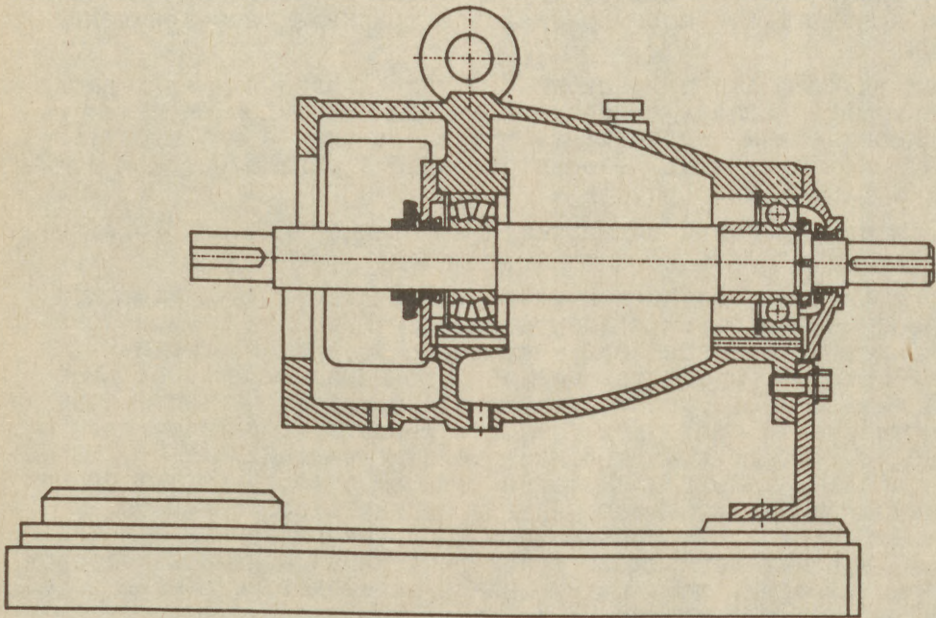
Классификатор деталей динамических насосов. Объем классификатора. Систематизация всех деталей из выборки по конструктивно-геометрическому признаку выделила восемь основных групп деталей. Представление об объеме классификатора дают следующие цифры. Группа корпусов содержит 100 единиц типовых представителей, роторная группа - свыше 80, подшипниковая - около 150. Всего в классификаторе содержится свыше 600 типовых деталей. Такого количества деталей достаточно, чтобы однозначно определить место каждой из них в соответствующей группе. Если местоположение в группе определять не одной деталью, а всеми возможными топологически подобными из базовой выборки насосов, то в полученном классификаторе семейств деталей их будет содержаться до двух тысяч единиц.

Каждая группа деталей разбивается, в свою очередь, на различное число подгрупп. Опыт показывает, что 10 подгрупп достаточно для представления основных топологических особенностей деталей, входящих в какую-либо группу.



ROTOR GROUPE ASSEMBLY

Рис. 4



BEARING, SHAFT AND CASING ASSEMBLY

Рис. 5

Пр
гр
рв
ле
по
ши
эв
Оп
че
де
к
Фс
эт
ну
ра
пу
ет
ре
ле
де
тс
12
Сл
1.
г

- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
- 7.

Примеры подгрупп. Группа корпусных деталей разбита на 7 подгрупп, в число которых входят: корпуса, полукорпуса, диффузоры. В роторной группе выделяются подгруппы: валы, рабочие колеса, уплотнительные кольца рабочих колес, втулки. В группе подшипников выделяются: собственно подшипники, корпуса подшипников, втулки подшипников, гильзы подшипников, детали смазки подшипников.

Описанное деление деталей насосов составляет верхний иерархический уровень классификации и служит иллюстрированным определителем для отнесения той или иной детали из сборок насоса к соответствующей группе или подгруппе.

Форма представления классификатора. Классификатор деталей - это альбом, каждый лист которого представляет собой клеточную матрицу размером 10x10, в некотором пространстве которой располагаются детали насосов, образующие ту или иную подгруппу. Деталь, занимающая какую-либо клетку в матрице, определяется тремя показателями: изображением, наименованием и четырехсимвольным кодом. Первый знак кода определяет группу деталей, второй - подгруппу, третий и четвертый - местоположение детали в матрице. Альбом, содержащий собственно классификатор деталей, составляет 55 листов, а с семействами деталей - 126 листов.

Список литературы

1. I. I. Lukashevich and N. I. Kupreev, Creation of computer description of the geometry of three-dimensional blades of centrifugal pumps for an automated pumps design system. Soviet Energy Technology. Allerton Press Inc., New York Number 9, 1978, pp. 22-27.
2. Лукашевич В. П. Задачи машинной геометрии и графики при автоматизации проектирования химических машин и аппаратов. Жур. "Химическое и нефтяное машиностроение" 6, 1984, стр. 12-13.
3. NREC Near Term CAE Development Plans Include Emphasis on Pump Tehnology, NREC NEWS Letter, vol. 2, Issue 1, Spring 1988
4. Franke H.-J.: Konstruktionsmetodik und Konstruktionspraxis eine kritische Bttrachtung. KSB Technischt Berichte, Heft 19 1985 s 17-23.
5. Лукашевич В. П., Системы автоматизации конструирования в машиностроении. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, Автоматизированные системы управления в химическом и нефтяном машиностроении, ХМ-15, 1983.
6. Klein, B.: CAD/CAM in Entwiklung, Konstruktion and Produktion.- DIMA (1985) 3, s. 15-18.
7. Купреев Н. И., Основные подходы к созданию САПР динамических насосов. Четвертое Всесоюзное Координационное Совещание по автоматизации проектирования в машиностроении. Материалы совещания. Часть 2, Минск, 1989, с. 82-83.

РАЗВИТИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ
РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ САПР

Мукосей В.И., Гос. институт азотной промышленности, СССР.

Десятилетний опыт разработки и внедрения САПР химических производств (САПР-ХИМ) показал, что адекватные инструментальные средства (ИС) позволяют значительно ускорить и облегчить эту деятельность [1,2]. Под ИС мы понимаем наборы программных средств, позволяющие полностью или частично автоматизировать различные этапы решения задачи на ЭВМ - разработку моделей, алгоритмов и программ, решение текущих проектных задач. Очевидно, что ИС для эксплуатации САПР - проблемно-ориентированные интерактивные интерфейсы - должны быть настроены на непрограммирующего пользователя. Однако под ИС для разработчиков обычно понимают средства для профессиональных пользователей ЭВМ. На примере комплекса ИС САПР-ХИМ покажем, что ИС в определённой проблемной области должны представлять развитый иерархический комплекс от базовых до прикладных систем с постепенным переносом ориентировки с профессионального пользователя ЭВМ, на непрограммирующего пользователя-проектировщика.

По классам решаемых задач ИС можно условно разделить на расчётно-логические, информационно-логические и графико-геометрические.

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИС ДЛЯ СЛОЖНЫХ РАСЧЁТОВ

Вычислительные задачи (и базовые ИС) в свою очередь обычно делятся на два класса: сложные специальные расчёты, опре-

деляемые спецификой проблемной области (проектируемых объектов), и относительно простые "инженерные" расчёты. При проектировании химических производств к первому классу относятся сложные аппаратурно-технологические и прочностные расчёты. Характер математических моделей здесь меняется от систем конечных линейных и нелинейных уравнений до краевых задач для нелинейных систем уравнений в частных производных или задач нелинейного функционального анализа. Исследование многочисленных примеров показывает, что базовая инструментальная система для решения этих задач должна содержать типовые средства для: решения систем нелинейных уравнений; организации итераций; линейных преобразований переменных для стыковки модулей; сервисной выдачи результатов и т.д., а также специализированные библиотеки программных модулей из пакета "научных" программ. Над базовым уровнем надстроено несколько уровней ИС прикладного типа: расчёта типовых процессоров и аппаратов-теплообменников, каталитических реакторов и т.п.; расчёта схем производств - аммиака, метанола, водорода, и др.; прогностных расчётов произвольных пространственных трубопроводов и т.д. Верхним уровнем является диалоговый интерфейс пользователя, содержащий: каталог программ; описания алгоритмов и методик, функциональных возможностей программ; образцы исходных данных и результатов и т.д. Конечно, средства ИС для сложных специальных расчётов в других проблемных областях будут иметь свою специфику, но иерархическая структура этого комплекса повидимому сохранится. Отметим, что базовые ИС реализованы как библиотеки и расширения базового языка программирования - ПЛ/I

для ЭВМ типа IBM-370 и СИ для персональных компьютеров.

ИС ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ.

Базовые ИС для других направлений - инженерных расчётов, информационно-логических и графико-геометрических задач обладают высокой степенью инвариантности по отношению к отраслевой специфике. Для информационно-логических задач - создание и сопровождение банков данных, информационно-логическая обработка данных, формирование и печать сложных табличных результатов - в настоящее время существует значительный набор средств - СУБД с их языками описания и манипулирования данными, крупноформатные электронные таблицы (*Spreadsheets*) и др. - на разных типах ЭВМ, хотя на ЕС ЭВМ пришлось разработать 7-10 лет назад специальные средства [1,2]. Однако, над этим нижним уровнем также целесообразно создавать ИС следующего уровня для более узких классов задач:

- генерации разных типов БД с большим количеством разнорядных структур (данные в нормах и правилах, стандартах и т.д.) или с малым количеством однородных структур - классификаторы, преискурранты и т.п.;
 - логико-арифметической переработки данных, получаемых из исходных данных и БД с использованием таблиц решений из норм и правил;
 - формирования выходных документов сложной табличной формы;
 - формирования и обработки потоков данных между отдельными подсистемами в интегрированной системе и т.д.
- ИС этого уровня уже в большей мере ориентированы на конечных пользователей, а не на разработчиков.

Верхним уровнем ИС здесь также является интерактивный интерфейс пользователя, взаимодействующий на основе лексики проблемной области с БД, средствами их сопровождения и корректировки и прикладными программами.

ИС ИНТЕРАКТИВНОЙ ГРАФИКИ

Базовые ИС интерактивной графики достаточно широко распространены на персональных компьютерах, в то время как на ЕС ЭВМ пришлось разрабатывать специальный пакет [3]. Подчеркнём основные требования к этим пакетам, вытекающие из практики:

- наличие средств параметрического описания объектов из БД типовых изображений;
- наличие удобных средств содержательной структуризации создаваемого изображения с возможностью доступа при редактировании к любому уровню структуры;
- наличие средств связи графической компоненты проектируемого объекта с другими компонентами САПР (расчёта, выбора оборудования и оформления спецификаций и т.п.).

На основе базового графического пакета создаются проблемно-ориентированные прикладные ИС, предназначенные для выполнения проектировщиками конкретных проектных работ - разработки схем, компоновки оборудования, конструирования и т.д. Наиболее важными общими требованиями к прикладным ИС являются: проблемно-ориентированный сценарий диалога черчения/проектирования; набор специальных макрокоманд - программ решения типовых задач; набор средств связи с другими подсистемами САПР данной предметной области; параметризованный каталог изображений типовых элементов. При этом непрограммирующий пользователь дол-

жен иметь возможность расширять набор макрокоманд и каталог изображений, создавать собственные меню, формировать новые интерфейсы для связи с другими подсистемами.

ИС ДЛЯ "ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЁТОВ"

Под инженерными расчётами мы понимаем расчёты по стандартизованным методикам. Они характеризуются следующими основными особенностями: простота математического аппарата, частое использование графических зависимостей и таблиц, необходимость согласования и определения размерностей, возможность визуального контроля хода вычислений, требования к оформлению результатов в виде расчётно-пояснительной записки, где вычисления по формулам перемежаются пояснительными текстами. Часто методика и сам инженерный расчёт имеют непроцедурную форму: сначала приводятся основные понятия и формулы, затем формулы для величин и коэффициентов, входящих в первые формулы, и лишь в конце — исходные данные. Базисная ИС для инженерных расчётов — ДАРП — была разработана с учётом этих требований в ЦЕНТРЕ САПР-ХИМ. Её проблемно-ориентированный язык РАПОЗА (от слов РАСЧЁТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА) строился из нижеследующих теоретических предпосылок. Обобщенная математическая модель инженерного расчёта может быть представлена в виде

$$M = (\mathcal{T}, (X,), R(X)),$$

где $\mathcal{T} = \{\tau_i\}$ — набор текстов

$X = \{x_i\}$ — множество переменных

$V = \{v_i\}$ — множества значений переменных

$R = \{R_k(X)\}$ — набор отношений

При этом переменные допускаются только скалярные — размерные

или безразмерные, - а отношения могут быть следующих типов:

- Простые: F - формулы, G - графические, T - табличные,
У - условие;

- Составные: СУ - логическая комбинация простых условий; S' - произвольная последовательность F, G и T; УО - условное отношение вида - "ЕСЛИ" СУ "ТО" S.

Простые отношения имеют вид

F - $y_i = f_i(x_{j_1}, \dots, x_{j_s})$, где f_i - аналитическая функция,

G - $y_i = g_i(x_{j_1}, \dots, x_{j_2})$ - семейство кривых от двух переменных,

T - $y_i = t_i(x_{j_1}, x_{j_2})$ - непрерывная или дискретная функция

У - $\varphi(\{x_j\}, C_1) \# \psi(\{x_j\}, C_2)$, где C_1, C_2 - константы, а # означает один из знаков $<, \leq, =, >, \geq, \neq$.

Таким образом сложное отношение типа S отображает некоторое подмножество "выходных" переменных $\{x\}_S \subset X$ на $\{y\}_S \subset X$

Функция $y_{js} = \varphi_j(x_{i_1}, \dots, x_{i_s})$ является суперпозицией конечного числа функций f_n, g_r и t_m . Условное отношение - УО

эквивалентно отношению типа S, если СУ истинно. В противном случае оно эквивалентно тождественному преобразованию: $X=EX, Y=EY$,

где E - единичная матрица, X - вектор "входных" переменных. Методика расчёта сложного объекта обычно представляется в виде упорядоченной совокупности методик расчёта отдельных его элементов.

$$M = \Pi_0 \Pi_1 M_1 \Pi_2 M_2 \dots \Pi_n M_n.$$

Здесь Π_0 - ввод общих исходных данных, M_i - методика расчёта i-го элемента, Π_i - преобразование переобозначения переменных. Частный случай, когда все M_i совпадают, приводит к циклическим вычислениям. В конкретных случаях в зависимости от цели расчёта может быть задан не весь набор исходных данных и выполним не весь набор отношений, а лишь некоторое его подмно-

жество. В этом случае говорят о частичной выполнимости расчетной методики. Минимальный набор средств проблемно-ориентированного языка автоматизации инженерных расчетов сводится к 3-м типам операторов: вычислительному (ВО), условному (УСО) и обработки текста (ТО). Назовём пространством состояний - \mathcal{V} прямое произведение множеств $V_i: \mathcal{V} = V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n$

Вычислительный оператор задаёт отображение $\varphi: \mathcal{V} \rightarrow \mathcal{V}$ следующим образом

$$\varphi(y_1, \dots, y_r, \dots, y_n) = \begin{cases} f_i(x_1, \dots, x_s) & j \leq r \\ x_j & j > r \end{cases}$$

где $\{x_1, \dots, x_s\}$ - множество "входных" переменных ВО;

$\{y_1, \dots, y_r\}$ - множество "выходных" переменных ВО.

f_i - аналитическая, графическая или табличная функция.

Нетрудно видеть, что ВО может реализовать любое отношение типа S . Условный оператор определяется следующим образом:

$$\text{УСО} ::= \text{if условие then ТЕЛО fi}$$

где условие ::= логическое выражение - логическая комбинация сравнений переменных и констант;

$$\text{ТЕЛО} ::= \perp \mid \text{ВО} \mid \{\text{ВО}\}$$

УСО задаёт следующее отображение $\psi: \mathcal{V} \rightarrow \mathcal{V}$

$$\psi = \begin{cases} \text{условие} = \text{true} & \rightarrow \varphi \\ \text{иначе} & \rightarrow \equiv (x_i = x_i, i = 1, \dots, n) \end{cases}$$

где $\varphi: \mathcal{V} \rightarrow \mathcal{V}$ задаётся ВО. Условный оператор позволяет реализовать любое условное отношение. Третий тип - ТО - оператор обработки текста отображает множество текстов $\mathcal{T} \rightarrow \mathcal{T}$ без изменения или с соблюдением определённых правил редактирования.

Этих средств достаточно для записи любой методики инженерного расчёта в виде последовательности операторов - программы Р.

При этом программа задаёт отображение $S_p: \mathcal{V} \rightarrow \mathcal{V}$ определяемое следующим образом:

$$S_{x,y} = S_y \cdot S_x$$

$$S(\text{if } \underline{\text{условие}} \text{ then } P_1) = \begin{cases} \text{условие} = \text{true} \rightarrow S_{P_1} \\ \text{иначе} \rightarrow \equiv \end{cases}$$

При этом формулируются и доказываются условия эквивалентности программ при неалгоритмическом порядке операторов или частичной выполнимости расчётов, практический смысл которых заключается в том, что при фиксированном наборе и значениях входных переменных будут выполнены одинаковые подмножества операторов и их выходные переменные получают одинаковые значения. Для сокращения записи программ для циклических и итерационных алгоритмов полезно ввести также операторы цикла и перехода. Для составления сложных программ из простых, использования готовых программ на языках программирования, редактирования состава выходного документа понадобился ещё ряд операторов. Основные операторы проблемно-ориентированного языка РАПОЗА, реализованные в составе инструментальной системы ДАРП, приведены в таблице I.

Таблица I. Основные операторы проблемно-ориентированного языка для инженерных расчётов - РАПОЗА

Наименование	Входная форма	Выходная форма
1	2	3
ПРИСВАИВАНИЕ	$\langle \text{ИД} \rangle =$ $\langle \text{АВ} \rangle ; [\text{РАЗМ}]$	$\langle \text{ИД} \rangle = \langle \text{АВ} \rangle =$ $\langle \text{ПОДСТАНОВКА} \rangle =$ $\langle \text{ЗНАЧЕНИЕ АВ} \rangle [\langle \text{РАЗМ} \rangle]$ * $\langle \text{ПОДСТАНОВКА} \rangle$ и $\langle \text{ЗНАЧ. АВ} \rangle$ могут отсутствовать, если АВ - кон-

1	2	3
		станта или не содержит переменных *
УСЛОВИЕ	?ЕСЛИ <ЛВ> ?ТО <ТЕЛО> ?КОНЕЦ *ТЕЛО ::= {ОПЕРАТОР} *	ТАК КАК <ЛВ> ТО <ТЕЛО> ПУСТО *ЕСЛИ ЛВ-ИСТИНА ЛОЖЬ *
МЕТКА	? <ИМЯ МЕТКИ>	ПУСТО
ПЕРЕХОД	?ИДИТИ <ИМЯ МЕТКИ>	ПУСТО
ЦИКЛ	?НЦ <ИД> <НАЧАЛО> <КОНЕЦ> <ШАГ> <ТЕЛО> ?КЦ	<ТЕЛО>
ПРОПУСК	?ПС <N>	{<ПУСТАЯ СТРОКА>}
СТРОК	* N - целое число *	* N / СТРОК *
НОВЫЙ ЛИСТ	?НЛ	{<ПУСТАЯ СТРОКА>} * ДО КОНЦА ЛИСТА *
ЗАДАНИЕ	?ЗАД [<ИМЯ ЗАДАНИЯ>]	<ТЕЛО ЗАДАНИЯ>
ПРОГРАММА	?ПРОГ [<РЕЗУЛЬТАТ>] = <ИМЯ ПРОГ> {<АРГУМЕНТ>}	<РЕЗУЛЬТАТ> ПУСТО

В связи с автоматическим формированием выходного документа операторы имеют входную и выходную форму. Встречающиеся в таблице обозначения ИД, АВ и ЛВ - идентификатор, арифметическое и логическое выражение - имеют общепринятый синтаксис. В звездочке заключен комментарий.

Оператор ЗАДАНИЕ представляет программу на языке РАПОЗА, а оператор ПРОГРАММА - любую программу на базовом языке программирования (на ЕС ЭВМ это ПЛ/1, а на персональной ЭВМ будут СИ и Паскаль). В данном случае сама базовая ЯС ориентирована на инженеров-проектировщиков, которые освоив несколько команд

языка РАПОЗА, пишут на нём прикладные ИС-библиотеки расчётов в определённой проблемной области (конструкторские расчёты, аппаратурно-технологические расчёты и т.д.).

В заключение необходимо подчеркнуть роль повышения интеллекта ИС за счёт использования банков знаний, развития ИС обучения и объяснения принимаемых решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мукосей В.И. Диалоговые инструментальные системы - основа новой методологии создания САПР. Проектирование и инженерные изыскания., 1986, №1, с.22-25
2. Мукосей В.И., Соколинский Ю.А., Галицкий А.Я., Ягнятинский Б.В. Автоматизация проектирования трубопроводных систем химических производств. Химия, 1986, Москва, 104 с.
3. Беленький П.В., Мукосей В.И. Базовая инструментальная система интерактивной графики - БАЗИС-ИГ. Программирование, 1987, №3, с.85-90
4. Мукосей В.И. Развитие инструментальных средств разработки САПР. - В сб. "Проблемы автоматизированного проектирования в машиностроении", тезисы докл. междунар. конф. САПР-88, М. ЦНТО Приборостроение, 1988, ч.1, с.92-93.

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.В.Новиков, В.Ф.Селех, Э.Д.Скляров, А.В.Федотовский, А.А.Шепелев, Институт сверхтвёрдых материалов Академии наук УССР, гор. Киев, УССР

В Институте сверхтвёрдых материалов АН УССР (г.Киев) разработана технология автоматизированного проектирования инструментов из сверхтвёрдых материалов (САПР АИСТМ). Структура разработанной САПР АИСТМ является модульной, открытого типа, с автономной отладкой каждого модуля. Это обеспечивает оперативное изменение архитектуры САПР и возможность дальнейшего её развития и совершенствования.

Функциональная часть САПР АИСТМ включает следующие автономные подсистемы:

- расчёта и оптимизации конструктивных параметров и характеристик инструмента из СТМ (ОКПХ ИСТМ) ;
- разработки и оформления конструкторской документации на инструмент из СТМ (КД ИСТМ) ;
- пресс-форм и технологической оснастки (ПФ и О ИСТМ) ;
- управляющих программ для станков с программным управлением (УП ИСТМ) ;
- разработки технологических процессов изготовления инструмента из СТМ (ТП ИСТМ) и др.

В составе САПР АИСТМ предусмотрена организация следующих баз данных:

- типовых конструкций, форм, размеров и характеристики инструментов по ГОСТ ;
- типовых конструкций, форм, размеров и характеристики инструмента по ОСТ, СТМ, РТМ и т.д., а также специального инструмента, на который разработаны рабочие чертежи ;
- конструкций пресс-форм и рабочей документации на уже разработанные пресс-формы ;
- технологической стандартизованной оснастки ;
- конструктивных параметров и характеристики станков, на которых применяются инструменты из СТМ ;
- оптимальных условий и режимов применения инструмента ;
- патентов на инструмент ;
- конструктивных параметров и характеристики инструмента из СТМ, выпускаемого зарубежными фирмами.

В настоящее время в ИСМ АН УССР проводятся работы по формированию функциональных подсистем и баз данных. Применяется САПР АИСТМ для проектирования шлифовальных кругов как наиболее широко используемых в промышленности.

Процесс проектирования шлифовальных кругов из СТМ, как и любого другого абразивного инструмента, условно разделяется на два этапа:

- определение и оптимизация формы, конструкции и оптимальных характеристик рабочего слоя, расчёт размерных параметров инструмента в целом и его составных частей (деталей);
- разработка и оформление рабочей конструкторской документации.

Решение задач первого этапа проектирования призвана обеспечить подсистема определения формы и конструкции, оптимизации конструктивных параметров и характеристик инструмента. Форма, основные размеры инструмента и марка связки определяются проектировщиком в указанной подсистеме и являются входными параметрами для поиска в базе данных его типовой или специальной конструкции и имеющейся конструкторской документации.

Если сведения о ранее разработанном инструменте в базе данных отсутствуют, то в подсистеме разработки и оформления конструкторской документации на инструмент из СТМ (РД ИСТМ) осуществляется в пакетном или диалоговом режиме выбор типовой конструкции и разработка конструкторской документации на инструмент задаваемой формы и размеров.

Проведенный анализ указанных этапов проектирования с точки зрения методического обеспечения выявил отсутствие общих математических закономерностей, адекватно отражающих процесс износа различных видов шлифовальных кругов в зависимости от свойств обрабатываемых материалов, конструкции инструмента и режимов обработки, которые могли бы быть использованы для построения математических моделей. Над задачей создания математических моделей различных процессов обработки инструмента из СТМ в настоящее время проводятся работы во многих организациях. Её решение позволит автоматизировать выбор оптимальных, для конкретных условий использования, конструктивных параметров и характеристик инструмента из СТМ.

На втором этапе проектирования конструктор руководствуется нормативно-техническими материалами, в том числе одним из таких руководящих материалов является разработанный стандарт "Круги алмазные шлифовальные. Правила разработки и оформления чертежей".

В указанном стандарте приведена методика выбора и расчёта геометрических параметров кругов для их простановки на чертежах, выбора посадок и полей допусков, допусков радиального и торцевого биений, определения объёма рабочего слоя и массы круга, назначения технических требований, а также приведены требования к шероховатости поверхностей.

Стандарт положен в основу разработки укрупнённых блок-схемы автоматизированного расчёта и конструирования шлифовальных кругов из СТМ, охватывающей второй этап проектирования. На вход рассматриваемой подсистемы подаются следующие сведения о проектируемом инструменте: форма, наружный диаметр, размеры рабочего слоя, диаметр посадочного места, марка (вид) связи.

Исходные данные подвергаются проверке на корректность, затем осуществляется анализ содержания баз данных по инструменту и находятя сведения о ранее спроектированном инструменте, совпадающем по форме, основным размерам и другим параметрам, определяющим его конструкцию. Информация о найденном тождественном инструменте выводится на экран видеотерминала или на печатающее устройство в виде таблицы, содержащей обозначение формы инструмента, его геометрические параметры, марку (вид) связи, обозначение чертежа, степень технологической проработки и освоения.

При отсутствии в БД требуемого инструмента на следующем этапе конструирования по исходным данным определяется типовая конструкция инструмента заданной формы и выбираются реквизиты комплекса программ, обеспечивающих разработку конструкторской документации по алгоритму поиска реквизитов комплекса, представленном на рис.1.

Выбранные комплексы программ обеспечивают: определение и расчёт недостающих геометрических параметров (размеров), проставляемых на рабочих чертежах инструмента; выбор квалитетов и степеней полей допусков и предельные отклонения на рассчитанные параметры; расчёт объёма рабочего слоя и массы инструмента; формирование таблиц параметров, размещаемых на поле групповых чертежей; назначение технических требований, формирование графических изображений фрагментов чертежей, выбор форматов и компоновка чертежей; вывод сформированных чертежей на графопостроитель; заполнение спецификации.

Кроме того в подсистеме предусматривается:

- возможность автономной работы по оформлению чертежей спроектированного инструмента путём вывода результата проектирования на магнитную ленту, а затем на графопостроитель (плоттер);
- передача сведений о разработанном инструменте в одну из выше-названных баз данных;
- предусмотрено формирование файла тех исходных данных, которые необходимы для следующего этапа - проектирование пресс-форм и оснастки для изготовления разработанного инструмента, а также разработки технологических процессов и управляющих программ для станков с ЧПУ.

Система САПР АИСТМ разработана для эксплуатации на вычислительном комплексе АРМ2-01 на базе СМ1420. Минимальная конфигурация технических средств СМ ЭВМ, требуемая для эксплуатации системы, приведена в таблице.

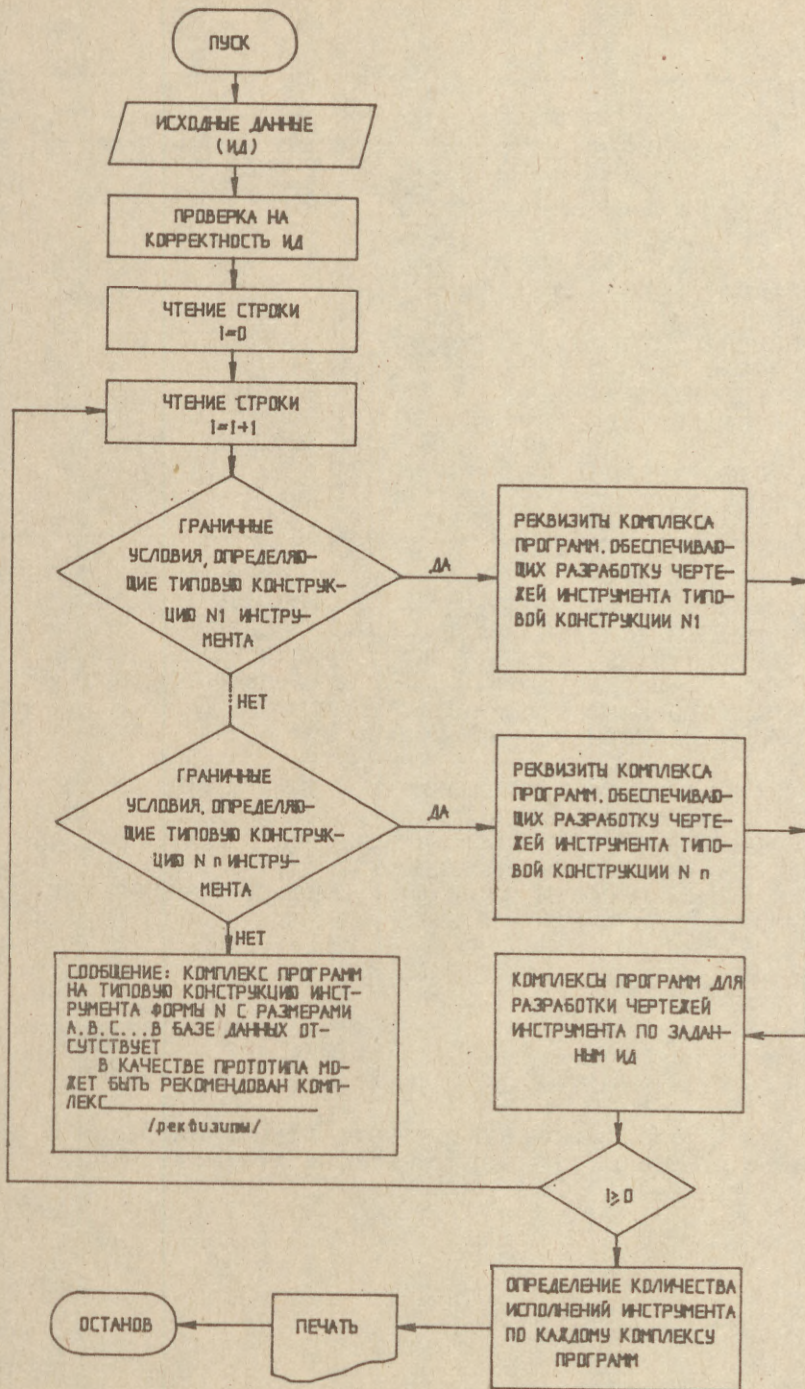


Рис. I

Таблица

№ пп	Наименование устройства	Тип	Количество
1.	Процессор с ОЗУ КБ	CM2420	I
2.	Видеотерминальное устройство (дисплей)	BTA2000	I
3.	Устройство внешней памяти на магнитных дисках (ёмкость 4, 9 МБ)	CM5400	2
4.	Алфавитно-цифровое печатающее устройство	CM63I5 и др.	I
5.	Графический дисплей	CM73I6	I
6.	Графопостроитель	AP725IM, AP725I и др.	I
7.	Устройство внешней памяти на магнитной ленте	CM6300.0I	I

Программные средства работают под управлением операционной системы реального времени ОС-РВ, версии 3,0 и выше. Реализация программ осуществляется программными средствами комплексной системы автоматизированной конструкторско-технологической подготовки производства (КСАКТПП). В настоящее время ведутся работы по адаптации программного обеспечения САПР АИСТМ на персональные компьютеры совместимые с IBM PC.

Наряду с работами по автоматизированному проектированию инструмента из СТМ разработана подсистема проектирования пресс-форм для инструментов из СТМ. Проведена унификация деталей более 60 конструкций пресс-форм. Разработаны методики определения линейных размеров и алгоритмы конструирования как пресс-форм в целом, так и их деталей.

Список литературы

1. А.А.Шепелев, В.Ф.Селех и др. Система автоматизированного проектирования инструмента из СТМ (САПР АИСТМ). 7-ая конференция "Инструменты-89", Братислава, 1989, том 2.
2. В.Ф.Селех, Г.И.Свириденко и др. Автоматизированное проектирование алмазных кругов. "Сверхтвёрдые материалы" №2, Киев, 1989, стр.46-47.

ЛЕЗВИЙНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ
В ГИБКИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Новиков Н.В., ИСМ АН УССР, СССР
Девин Л.Н., ИСМ АН УССР, СССР
Гриценко Э.И., ИСМ АН УССР, СССР

Особенностью применения металлорежущего инструмента в условиях гибкого автоматизированного производства (ГАП) является необходимость обеспечения его высокой стойкости и надежности при обработке широкой гаммы материалов, значительно отличающихся свойствами (чугун, сырые и термообработанные стали, цветные сплавы). При этом один и тот же инструмент может использоваться на чистовых и черновых операциях, обеспечивая высокую производительность и требуемое качество обработки.

Опыт эксплуатации ГАП в станкостроении позволяет указать основные требования к металлорежущему инструменту, применяемому для чистовой и получистовой обработки термообработанных, в том числе закаленных до твердости 60-65 НРС, сталей.

Работоспособность резцов в этих условиях определяется износостойкостью применяемых инструментальных материалов в области скоростей от 50 до 200 м/мин, а также надежностью, т.е. стабильностью и высокими прочностными характеристиками крупных партий режущих элементов, что гарантирует режущий инструмент от преждевременного разрушения при динамических нагрузках в момент врезания и выхода резца из детали, а также при изменении жесткости обрабатываемых изделий.

Для количественной характеристики износостойкости инструментальных материалов применяют различные критерии. Наиболее часто используют стойкость, а также величину площадки износа по задней и передней граням резца, массовый или радиальный износ, длину пути резания за фиксированный отрезок времени.

Для инструмента широкой номенклатуры, предназначенного для ГАП, предпочтительными являются удельные количественные характеристики износостойкости, например, интенсивность изнашивания резца по задней грани. Эта характеристика в случае абразивного изнашивания резца хорошо коррелирует с твердостью инструмента и может быть предварительно оценена по этому параметру.

Среди прочностных характеристик инструментальных материалов, знание которых позволяет прогнозировать вероятность разрушения резцов, следует отметить такие характеристики как прочность при растяжении и сжатии, трещиностойкость с соответствующими показателями нестабильности этих характеристик для крупных партий инструментов.

В последние годы большое значение в технологии механической обработки различных материалов, применяемых в станкостроении, приобретают поликристаллические сверхтвердые материалы (ПСМ) на основе кубического нитрида бора /1-3/. Различные комбинации фазового состава, связки, размеров зерен в

ПСТМ обеспечивают получение поликристаллов с заданными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Рассмотрим свойства ряда ПСТМ, которые представляются нам перспективными для применения в ГАП и отвечают установленным выше критериям.

Физико-механические характеристики поликристаллических сверхтвердых материалов изучены недостаточно. Это связано как со сложностью изготовления из них образцов для испытаний, так и со спецификой методик испытаний столь хрупких и чрезвычайно твердых материалов. В таблице представлены данные о физико-механических характеристиках ПСТМ, собранные из различных литературных источников или полученные авторами.

Марка	Твердость по Кнушу, ППа НК	Прочность, ППа, при сжатии, растяжении	Трещиностойкость, КГс, МПа√м	Модуль Юнга Е, ППа	Плотность Г/см ³
Композит-01	36	2.7	.45 4.0	840	3.4
Композит-02	-	5.2	- -	720	3.5
Композит-05И	19	2.2	.21 5.2	620	4.0
Композит-10	34	3.0	.32 4.8	715	3.3
Киборит	40	3.1	.37 8.2	880	3.3

До настоящего времени нет количественных зависимостей между физико-механическими характеристиками инструментальных материалов и надежностью инструмента из них. Опубликованные результаты измерений физико-механических характеристик, как правило, не содержат показателей точности измерений (например, доверительного интервала суммарной погрешности с установленной вероятностью Р). Это делает практически невозможным использование опубликованных результатов для установления количественных зависимостей надежности инструмента от свойств инструментальных материалов.

Опыт практического использования инструментов в промышленности показывает, что имеется влияние свойств инструментальных материалов на работоспособность инструмента. Это учитывается при рассмотрении пригодности каждого конкретного материала хотя бы на качественном уровне как по критерию износостойкости, так и по критерию надежности.

Среди физико-механических характеристик ПСТМ, влияющих на износостойкость инструмента, одно из основных мест занимает микротвердость. Микротвердость ПСТМ обычно определяют при помощи алмазного наконечника НШМ (индентор Виккерса - четырехгранная пирамида с квадратным основанием) или при помощи индентора Кнуша (четырёхгранная пирамида с ромбом в основании). При измерении микротвердости ПСТМ чаще используются индентор

Кнуша, при этом НК $\approx 0,8$ HV.

Предел прочности при сжатии σ_c определяется путем сжатия шлифованных по торцам цилиндрических образцов между твердосплавными опорами на статических испытательных машинах и рассчитывается по формуле:

$$\sigma_c = \frac{P_{кр}}{F_0} \quad \dots 1.$$

где $P_{кр}$ - разрушающая нагрузка, F_0 - площадь сечения образца в плоскости, перпендикулярной прилагаемой нагрузке.

Предел прочности при растяжении σ_p является одной из наиболее важных характеристик ПСТМ, т.к. практика показывает, что разрушение инструмента из ПСТМ происходит в местах максимальных растягивающих напряжений.

Для определения прочности при растяжении ПСТМ обычно используют метод диаметрального сжатия цилиндрических образцов. Учитывая, что материал режущей части находится в условиях сложного напряженного состояния, обоснованным является применение критерия Писаренко Г.С.-Лебедева А.А. /4/ для определения предела прочности при одноосном растяжении хрупких твердых материалов по формуле /5/:

$$\sigma_p = \frac{1,28 P_{кр} \cdot \sigma_c}{\pi \cdot \sigma_c \cdot D \cdot t - 5,93 P_{кр}} \quad \dots 2.$$

Очень важной характеристикой ПСТМ является трещиностойкость, т.е. способность тормозить распространение трещин. Трещиностойкость ПСТМ оценивают критическим коэффициентом интенсивности напряжений K_{Ic} . Сложность механической обработки и малые габариты образцов ограничивают применение большинства известных в механике разрушения методов определения K_{Ic} . Обычно для определения трещиностойкости ПСТМ используют метод диаметрального сжатия дискового образца с центральным надрезом и метод-indentирования. При диаметральном сжатии K_{Ic} определяют по формуле:

$$K_{Ic} = \frac{P_{кр}}{t \sqrt{R}} \sqrt{\frac{\lambda}{1-\lambda}} (1 - 0,6\lambda + 1,7\lambda^2 - 1,2\lambda^3) \quad \dots 3.$$

где: $\lambda = \frac{2l}{D}$ - отношение длины надреза $2l$ к диаметру образца D , R - радиус образца.

Метод диаметрального сжатия дискового образца с надрезом является наиболее точным, и данные о трещиностойкости, полученные этим методом, наиболее достоверны /6/.

Для исследования износостойкости резов из сверхтвердых материалов использовались 3 марки ПСТМ на основе КНБ: - композит ОБИТ, киборит, разработанный в ИСМ АН УССР, промышленный выпуск которого начат на Полтавском заводе алмазов и алмазного инструмента; БПК - двухслойный материал, разработанный в ИСМ АН УССР. Режущий слой его состоит из сфалеритного (кубического) нитрида бора с активирующими добавками тонкодисперсных порошков тугоплавких нитридов. В качестве подложки используется твердый сплав группы ВК.

Оценку износостойкости резцов из ПСТМ производили по интенсивности изнашивания при точении стали ШХ15 твердостью 60-62 НРС. Геометрия резцов: $\gamma = 0$; $\alpha_1 = 15$; $\varphi = 45$; $\varphi_1 = 15$. Заточка резцов производилась на универсальном заточном станке фирмы *Safaq* алмазными кругами I2A2-45 SA4C 400/315 M-Б1-4 с охлаждением содовым раствором, с последующей доводкой кругами I2A2-45 SA4C 40/28 - Б1-4. Испытания производили на высокоточном токарном станке модели ТПК-125ВМ с ЧПУ "Электроника 60.680 CNC". Режимы резания: $V = 50-150$ м/мин; $S = 0,1$ мм/об; $t = 0,2$ мм.

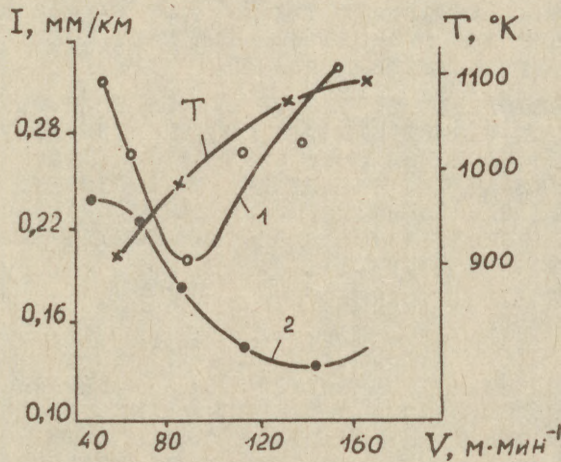


Рис. 1. Интенсивность изнашивания по задней грани резцов из ПСТМ: 1 - композит 05ИТ; 2 - киборит.

Интенсивность изнашивания I оценивали по формуле

$$I = \frac{dh_z}{dl} \quad \dots 4$$

где dh_z - изменение площади износа по задней грани на участке нормального износа, мм; l - соответствующий путь резания, мм.

В процессе испытаний варьировалась величина скорости резания. При этом для каждой скорости эксперимент повторяли на 3 пластинках ПСТМ и при разбросе результатов более чем 30% эксперимент повторяли после переточки пластин. В процессе резания производили измерение температуры резания, для чего под режущую пластину из ПСТМ размещали хромель-копелевую термопару и методом конечных элементов пересчитывали ее показания на температуру в вершине резца. Средние значения интенсивности изнашивания резцов (доверительный интервал до 10% при вероятности 0.95) и температуры резания приведены на рис.1. Из графиков видно, что существуют четко выраженные оптимальные скорости и температуры резания (с минимальной интенсивностью изнашивания). Причем для композита 05ИТ $V_{opt} = 80$ м/мин, а для киборита $V_{opt} = 120-140$ м/мин, т.е. почти в 2 раза выше. При этом и интенсивность изнашивания резца из киборита при оптимальной для него скорости резания почти в 2 раза ниже, чем

резца из композита 05ИТ при оптимальной скорости резания для композита 05.

Важным, на наш взгляд, является тот факт, что при $V = 60-80$ м/мин, т.е. в области оптимальных скоростей для композита 05, интенсивности изнашивания киборита и композита 05 близки. В этом диапазоне скоростей резания трудно отдать предпочтение одному из этих материалов. Однако при оптимальной скорости резания для киборита ($V = 120-140$ м/мин) интенсивность изнашивания резцов из композита в 2,5-3 раза выше чем киборита.

Различие величин V_{opt} на кривых интенсивности изнашивания для композита 05 и киборита можно объяснить различным характером влияния температуры на механические характеристики этих материалов. Как известно [7,8] падение твердости и прочности киборита происходит при более высоких температурах, чем композита 05ИТ. В связи с этим и увеличение скорости, а значит и температуры резания (см. Рис.1), начинает раньше сказываться на композите 05ИТ, чем на киборите.

В последние годы у нас в стране и за рубежом интенсивно велись поиски новых путей улучшения физико-механических характеристик и повышения работоспособности инструмента из ПСТМ. Это позволило создать двухслойные ПСТМ, получаемые, как правило, методами спекания на твердосплавной подложке.

Двухслойные ПСТМ имеют ряд преимуществ по сравнению с однородными по объему ПСТМ: упрощается технология крепления режущего инструмента в корпусе державки путем пайки к твердосплавной подложке; наличие подложки придает повышенную ударную прочность, а использование режущего слоя ПСТМ малой толщины (0,5-2 мм) делает их более экономичными. При заточке и переточке инструмента из них значительно уменьшаются безвозвратные потери дорогостоящих сверхтвердых материалов как снимаемых в виде припуска с заготовки ПСТМ, так и алмазных крутов, используемых для заточки.

В данной работе приведены результаты оценки работоспособности одного из материалов этого класса - бипластин кубического нитрида бора (БПК). Отличительной особенностью данного ПСТМ является формирование прочной структуры режущего слоя за счет сочетания крупнозернистого наполнителя из КНБ с тонкодисперсным керамическим связующим из тугоплавких нитридов [9]. Это обеспечивает сочетание высокой твердости, износо- и теплостойкости, присущей КНБ с повышенной вязкостью связующей фазы.

Для выбора оптимальной зернистости исходных порошков были проведены исследования работоспособности резцов из БПК по описанной методике на образцах, содержащих 10% (по массе) связующего. Использовалась смесь порошков КНБ зернистостью 40/28 (60%) и КНБ мелких фракций. Резание стали ШХ15 (60-62 НРС) производили с оптимальной скоростью $V = 100$ м/мин, подачей $S = 0,084$ мм/об, глубиной $t = 0,2$ мм. Геометрия резца: $\gamma = -10^\circ$, $\alpha = \alpha_1 = 15^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_2 = 15$. При этом температура резания составляла 900-950 К.

Кривые изнашивания резцов БПК с различной зернистостью приведены на рис.2, /10/, откуда видно, что наибольшей стой-

костью и наименьшей интенсивностью изнашивания обладают образцы со смесью зернистости 40/28 с мелкими фракциями.

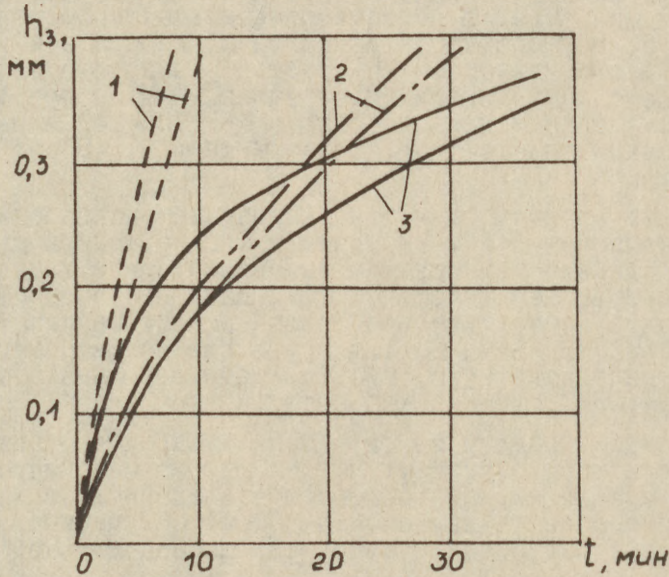


Рис.2. Влияние продолжительности резания стали ШХ15 на износ двухслойных пластин, содержащих в режущем слое 10 мас.% связующего, с различной исходной зернистостью порошков КНБ: 1-5/3; 2-14/10; 3-смесь порошков КНБ.

Дальнейшая оптимизация состава БПК производилась путем выбора количества связки на основе тонкодисперсных порошков тугоплавких нитридов. Исследования выполняли на образцах оптимальной зернистости, содержащих 2-25 мас.% добавок.



Рис.3. Влияние содержания связующего в режущем слое на интенсивность изнашивания резцов из БПК при точении стали ШХ15

Результаты определения интенсивности изнашивания резцов, приведенные на рис.3, показывают, что наименьшую скорость изнашивания имеют БПК, связующее которого состоит из смеси тугоплавких нитридов с оптимальным содержанием связки 15-20%. Стойкость резцов из БПК оптимального состава при износе $A_3 = 0,4$ мм составила 73 мин. Как видно из экспериментальных данных, износостойкость резцов из БПК оптимального состава при точении стали ШХ15 в 2-3 раза выше, чем резцов из киборита и в 3-4 раза больше износостойкости композита ОБИТ (рис.1).

Таким образом, лезвийные инструменты, предназначенные для ГАП должны отвечать определенным требованиям. В частности, работоспособность резцов, предназначенных для обработки термобработанных сталей в станкостроении должна быть определена по критерию износостойкости в области скоростей резания от 50 до 200 м/мин с оценкой прочностных характеристик крупных партий резцов с целью сведения к минимуму случаев поломки. Проведенная по этим критериям оценка некоторых марок ПСТМ показала их пригодность для гибких автоматизированных производств станкостроения.

Список литературы

1. Синтетические сверхтвердые материалы / Отв.ред. Н.В.Новиков. - Киев: Наук.думка, 1986. - т.1-3.
2. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами и их применение: Справочник / В.П.Жель, Г.В.Боровский, Я.А.Музыкант, Г.М.Исполитов. - М.: Машиностроение, 1987. - 320 с.
3. Новиков Н.В., Шульженко А.А. Новые сверхтвердые материалы и их применение в промышленности /Сверхтвердые материалы. - 1987. - № 5. - С.8-14.
4. Писаренко Г.С., Лебедев А.А. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. - Киев: Наукова думка, 1976. - 415 с.
5. Девин Л.Н. Определение предела прочности при растяжении поликристаллических сверхтвердых материалов, 1988. - с.24-28.
6. Метод определения трещиностойкости сверхтвердых материалов, основанный на испытании дисков с трещиной / Новиков Н.В., Ярема С.Я., Майстренко А.Л. и др. - Сверхтвердые материалы, 1981, № 4 - с.12-16.
7. Новиков Н.В., Андросов И.М. Исследование температурной зависимости механических свойств поликристаллов сверхтвердых материалов на основе нитрида бора // Влияние высокого давления на структуру и свойства материалов. - Киев: ИСМ АН УССР, 1981. - С.94-98.
8. Синтез сверхтвердых материалов /Отв. ред. Н.В.Новиков.- Киев: Наук.думка, 1986. - 280 с.
9. Новые поликристаллические материалы на основе кубического нитрида бора /Н.В.Новиков, А.А.Шульженко, С.А.Божко и др. // Физико-химические и технические основы технологии извлечения и сортировки сверхтвердых материалов. - Киев: ИСМ АН УССР, 1983. - С.62-67.

Ю. Новиков Н.В., Девин Л.Н., Игнатуша А.И., Грицен -
ко Э.И., Дальник П.Е. К вопросу о работоспособности резцов
ПСТМ на основе кубического нитрида бора // Физические явления
при резании и холодном пластическом деформировании металлов. -
Киев: ИСМ АН УССР, 1988 - С.33...39.

ОРГАНИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПОДСИСТЕМАХ САПР

Новиков В. К., ВНИПТИЭМ, СССР
Попов С. А., ВНИПТИЭМ, СССР

Проектно-конструкторская деятельность, является глобальным источником знаний человечества и при этом характеризуется четырьмя видами деятельности:

- исследование или инженерная;
- конструирование или проектная;
- подготовка к производству или плановая;
- управление конкретным производством или вид производства.

Автоматизация проектно-конструкторской деятельности приводит к системам САЕ, САД, САР, САМ в соответствии с вышеуказанными видами. Учитывая, что в проектно-конструкторской деятельности изобразительное (образное) представление объектов предметной области (деталей, узлов, машин, строений, коммуникаций и т. п.) является базовым, то требования к этой форме представления в условиях компьютеризации видов деятельности являются решающими, особенно при полной или частичной интеграции (например, САД/САМ).

В системах класса САЕ графическая (образная) форма должна быть пространством действия численных методов проектирования (методов конечных элементов, сплайн-методов и т. п.). Эта форма используется для визуализации как промежуточных, так и конечных результатов действия методов.

В системах класса САД графическая форма должна быть пространством действия компоновочных методов создания образа конструкции как в целом, так и на уровне "ЭЛЕМЕНТ ДЕТАЛИ". В системах данного класса графическая форма используется для выбора формы конструкции (проектная форма) и для согласования всех элементов формы конструкции с заданными техническими требованиями (поверочная форма). Основным носителем графической формы в системах САД является чертеж детали, узла и конструкции в целом.

В системах класса САР графическая форма используется для выбора средств производства, их правильной загрузки и формирования стратегии управления производством деталей, узлов и машины в целом, т. е. для выбора переналаживаемых (гибких) производственных систем под заданную программу запуска деталей и изделий в производство. Указанная форма организует для систем САР пространство из формы элемента детали (резьбовое отверстие, шпоночный паз и т. д.), параметров собственно элемента (диаметр, шаг резьбы и т. п.) и параметров размещения элемента на детали. Цель системы САР - в заданном пространстве обеспечить группирование деталей по их элементам для их

(деталей) изготовления с минимальной стоимостью.

В системах класса САМ графическая форма используется для выбора конкретных средств производства (станки, роботы и т. п.), моделирования последовательности обработки детали на этих средствах. Эта форма используется как промежуточная форма визуализации элементарного действия конкретного средства производства. Цель системы САМ - максимальная загрузка процесса формообразования детали, минимальная загрузка процесса позиционирования детали в процессах формообразования. Здесь графическая форма применяется как средство быстрой проверки этапов моделирования последовательности обработки детали и как вспомогательное средство сокращения тактов этой последовательности.

С точки зрения себестоимости изготовления конструкции изделия наиболее важным считаются системы класса САР, причем компьютерное представление графической (образной) формы в системах класса САР, по мнению авторов, наиболее трудоемко. Так, например, среднее станкостроительное предприятие выпускает в номенклатурном выражении от 30 до 50 тыс. деталей в год. Каждая деталь содержит от 10 до 100 элементов типа "ОТВЕРСТИЕ ПОД ГРУЗОВОЙ БОЛТ", "ШПОНОЧНЫЙ ПАЗ ПОД..." и т. п. Количество параметров на каждый элемент может достигать десяти и более. Таким образом, пространство "форма" и "параметр" содержат по несколько млн. экземпляров. Следует заметить, в условиях полной автоматизации (завод-автомат) актуальность машинного представления конструкции изделия возрастает, при этом теряет свою актуальность лишь задача визуализации изображений.

Провести группирование деталей на таких пространствах очень сложно. Использование средств группирования деталей в виде "Классификатора ЕСКД" трудоемко и неэффективно из-за ограниченности описательной силы этих средств. Процесс описания деталей с целью дальнейшего их группирования по различным признакам должен быть естественным и ориентирован на большое количество (сотен тысяч) деталей.

В качестве такого средства предлагается модель представления и хранения детали, разработанная авторами и реализованная в системе ведения архива упрощенных эскизных изображений (СВАЭИ), ориентированной на ПЭВМ (ДВК-3, "Электроника-85", IBM PC-совместимые).

Рассматриваемая модель базируется на представлении изображения (или его функциональной части - элемента детали) в виде композиции сегментов изображения (элементов форм - при трехмерном представлении), состоящих из связанных графических примитивов (и/или элементов детали, рассматриваемых на уровне текущего изображения как графические примитивы). К атрибутам сегментов следует отнести вспомогательные данные, необходимые для оформления проектно-конструкторской документации (напри-

мер, тип линии).

Данные в рассматриваемой модели, по роду содержащейся в них информации, разделены на геометрию детали и его топологию.

Геометрическая часть информации, общая для всего изображения, вынесена в виде двух множеств с заданным на них отношением порядка $\langle x, \rangle, \langle y, \rangle$ в область общей информации о детали.

Для хранения геометрии конкретных элементов форм используется отношение принадлежности точек соответствующим сегментам, заданное на множествах и в виде последовательности значений характеристических функций:

$$X_{S_i} = \{f(x_j) ; x_j \in S_i^x\},$$

$$Y_{S_i} = \{f(y_j) ; y_j \in S_i^y\},$$

где $f(x_j), f(y_j)$ - характеристические функции вида:

$$f(x_j) = \begin{cases} 1, & \text{если } x_j \in S_i^x \\ 0, & \text{если } x_j \notin S_i^x \end{cases}$$

$$f(y_j) = \begin{cases} 1, & \text{если } y_j \in S_i^y \\ 0, & \text{если } y_j \notin S_i^y \end{cases}$$

S_i^x, S_i^y - множества координат (соответственно, абсцисс и ординат) точек, принадлежащих сегменту .

Топология сегмента (элемента форм) отображается на декартово произведение $(X_{S_i} \times Y_{S_i})$ и задается в виде бинарного отношения R_{S_i} , элементами которого являются последовательно расположенные опорные точки связанных элементов сегмента. Указанные точки ставятся в соответствие последовательному списку кодовидентификаторов графических примитивов и дополнительной информации о них.

Деление изображения (или машинного представления детали) на сегменты и компактное хранение их топологий позволяет значительно снизить объем используемой памяти ЭВМ. В то же время, вынесение общей части геометрической информации за пределы сегментов на уровень собственно изображения позволяет повысить скоростные характеристики аффинных преобразований изображений.

СВАЭИ, базирующаяся на использовании двухмерной версии рассматриваемой модели, реализована на ПЭВМ ДВКЗ и "Электроника-85", IBM PC/XT, IBM PC/AT и других IBM PC-совместимых компьютерах и ориентирована на хранение, модификацию и поиск

графических образов (или машинных представлений) деталей и может быть использована:

- в качестве подсистемы класса CAP ;
- в качестве подсистемы класса CAD ;
- в качестве независимого архива графических изображений.

Отличительной чертой СВАЭИ является реализация в системе поиска деталей по их составляющим элементам.

Контрольные испытания, проводимые на объектах типа "Осевой режущий инструмент", "Габаритный чертеж асинхронного двигателя" и др., показали, что применение рассматриваемой модели представления позволяет уменьшить объем машинной памяти на одно изображение по сравнению с системой AutoCAD в 4-20 раз, одновременно сократив время воспроизведения изображения в 2-3 раза.

СТРУКТУРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА КОМПОНОВОК СТАНОЧНЫХ СИСТЕМ

Некрасов Е.Н., Одесский политехнический институт, СССР

Основная тенденция развития машиностроительной промышленности - это переход к серийному многономенклатурному производству с предметной специализацией участков и цехов, работа по методу групповой технологии, постоянное увеличение в общем объеме оборудования доли станков с ЧПУ и ГПС, комплексная автоматизация технической подготовки и управления производством путем интеграции проблемно-ориентированных САПР в единую систему. Для повышения эффективности и гибкости производства интегрированная САПР должна функционировать на основе одноразового ввода исходных данных и единой информационной базы реляционного типа, а в ее методологическую основу должны быть положены многоальтернативные оптимизационные модели, позволяющие обеспечить выбор взаимосвязанных конструкторских, технологических и организационных решений.

Методологические основы существующих САПР

Информационные модели САПР технологических процессов механической обработки (САПР ТП) - номенклатура, информационные связи и алгоритмы решения задач определяются принятой методологией проектирования. В САПР ТП, в основу которых положен метод типизации, используется иерархия взаимосвязанных моделей - типового (унифицированного) маршрута обработки, технологических операций и переходов [1]. Процесс проектирования в таких САПР ТП

состоит из следующих этапов [2]:

1. Описание исходной информации о детали на формальном языке и формирование конструктивно-технологического кода (КТК) детали;
2. Выбор по КТК типового технологического процесса;
3. Корректировка структуры типового процесса применительно к конкретной детали путем исключения ненужных технологических операций;
4. Корректировка содержания операций путем исключения ненужных технологических переходов;
5. Расчет параметров переходов - межпереходных размеров, режимов резания, норм времени;
6. Печать технологического документа.

Сравнительная простота реализации такого процесса проектирования привела к появлению в СССР и за рубежом многочисленных САПР ТП, например, "Технолог", "Симметрия", САПР, CAPSY [1,2]. Их применение эффективно на предприятиях, работающих по типовым регламентам, так как не изменяет существующей специализации производственных подразделений. Однако в самой методологии проектирования, когда типовой маршрут строится путем простого объединения маршрутов обработки отдельных деталей, заложена принципиальная невозможность оптимизации технологического процесса (ТП), т.к. при изменении номенклатуры деталей или программы их выпуска принятые модели операций могут оказаться нерациональными. Принципиально задачи структурной оптимизации ТП могут быть решены только на основе их синтеза из типовых решения при назначении видов заготовок, планов обработки поверхностей детали, способов базирования оборудования и технологической оснастки. Анализ САПР ТП, в основу которой положен метод синтеза [3],

показал, что ее информационная модель практически соответствует процессу ручного проектирования, а методологической основой является функциональная связь "обрабатываемая поверхность детали -> модель станка". Так как к одной операции относятся все поверхности, выполняемые на одном станке, то не схема построения технологической операции определяет оборудование, а, наоборот, оборудование определяет структуру операции. Поэтому САПР на основе синтеза типовых решений обеспечивает разработку ТП только для технологически несложных деталей, обрабатываемых на универсальных станках. В настоящее время становится все более очевидным, что без разработки новой методологии автоматизированного проектирования все работы по модернизации или созданию новых САПР не обеспечат существенного повышения качества и эффективности ТП.

Формальное описание структурной модели технологического комплекса как результата проектирования

С позиций системного подхода в качестве объекта технологического проектирования предлагается рассматривать структурную модель организационно-технической системы - технологического комплекса оборудования (ТК), реализующего изготовление заданной номенклатуры изделий в конкретных производственных условиях, при установленных сроках, объемах выпуска и минимальных приведенных затратах. Структурными элементами ТК являются производственные звенья, выполняющие технологические операции, звенья хранения и транспортные звенья, передающие заготовки (партии заготовок) от звеньев хранения к производственным звеньям или между ними в установленной последовательности. Формальное описание ТК можно представить с помощью структурной формулы блочного типа:

ТК \equiv СУ, ОПЕР, ТРАН, ХАР1, ХАР2, ХАР3, ХАР4, ДЕТ ...I .

где СУ - блок управления и системно-организационной характеристики комплекса, ОПЕР - блок производственных звеньев, ТРАН - блок транспортных звеньев, ХАР1...ХАР4 - блоки классификационной группы деталей, общетехнической, объемно-энергетической и технико-экономической характеристик комплекса, ДЕТ - блок планово-расчетных показателей ТП обработки деталей.

Каждый блок ТК характеризуется определенным составом параметров. Поэтому процесс изготовления конкретного изделия можно рассматривать как одно из возможных состояний структурных элементов ТК, а технологическую документацию как информационное отображение этого состояния. По нашему мнению такой подход представляется наиболее целесообразным при проектировании переналаживаемых поточных линий и ГПС.

Принципы технологического проектирования на основе синтеза компоновок станочных систем

В рамках рассмотренной выше концепции технологическое проектирование сводится к решению следующих задач:

1. Для установленной номенклатуры, программы выпуска и сроков изготовления конструктивно-подобных деталей определить состав, характеристики блоков и организационную форму ТК, оптимального для заданных производственных условий.
2. Для заданного состава и организационной формы, а также сроков изготовления определить характеристики блоков ТК и номенклатуру конструктивно-подобных деталей, при изготовлении которых суммарные приведенные затраты минимальны.

На основе исследования закономерностей формирования операций механической обработки нами разработан принципиально новый метод проектирования ТП, основанный на динамическом формировании возможных структур технологических операций и соответствующих им компоновок оборудования - метод синтеза компоновок станочных систем, обеспечивающий структурную оптимизацию ТП в условиях серийного производства [4]. Сущность метода заключается в следующем. Для детали в зависимости от класса, отношения длины к основному габаритному размеру, кода материала, степени стабильности и твердости назначается обобщенный маршрут обработки.

Последний состоит из последовательно выполняемых стадий механической и химико-термической обработки. Каждый элементарный технологический переход (ЭТП) исходного множества переходов относится к определенной стадии механической обработки. Для подмножества ЭТП, выполняемых в одной стадии, формируются возможные исходные структуры ТП с учетом уровней концентрации (объединения) ЭТП в проектные операции в зависимости от таких параметров ЭТП как схема формообразования (СФ), схема базирования (СХБ) и сторона доступности для обработки (СТД).

Установлены следующие уровни концентрации ЭТП в проектные операции: 1) Проектная операция (ПО) $\equiv \{ЭТП\}$, свойства: СФ, СХБ, СТД; 2) ПО $\equiv \{ЭТП\}$, свойства: СФ, СХБ, $\{СТД\}$; 3) ПО $\equiv \{ЭТП\}$, свойства: СФ, $\{СХБ\}$, $\{СТД\}$; 4) ПО $\equiv \{ЭТП\}$, свойства: $\{СФ\}$, $\{СХБ\}$, $\{СТД\}$.

При обработке деталей на станках сверлильно-фрезерно-расточной группы возможны варианты построения ТП, согласно которым ЭТП "фрезерование" и "сверление" могут быть выполнены в разных или в одной и той же технологической операции. Таким образом, при

проектировании единичных и групповых процессов могут быть сформированы соответственно по восемь исходных структур ТП.

Установлено [4], что элементарные технологические переходы, относящиеся к ПО, могут быть реализованы посредством 28 схем построения технологических операций (СПТО): четырех вариантов построения технологических переходов и семи вариантов компоновок станочных систем. Для каждой СПТО может быть синтезировано множество технологических компоновок станочных систем (ТКС), формальное описание каждой из которых задается с помощью формул блочного типа:

$$\text{ТКС} \equiv \text{КК}, \{\text{Ф}\}, \text{УД}, \text{ЗЗ}, \{\text{НОМ}, \text{ИО}\} \dots 2 .$$

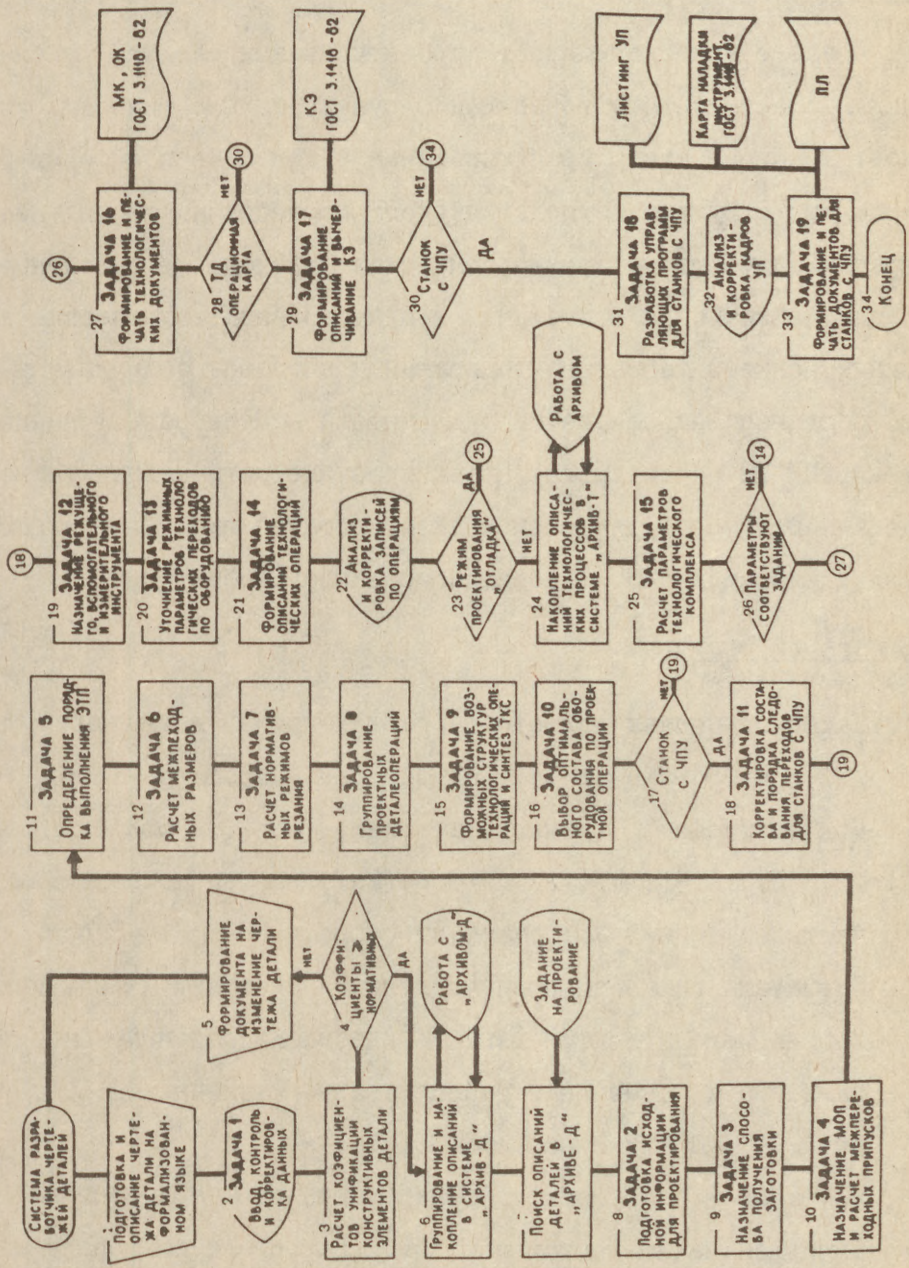
где КК, Ф, УД, ЗЗ, НОМ, ИО соответственно блоки конструктивной компоновки, схем формообразования, установочных движений, загрузки заготовки, номера и вида инструментального органа.

Структурной формуле ТКС соответствует множество станочных систем - моделей оборудования и комплектов приспособлений. Назначение возможных станков производится с учетом габаритных размеров заготовки, точностных характеристик операций и связанных с моделью типоразмеров инструментальных органов. Выбор оптимального варианта состава ТК производится по стадиям обработки по минимальному значению суммарных приведенных затрат.

Функциональная схема САПР ТП, в основу которой положен метод синтеза компоновок станочных систем, приведена на рисунке.

Первая очередь САПР, ориентированная на разработку единичных ТП механической обработки, реализована на базе ЕС ЭВМ, операционной системы виртуальных машин и комплексной автоматизированной реляционно-полной системы управления базой данных КАРС .

**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЕДИНИЧНЫХ И ГРУППОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ НАПРАВЛЕННОГО СИНТЕЗА КОМПОНОВОК СТАНОЧНЫХ СИСТЕМ**



Выводы

1. Процесс технологического проектирования следует рассматривать как процесс синтеза возможных структур технологических комплексов. Основные этапы проектирования - динамическое формирование исходных структур технологического процесса по уровням концентрации элементарных технологических переходов в проектные операции, назначение возможных схем построения технологических операций, синтез формальных описаний компоновок оборудования.
2. Созданная на основе метода синтеза компоновок станочных систем САПР ТП обеспечивает проектирование оптимальных технологических процессов для всех классов деталей на основе использования универсального и специализированного оборудования.

Список литературы

1. Технологическая подготовка гибких производственных систем / С.П.Митрофанов и др. Под общ.ред. С.П.Митрофанова. -Л.: Машиностроение, Ленингр. отделен., 1987. - 352 с.
2. Штур Г., Ф.-Л. Краузе. Автоматизированное проектирование в машиностроении. М.: Машиностроение, 1988. - 648 с.
3. Повышение гибкости производства за счет автоматизации технологического проектирования// Автоматизированные системы управления и применение вычислительной техники/ А.С.Старец и др. - М.: ЦИТИХимнефтемаш, 1985. - 37 с.
4. Некрасов Е.Н. Принципы формирования и выбора состава оборудования для механической обработки на основе синтеза технологических компоновок. - Вопросы радиоэлектроники. Технология производства и оборудования, 1983, вып.2, с.57 - 66.

КОММУНИКАЦИИ В БИБЛИОТЕКЕ

Нестеров, А.В.

Рассмотрены понятие и виды коммуникаций в библиотеке: личные, документальные, полевые, а также дефиниция документа, как носителя, коммуниканта и отображения нечто.

Сформулированы основные библиотечные концепции исходя из библиотечных законов Ранганатана, и семь основных принципов разработки компьютерных систем коммуникации научно-технической информации. Выделено понятие детонатности данных, т.е. такого свойства данных, которое вызывает генерацию новых данных, информации, знаний.

Рассматривается коммуникационная потребность, состоящая из потребности в данных, информационной потребности и потребности в знаниях (детонатной потребности).

Издравле библиотека была не только хранилищем книг и рукописей, но и местом, где общались люди, т.е. центром документально-информационной коммуникации (далее - коммуникации). В последнее время с развитием компьютерных методов библиотека стала еще и центром электронных коммуникаций.

Электронные, компьютерные, спутниковые, лазерные и другие средства коммуникации добавили к двум видам коммуникации: личным и документальным, третий - полевой.

К полевым коммуникациям можно отнести такие виды коммуникации, в которых сообщения представлены в виде какого-либо физического поля. Под коммуникацией будем понимать взаимодействие одного или более целеустремленных элементов с помощью сообщений, где сообщение есть выраженная мысль, предназначенная отправителем для того, чтобы продуцировать некоторые взаимодействия в получателе или в самом отправителе.

Д. Прайс /1/ отмечал, что научные коммуникации с помощью статей являются не только средством передачи научного сообщения,

но и способом урегулирования приоритетных конфликтов через регистрацию заявок, а не через предоставление информации. Получатель сообщения вступает во взаимодействие с сообщением, с целью, которая определяется как отсутствие цели, например, чтение ради чтения, как наличие цели для выполнения каких-либо действий, в частности, это может быть принятие решения по какому-нибудь поводу или ретрансляция полученного сообщения и, наконец, с целью познания, т.е. для генерации новых сообщений о неизвестных ранее элементах, процессах и взаимодействиях /2/.

Коммуникация считается состоявшейся, если у получателя продублируется изменение в эффективности какого-либо способа действия за счет инструктирования; изменение какой-либо вероятности выбора за счет информирования; изменение каких-либо удельных ценностей, приписываемых возможным результатам своего выбора за счет мотивирования /3/. Потребность в информации у человека проявляется в так называемой информационной потребности, которая у научно-технических работников наиболее широко выражена в информационной потребности в научно-технической информации (НТИ).

Однако, в общем случае, потребность в информации является частным случаем потребности в коммуникациях. Коммуникационная потребность выражается в потребности осуществлять взаимодействие для получения, обмена и создания данных, информации и знаний. Потребность в знаниях, т.е. потребность в познании Вселенной и генерации новых данных, информации и знаний о Вселенной удовлетворяется несколькими путями: генетическим, как способность к этой потребности, социальных "эстафет", как развитее этих способностей /4/, и целенаправленной деятельности в области познания Вселенной, как реализации этих способностей.

Потребность в информации является потребностью в коммуникации с целью принятия конкретных действий в конкретных ситуациях, удовлетворяется теми же путями. Потребность в данных является потребностью в коммуникации без определенной цели, а ради самого процесса коммуникации. Если процесс коммуникации заканчивается фиксацией у принимающего элемента или элемента коммуникационной среды сообщения передающего элемента, то происходит отчуждение и фиксация этого сообщения, т.е. воплощение сообщения в виде данных.

В противном случае сообщение является выраженным и не способно существовать вне передающего элемента, поэтому для получения выраженного сообщения необходимо самовзаимодействие, что не исключает наличие сообщения у передающего элемента, которое еще не выражено.

Таким образом, коммуникационная потребность выражается не только в явных коммуникациях: внешних и внутренних, а также в неявных, и не замыкается только на одной информационной потребности. Наиболее важной составляющей коммуникационной потребности является потребность в данных, детонатных творческой, познавательской потребности в знаниях, ради познания, творчества. Это следующая за релевантностью и пертинентностью характеристика данных, которая показывает, как повлияло полученное сообщение на состояние получателя сообщения. Если данные вызвали генерацию новых данных, информации, знания, то такие данные можно считать детонатными. Если данные привели к решению каких-либо проблем получателя известными способами, или ответили на какие-либо его вопросы, или он принял какие-либо решения, действия на их основе, то их можно считать пертинентными его потребности в информации.

В документальных коммуникациях данные, информация и знания фиксируются с помощью документов. Понятие документа является фундаментальным не только в библиотечном деле. Его исследовали многие ученые. С появлением электронных (компьютерных) средств коммуникации понятие документа значительно расширилось, а внедрение компьютеров в библиотеке привело к тому, что издания накапливаются не только на бумажных носителях, фотопленках, микрофишах, но и на магнитных носителях (лентах, дисках, дискетах), а в последнее время и в виде лазерных записей на оптических дисках. Книга, журнал и т.п. стали разновидностью документа - материального носителя информации. Данное определение - самое простое и не отражает всех аспектов документа.

Документ (книга) существует не сам по себе, а во взаимодействии с читателем, которое фиксируется в библиотеке. Один из классиков библиотечного дела Ранганатан сформулировал пять основных законов библиотеки :

I. Книга предназначена для использования.

2. Каждому читателю - свою книгу.
3. Каждой книге - своего читателя.
4. Экономь время читателя.
5. Библиотека - это растущий организм.

Сделаем попытку сформулировать основные концепции для библиотеки с современных позиций. Люди, анализируя окружающую нас действительность, пришли к двум фундаментальным понятиям. Это объекты и отношения между ними.

Существует две точки зрения, которые отличаются между собой на то, что считается более важным: объекты или отношения. С одной точки зрения любые объекты разлагаются на более мелкие до тех пор, пока не будет получен объект в виде "точки", не обладающий внутренней структурой, с другой стороны, в центре внимания оказываются отношения между объектами. Эти два взгляда проявляются во многих отраслях знаний, в частности, в программировании, в информатике и отражаются в объектно-ориентированном и процедурно-ориентированном подходах. На наш взгляд, обе точки зрения дополняют друг друга и отражают структурный и функциональный аспект проблемы. Однако, если учесть, что мир неисчерпаем, а познание субъекта ограничено, то в объектном подходе определить неделимый объект можно только с определенной степенью точности, поэтому с системной точки зрения существует третий аспект, освещающий элементный состав системы, включающей в себя объекты, между которыми выявлены отношения. Таким образом, системный подход объединяет объектный и функциональный подходы на основе трехаспектного рассмотрения процессов реальной действительности.

Исходя из того, что в библиотеке устанавливается прямая связь между источником (автор, организация, документ) информации и читателем, концепции должны отражать источник, читателя и их взаимодействие, в частности, отвечать на вопрос, что первично - читатель или документ. Можно сформулировать следующие семь концепций.

1. Источник существует для субъекта.
2. Субъект есть целеустремленный индивид.
3. Намерения субъекта слабо формализуемы.

4. Субъект способен оценить документ.
5. Документ существует для чтения, получения результата, познания.
6. Документ уникален и определяет хотя бы один предмет.
7. Библиотека-растущий организм, но он ограничен материально.

Пять законов Ранганатана вписываются в данные библиотечные концепции. В частности, пятый закон явно входит в седьмую концепцию, первый в пятую, второй закон неявно входит во вторую концепцию и, наконец, четвертый косвенно в третью, так как читатель часто затрудняется четко формулировать свои потребности.

Судя по пяти законам Ранганатана, он ставит на первое место книгу в споре книга - читатель, т.к. три из них посвящены книге. В нашем подходе предпочтение отдается читателю, т.к. ему отводятся четыре из семи концепций. Читатель обозначен субъектом, т.к. читатель - ролевая характеристика человека, в которой он выступает в стенах библиотеки. Этот же человек может быть и автором, и потребителем не только информации, но и метainформации и т.п. Вместо книги используется термин документ, как более общий, так как ^{под} понятие документ попадают различные виды изданной и не изданной литературы и другие носители информации.

Первая концепция явно определяет главенствующую роль субъекта по отношению к документу и источнику информации вообще.

Две следующие отражают социальный и психологический характер субъекта, а третий способность субъекта к ценностной ориентации. Остальные три концепции определяют документ с целевой, предметной и экстенсивной стороны.

Рассмотрим более подробно понятие документа. Документ есть носитель воплощенного отражения "нечто", служащий для его переноса от источника к приемнику в какой-либо среде. В качестве носителя может выступать какой-либо объект, процесс или поле. Отражение может быть представлено данными, информацией или знаниями. В качестве "нечто" может быть объект, процесс или поле. Источник или приемник могут быть представлены в виде индивида или целеустремленной системы. В качестве среды может выступать какое-либо пространство, неотделимое от времени.

С системной точки зрения документ есть не только носитель, но и отражение "нечто", то есть предмет и, наконец, это отражение передается кому-то, т.е. документ еще является и коммуникантом.

Таким образом, к документам можно отнести не все носители отражения, а только предназначенные источником для приемников, то есть документы возникают в сообществах, в которых существуют документальные коммуникации.

В качестве отражения "нечто" может выступать: образец нечто, например, гербарий, то есть объект, который отражает сам себя; изображение нечто, например фотография, то есть объект, который отображает нечто, похожий на него по форме; образ нечто, который в свою очередь состоит из схем нечто, знаков нечто и символов нечто. Схема нечто, например, структурная схема, есть объект, который отображает нечто, похожий на него по содержанию. Знак нечто или просто знак отражает нечто отличное от него самого. Символ нечто или просто символ отражает знак, то есть представляет знак знака или отражение неизвестно чего, то есть "ничто". Естественно, что в качестве нечто может выступать не только объект, но и процесс или поле, например, сигнал есть процесс, отражающий нечто отличное от него самого, в отличие от знака, который проявляется в виде объекта.

С точки зрения коммуникации документ несет данные, информацию и знания. В данном случае информация есть используемые потребителем данные для принятия решения и ретрансляции в пространстве и во времени, в знания есть используемые потребителем данные для генерации новых данных, информации и знаний.

Извлечение информации и знаний из данных осуществляется целеустремленным индивидом или системой в том случае, если на основе этих данных происходит выбор и выполнение каких-либо процессов, поэтому электронная коммуникация требует наличия средств манипуляции с активными данными, т.е. такими, которые могут быть обработаны компьютерными средствами. Таким образом, современное представление документа подразумевает активную форму документа в электронном (магнитном, оптическом) виде, а передача информации не только в виде передачи данных, но и в виде передачи технологии

обработки этих данных, в отличие от простой документальной коммуникации, где технология извлечения информации фактически определяется только человеком, потребляющим эту информацию.

Однако, передача такой информационной технологии, хотя и позволяет передавать информацию, не дает возможности передавать знания, так как она в этом случае ориентирована только на средства извлечения информации из данных.

Наивысшая ступень электронной коммуникации подразумевает глубокую обработку данных, т.е. наличие средств извлечения знаний из данных. Таким образом, современная передача информации должна ориентироваться не только на передачу данных, информационных технологий, но и на передачу технологий знаний, т.е. таких методов, средств и навыков, которые позволяют читателям (приемникам, потребителям) не только воспринимать извлекаемую информацию, но и генерировать новые данные, информацию и знания, которые, естественно, отсутствуют в передаваемых им базах данных.

Таким образом, современная крупная библиотека представляет три вида коммуникаций: личные, документальные и электронные (полевые). Особенностью электронной коммуникации является необходимость глубокой обработки документов. При глубокой обработке документа документ рассматривается с системной точки зрения как материальный носитель, коммуникант и отображение нечто.

При разработке, создании и эксплуатации компьютерных систем коммуникации НТИ возникают проблемы, связанные с определением главенствующей роли элемента в системе коммуникации; а также с выбором принципов, закладываемых в конструкцию данных систем /6/.

Любая система коммуникации НТИ подразумевает источник НТИ, среду, в которой осуществляется передача НТИ, и приемник НТИ. Какой из этих элементов является главенствующим? С нашей точки зрения - приемник НТИ, т.к. именно он извлекает информацию и знания из данных, которые создает источник, хранит и передает среда.

К основным принципам разработки систем коммуникации НТИ можно отнести следующие семь, три из которых относятся к приемнику НТИ, два - к коммуникационной среде и два к источнику, создающему НТИ. То, что три принципа имеют отношение к приемнику НТИ, а

а остальные четыре относятся по два к двум другим элементам системы коммуникации НТИ, указывает на главенствующую роль приемника НТИ.

Итак, семь основных принципов, которые будем учитывать при разработке, создании и эксплуатации системы коммуникации НТИ:

1. Знания и информация отчуждаются от источника НТИ с помощью данных.
2. Все данные о чем-либо не нужны, в силу вероятностного характера их получения.
3. Наиболее важным являются связи между данными.
4. Очень важны связи между данными и людьми.
5. Сверхважными являются связи между людьми.
6. Данные должны быть многоаспектны.
7. Для извлечения знаний из данных посредник не нужен (противопоказан).

Сделаем некоторые комментарии к данным принципам. Пункты 4, 5, и 7 относятся к приемнику НТИ, т.к. определяют взаимодействие читателя с другими элементами системы коммуникации НТИ. В частности, только читатель, непосредственно общаясь с документом или автором документа, может извлечь знания из данных, и наличие информационного посредника противопоказано. Здесь под знаниями будем понимать используемые данные для генерации новых данных, информации и знаний. Система коммуникации НТИ должна по возможности предоставлять прямые связи между людьми, участвующими в этой системе. И, наконец, система коммуникации НТИ должна фиксировать все контакты приемников НТИ с данными этой системы.

Пункты 2 и 3 характеризуют среду коммуникации, т.к. определяют то, что фиксируется в системе коммуникации НТИ. В частности, полнота фиксации документов не является гарантом полноты данных о чем-либо, т.к. получение, правильное хранение, передача и использование данных представляет собой вероятностный процесс. Одним из свойств данных является взаимодействие данных между собой в коммуникационной среде, т.е. отношения между документами. Используя эти отношения, можно увеличить вероятность получения относительно полных данных о чем-либо.

Пункты 1 и 6 характеризуют источник НТИ. Если система ком-

муникации НТИ отчуждает от источника информацию и знания, то она их фиксирует с помощью данных, т.е. знания и информация в коммуникационной среде представлены в виде данных. Особенностью источника НТИ, передающего данные, должна быть многоаспектность этих данных, которая может позволить увеличить точность их поиска и вероятность их неискажения в коммуникационной среде. Один из первых отметил эту особенность Ранганатан.

Л и т е р а т у р а

1. Price D. The science of science // The science of science. - Ed. M. Callaghan, A. Mackay. - London: 1964. - P. 236-384.
2. Нестеров А.В. Информатика в библиотеке // Создание и интеграция документальных и фактографических ИПС. - Новосибирск: Изд. ГИИТБ СО АН СССР, 1988. - с. 20-40.
3. Ackoff R.L., Emery F.E. On purposeful systems. - N.Y.: 1972. - 269 p.
4. Розов М.А. Информационно-семиотическое исследование: процессы - эстафеты и принципы дополнительности // НТИ. Сер.2. - 1984. - № 2. - с. 1-7.
5. Ranganathan S.R. Colon classification. 6-th ed. - N.Y.: 1963. - 419 p.
6. Kuntz W. How to know what is known: designing switches for communication // Represent and Exchange. knowledge Basis Inform. Process Proceedings 5 Inf. Res. Forum Int. Sci. Heidelberg, Sept. 5-7, 1983. - Amsterdam, 1984. - P. 51-60.

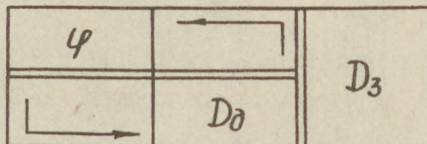
ОПЕРАТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРИ ГИБКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ

Осипов В.А., Сумский филиал ХПИ им.В.И.Ленина, СССР
Назаренко В.И., зам.главного инженера ВНИИАЭН, СССР

Одно из направлений решения задачи повышения качества машиностроительной продукции – технологическое. Существующие методы проектирования технологии механообработки деталей представляют определенную ценность для того или иного типа производства, но не решают проблему в целом: низкий уровень формализации проектных работ, отсутствие теории и методов проектирования оперативной технологии не позволяет в должной мере использовать для этих целей вычислительную технику, осложняет создание систем автоматизированного проектирования (САПР ТП). В этой связи затруднительно прогнозирование характеристик технологических процессов, что позволило бы перенести решение многих вопросов из стадии их освоения на стадию проектирования. Особенно это важно при создании САПР ТП единичных технологических процессов (см. ГОСТ 3.1109-82), являющихся универсальными и применимыми для любого типа производства и любых деталей. Успешное решение поставленных вопросов позволило бы реально подойти к широкой реализации гибких автоматизированных производств (ГАП).

Модель проектирования технологической операции.

Для реализации поставленной задачи разработана математическая модель технологической операции, выраженная в виде крупноблочной структурной матрицы системы (СМС) П, как некоторое преобразование φ детали D_0 в заготовку D_3 .



Здесь в качестве системы принята операция как законченная часть технологического процесса. При описании свойств объекта моделирования учитывались: размеры поверхностей и их возможные отклонения; схема базирования; пространственные размерные связи; этапы обработки поверхностей; метод обработки в виде сочетания формообразующих движений; характеристики процесса резания и др. Для обеспечения точности и качества обрабатываемых поверхностей следует учитывать историю появления той или иной операции, что устанавливается структурой этапов проектирования. Поскольку такая структура показана на примере обработки осесимметричных деталей, то детализированная СМС преобразования П/ включает: исходные данные; вычислительные объекты, объединяющие в себе расчетные блоки по тем или иным видам проектных работ; управляющие команды, обуславливающие формирование матричного цикла по обеспечению выполнения расчетной процедуры. Взаимодействие блоков и их функционирование определены соответствующими алгоритмами и показаны в П/ стрелками прямых

и обратных преобразований.

Подготовка базы данных.

Поскольку информация на чертеже представлена в концентрированном виде, ее необходимо преобразовать таким образом, чтобы получить дифференциацию технических требований по осям трехмерного пространства. Учитывая, что информация о детали является функцией ее структуры, все поверхности детали нумеруют и проектируют на оси координат. При этом решается прямая задача способом определения среднего класса точности всей размерной цепи. В результате такого преобразования получают совокупность проекций поверхностей на координатные оси, приведенных к цепному виду. Назначение этапов обработки поверхностей (ЭОП) выполняется в соответствии с общемашиностроительными рекомендациями.

Описание геометрии детали.

Основное требование при этом - универсальность описания и возможность формализации расчетов - достигается посредством использования теории R-функций [2] и разработанного "входного языка" для ЭВМ. Содержанием этого "языка" являются некоторые опорные функции элементарных поверхностей G_i и логические операции теории множеств (объединение, пересечение, отрицание). Функции выражены уравнениями неявного вида, что исключает неоднозначность их расчета, и записываются в собственной системе координат, обеспечивая независимость параметров функций от внешних связей поверхностей. Положение поверхности в общей системе координат, начало системы и угол поворота вводятся в ЭВМ как дополнительные параметры. Разработанный транслятор позволяет употреблять в описании детали операции "И", "ИЛИ", "НЕ" в соответствии с принятым в алгебре логики приоритетом их выполнения. Методика построения системы координатных функций для поверхностей сложной формы основана на применении R-функций, которые по ряду свойств аналогичны функциям алгебры логики. При этом важным является тот факт, что полученные уравнения имеют в левой части единое аналитическое выражение вида

$$Q = Q(z, x) = \bigvee_{i=1}^n [\bigwedge_{i=1}^n Q_i(z_i, x_i)] = \bigvee_{i=1}^n [\bigwedge_{i=1}^n G_i(z_i, x_i)] = 0 \quad \dots 2.$$

где z_i, x_i - параметры соответствующих опорных функций G_i .

Для удобства использования такого "языка" разработана классификация поверхностей, применение которой значительно облегчает "конструирование" сложных поверхностей из более простых. Для учета знака действия припуска (для вала и отверстия припуски имеют противоположный знак), а также для получения координат точек изменяющегося по ЭОП контура заготовки используется программная коррекция логического описания детали с учетом величин допусков и припусков. С этой целью достаточно уравнение /2/ привести к виду

$$Q = Q(z + \Delta z, x + \Delta x) = \bigvee_{i=1}^n [\bigwedge_{i=1}^n G_i(z_i + \Delta z_i, x_i + \Delta x_i)] = 0 \quad \dots 3.$$

где $\Delta Z_i, \Delta X_i$ - приращение параметров соответствующих опорных функций G_i .

Использование формального представления информации о детали обеспечило возможность разработки формального алгоритма расчета операционных размеров:

- 1) рассчитать операционные допуски;
- 2) рассчитать операционные припуски;
- 3) взять очередную операцию $S = f(S_i)$;
- 4) произвести коррекцию описания детали $\phi(G)$ на величину $\Delta[Z(P), P]$ с учетом состояния поверхности P и ЗОП;
- 5) найти координаты обрабатываемой и базовой поверхностей;
- 6) рассчитать операционные размеры e_z и e_x в направлении соответствующих осей координат;
- 7) повторить с п.3.

В результате приведенных преобразований геометрические характеристики деталей и возможные колебания их точностных параметров посредством логических правил и матричных циклов достаточно просто формализуются в блочно-координатной матрице.

Выбор способа обработки поверхностей.

Геометрическая форма является наиболее характерной особенностью деталей. Она непосредственно влияет на технологическую схему формообразования, метод достижения требуемой точности, выбор технологических баз, порядок обхода поверхностей, операционные размеры, припуски, допуски. Одной из основных причин возникновения погрешностей обработки взаимосвязанных поверхностей является искажение относительной траектории движения инструмента. Деталь, как множество поверхностей, может быть представлена в виде некоторой системы взаимодействующих координатных базисов обрабатываемой поверхности, технологической базы, инструмента и др., каждому из которых задается подмножество элементарных перемещений, присущих той или иной схеме обработки. Значения элементарных перемещений определяются из аналитических выражений, представляющих собой произведения матриц поворотов и перемещений координатных базисов. Эквивалентная схема обработки заменяется СМС, содержащей кинематические характеристики возможных способов обработки T_i , характеризующихся набором элементарных движений. Для получения способа обработки проводятся структурные матричные циклы, позволяющие осуществить перебор элементарных движений для получения T_i . В результате ограничений, налагаемых при рассмотрении реальной схемы обработки, производится исследование способа по точностным параметрам. Это служит объективной оценкой для принятия рациональных технологических решений при анализе той или иной технологии. Окончательный выбор рационального плана обработки осуществляется по экономическим критериям.

Предлагаемая методика позволяет осуществить прогнозирование характеристик технологического процесса, что позволит технологическому персоналу посредством различных устройств вывода информации оперативно оценить основную гипотезу проектирования. Большинство вычислительных алгоритмов методик реализованы программно на

ЕС ЭВМ, что позволяет автоматизировать значительный объем работ при технологической подготовке производства.

Список литературы

1. Шатикин Л.Г. Структурные матрицы и их применение для исследования систем.-М.: Машиностроение, 1974.-247 с.
2. Рвачев В.Л. Геометрические приложения алгебры логики.-Киев.: Техника, 1967.-222 с.

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ САПР В
ИНТЕГРИРОВАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

Павлов В.В., Московский станкоинструментальный институт, СССР

В интегрированном автоматизированном производстве САПР конструкторской подготовки производства должна обеспечивать создание изделий, максимально учитывающих все имеющиеся особенности, а САПР технологической подготовки должна обеспечивать не только эффективное решение всех технологических задач до начала изготовления изделия, но и оперативное изменение технологии обработки с учетом изменения условий производства. При этом возникают проблемы комплексного представления разнородных процессов и явлений - технических, организационных, социально-экономических и т.п. Для решения этих проблем применяется иерархическая система математического моделирования объектов на различных уровнях абстрагирования - ИСТРА [1, 2]. В этой системе любой объект - конструкция изделия или оснастки, технологический или производственный процесс - моделируется одинаковыми средствами на уровне теоретико-множественных, логических и количественных свойств и отношений. Системная связность всех моделей в САПР интегрированного автоматизированного производства обеспечивается на основе аппарата полихроматических графов. В системе ИСТРА для отображения в математических моделях свойств изделия и производственной системы используется единое понятие - контур. Поскольку цвет относится к категории свойств объекта, разные цвета могут описываться в терминах контуров: i -й цвет - контур F_i^c , j -й цвет - контур F_j^c , и т.д. Полихроматический граф производственной системы P представляется в виде шестерки

$$ПГ = (P, C, F(P), F(C), [P \times F(P)], [C \times F(C)]) \dots 1$$

Здесь P - множество вершин /элементов производственной системы/, C - множество ребер /связей между элементами/, $F(P)$ - множество контуров /цветов/ вершин, $F(C)$ - множество контуров /цветов/ ребер, $[P \times F(P)]$ - булева матрица контуров, определяющих раскраску вершин, и $[C \times F(C)]$ - булева матрица контуров, определяющих раскраску ребер графа. Обыкновенный граф $G=(P, C)$ с сопоставлениями вершин и ребер, эквивалентными //, можно считать бесцветным, соответствующим каркасу полихроматического графа $ПГ$. Составы контуров вершин представляются булевой матрицей контуров

$$\|c_{ij}\|_{P, F(P)} = [P \times F(P)], \dots 2$$

где $c_{ij}=1$, если F_j^c входит в состав F_i^c контуров элемента p_i^c .

Булева матрица контуров ребер имеет вид

$$\|c_{ij}\|_{C, F(C)} = [C \times F(C)]. \dots 3$$

В полихроматических графах построение путей, цепей, циклов, выделение подграфов и другие операции существенно отличаются от аналогичных операций с бесцветными графами, так как здесь необходимо учитывать ограничения, обусловленные взаимосвязью контуров вершин и ребер. При проектировании технических систем в САПР наиболее продуктивными являются дизъюнктивная и конъюнктивная формы связи контуров, которые интерпретируются следующим образом. Сам $ПГ$ - граф является моделью порождающей среды, а выделяемые из него

пути, цепи, подграфы и т.п. будут порождаемыми объектами или, при решении проектных задач - объектами проектирования. Простые элементарные пути, цепи и ориентированные циклы будут простыми объектами, а все остальные - сложными объектами проектирования, получаемыми объединением нескольких простых объектов. Любому простому элементарному пути M_i , представленному как упорядоченная последовательность вершин, соответствует раскраска $F(M_i)_p$, являющаяся функцией раскраски входящих вершин $F(P_k)$. С другой стороны, путь M_i может быть представлен как упорядоченная последовательность дуг, и этому пути соответствует раскраска $F(M_i)_c$, являющаяся функцией раскраски входящих дуг $F(C_{i_k(i_{k+1})})$. Если полихроматические и вершины и дуги, то раскраска $F(M_i)$ определяется одновременно раскраской вершин и дуг. Вводится булево векторное пространство контуров, в котором составы контуров $F(P_k), F(C_{i_k(i_{k+1})})$ и другие представляются как булевы векторы. При дизъюнктивной форме связи раскраска пути $F(M_i)_p$ определяется как логическая сумма векторов раскраски вершин, а $F(M_i)_c$ - как логическая сумма векторов раскраски дуг. Общая раскраска объекта, соответствующего пути M_i , определяется логическим сложением $F(M_i)_p$ и $F(M_i)_c$. Матрицы /2/, /3/ при дизъюнктивной форме связи называются дизъюнктивными матрицами контуров. При конъюнктивной форме связи контуров раскраска пути определяется как логическое произведение векторов раскраски вершин и дуг, а матрицы /2/, /3/ называются конъюнктивными.

При математическом моделировании производства широко применяются табличные, сетевые и перестановочные модели системы ИСТРА. Аппарат полихроматических графов позволяет с единых позиций представлять все эти модели. Изменение предмета труда - изделия A в процессе производства рассматривается как переход из состояния A_{k-1} в состояние A_k под воздействием элемента P_k производственной системы P , представляемой полихроматическим графом вида /1/. Контур $F(A)$ изделия и $F(P)$ производственной системы описываются в едином булевом пространстве, причем $F_i(A)$ означает собственно свойство изделия, а $F_i(P)$ характеризует возможность воздействия производственной системы на $F_i(A)$. Воздействие P_k на объект A может быть позитивным, негативным или нейтральным. При позитивном воздействии в последующем состоянии A_k по сравнению с A_{k-1} появляются либо новые элементы /контур/, либо новые отношения или связи между ними; при негативном воздействии в последующем состоянии A_k по сравнению с A_{k-1} исчезают некоторые элементы /контур/ или некоторые отношения и связи. При нейтральном воздействии свойства объекта обработки не изменяются.

Рассмотрим механизм позитивного воздействия системы P на объект обработки A . Если контур F_i объекта A характеризуется множеством M_i параметров, то требуемое качество контура будет обеспечено, когда для каждого параметра $m_j \in M_i$ погрешности числового значения не выходят за пределы установленного поля допуска. Поэтому на логическом уровне состояние контура определяется логической переменной

$$F_i = \begin{cases} 1, & \text{если } \forall m_j \in M_i (\omega_j \subseteq \Delta_j), \\ 0, & \text{если } \exists m_j \in M_i (\omega_j \setminus \Delta_j \neq \emptyset), \end{cases} \dots 4$$

где ω_j - поле рассеяния погрешностей параметра m_j , а Δ_j - поле допуска на погрешности параметра m_j . При $F_i = 1$ контур удовлетворяет всем предъявленным к нему требованиям - в этом случае контур существует /реализован/, а в случае $F_i = 0$ контур не реализован. При дизъюнктивной форме связи состояние любого контура $F_i(A)$ описывается отношением /4/, поэтому в исходном состоянии $F_i(A) = 0$, а в конечном реализованном состоянии $F_i(A) = 1$. Реализация $F_i(A)$ может быть осуществлена за счет элемента P_k , имеющего

контур $F_i(p_k)$. Логические значения $F_i(p_k)$ будут такими:

$$F_i(p_k) = \begin{cases} 1, & \text{если } p_k \text{ реализует контур } F_i(A) \text{ изделия,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Состав контуров производственной системы, взаимодействующих с контурами объектов обработки, равен

$$F(P) = \bigvee_{k=1}^n F(p_k), \quad \dots 5$$

где n - число элементов порождающей модели, взаимодействующих с объектом обработки. Для изготовления изделия A с составом контуров $F(A)$ в системе P необходимо

$$F(A) = F(P) \wedge F(A). \quad \dots 6$$

Результат воздействия элемента p_k на контуры объекта A определяется по формуле

$$F(A)_k = (F(A)_{k-1} \vee F(p_k)) \wedge F(A), \quad \dots 7$$

где $F(A)$ служит для ограничения $F(A)_k$ составом контуров, принадлежащих A . Производительные возможности элемента p_k по отношению к нереализованным контурам объекта A характеризуются следующими группами контуров: - контуры, которые реализуются элементом p_k

$$F(A)_k^I = \overline{F(A)}_{k-1} \wedge F(p_k) \wedge F(A), \quad \dots 8$$

где $\overline{F(A)}_{k-1}$ - результат инверсии вектора $F(A)_{k-1}$;

- контуры, которые не могут быть реализованы элементом p_k

$$F(A)_k^{II} = \overline{F(A)}_{k-1} \wedge \overline{F(p_k)} \wedge F(A), \quad \dots 9$$

где $\overline{F(p_k)}$ - результат инверсии вектора $F(p_k)$.

Элемент p_k может быть использован для реализации A при условии $F(A)_k^I \neq 0$.

Если известна совокупность P_i элементов, то состав контуров $F(P_i)$, взаимодействующих с контурами объекта A , вычисляются по формуле /5/, и достаточен для изготовления A при условии /6/.

Дизъюнктивная форма связи контуров объекта и порождаемой модели естественным образом описывает переход контура $F_i(A)=0$ в реализованное состояние $F_i(A)=1$ под воздействием конкретного элемента p_k , имеющего контур

$F_i(p_k)=1$. Однако, из-за чисто формальных свойств дизъюнкции логических переменных, в этом случае невозможно описать реализацию контура $F_i(A)$ при одновременном воздействии нескольких элементов производственной системы. В подобных случаях применяется конъюнктивная форма связи контуров объекта и порождающей среды. При конъюнктивной форме связи и в исходном, и в конечном состоянии объекта истинное значение логических величин контура $F_i(A)$, подлежащего реализации, обозначается $F_i(A)=1$. Значение $F_i(A)=0$ контур имеет только в случае, если он не должен входить в состав $F(A)$ или не реализован. Логические значения контура $F_i(p_k)$ элемента порождающей среды, влияющего на условия существования $F_i(A)$, будут такими:

$$F_i(p_k) = \begin{cases} 1, & \text{если } p_k \text{ участвует в реализации } F_i(A); \\ 0, & \text{если } p_k \text{ не участвует в реализации } F_i(A). \end{cases}$$

Воздействие p_k на контуры объекта A при конъюнктивной форме связи определяется по формуле:

$$F(A)_k = F(A) \wedge F(p_k), \quad \dots 10$$

где $F(A)$ - требуемый набор контуров объекта A . Вопрос о действительной реализации любого контура $F_i(A)$ здесь решается путем анализа достаточности состава элементов производственной системы для реализации этого контура. Требуемый состав таких элементов $P_{F_i} = (p_{i_1}, p_{i_2}, \dots, p_{i_m})$ определяется заранее; контур $F_i(A)$ будет реализован при условии

$$F_i(A) = F_i(P_{F_i}) = \bigwedge_{k=1}^m F_i(p_{i_k}) = 1. \quad \dots 11$$

Состав контуров производственной системы, взаимодействующих с контурами объектов обработки, определяются по формуле

$$F(P) = \bigvee_{i=1}^n F_i(P_{F_i}) = \bigvee_{i=1}^n \bigwedge_{k=1}^m F_i(p_{i_k}). \quad \dots 12$$

Система P может быть достаточной для реализации контуров A при условии /6/, где $F(P)$ вычисляется по формуле /12/.

Производительные возможности элемента p_k по отношению к контурам объекта A характеризуются следующими группами контуров:

- контуры, в реализации которых p_k может участвовать

$$F(A)_k^I = F(A) \wedge F(p_k); \quad \dots 13$$

- контуры, в реализации которых p_k не может участвовать

$$F(A)_k^{II} = F(A) \wedge \bar{F}(p_k). \quad \dots 14$$

Использование отношений /5/.../14/ позволяет не только осуществлять автоматизированное проектирование, но и анализировать технологические возможности производственной системы, определять требования к конструкции изделия с целью улучшения его технологичности, разрабатывать рекомендации по содержанию и порядку совершенствования производственной системы и т.п.

Моделирование негативного и нейтрального воздействия обрабатывающей системы P на объект A осуществляется так. Состав контуров элемента p_k разделяется на три группы: $F(p_k)$ - позитивно воздействующие контуры; $F(\bar{p}_k)$ - негативно воздействующие и $F(\dot{p}_k)$ - нейтрально воздействующие контуры.

Негативно воздействующий контур $F_j(\bar{p}_k)$ имеет истинностные значения

$$F_j(\bar{p}_k) = \begin{cases} 0, & \text{если воздействие } F_j(\dot{p}_k) \text{ приводит к переходу } F_j(A) = 1 \\ & \text{в состоянии } F_j(A) = 0; \\ 1, & \text{если } F_j(\dot{p}_k) \text{ не влияет на состояние } F_j(A). \end{cases}$$

Так как при нейтральном воздействии состояние контуров не изменяется, то при дизъюнктивной форме истинностные значения всех контуров в $F(\dot{p}_k)$ равны 0, а при конъюнктивной форме связи - 1. Поэтому воздействие p_k на контуры при дизъюнктивной форме связи должно определяться по формуле /77/, дополненной составами $F(\bar{p}_k)$ и $F(\dot{p}_k)$:

$$F(A)_k = (F(A)_{k-1} \vee F(p_k) \vee F(\dot{p}_k)) \wedge F(\bar{p}_k) \wedge F(A); \dots 15$$

воздействие p_k на контуры A при конъюнктивной форме связи должно определяться по формуле /10/, дополненной составами $F(\bar{p}_k)$ и $F(\dot{p}_k)$:

$$F(A)_k = F(A) \wedge F(p)_k \wedge F(\bar{p})_k \wedge F(\bar{p})_k. \quad \dots 16$$

Рассмотренные формы связи между контурами элементов A и P соответствуют отношениям между вершинами полихроматических графов; при необходимости аналогичные отношения могут быть введены и для ребер $ПГ$ -графов. Это и позволяет использовать полихроматические графы в качестве единого математического аппарата при разработке типовых структурных моделей различных объектов проектирования. Эти модели являются основой математического, информационного и программного обеспечения создаваемой в Московском станкоинструментальном институте САПР технологической подготовки производства изделий в интегрированном автоматизированном машиностроении.

Список литературы.

1. Павлов В.В. Структурное моделирование производственных систем. - М.: Мосстанкин, 1987, - 80 с.
2. Павлов В.В. Типовые математические модели в САПР ТПП. - М.: Мосстанкин, 1989, - 76 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ ИЗ КИРПИЧА

ПОГОДИН В. М., ВНИИСТРОЙДОРМАШ, СССР

В настоящее время в жилищном строительстве СССР количество возводимых зданий со стенами ручной кладки из кирпича или легких блоков составляет около трети общего объема, а в строительстве массовых общественных зданий - около 80% [1].

Кирпич, как строительный материал, обладает уникальными теплотехническими, эргономическими и архитектурными свойствами, конструкция каменных стен отличается высокой долговечностью, теплоустойчивостью, эксплуатационной надежностью. Объем производства высококачественного кирпича растет за счет ввода в строй серии мощных автоматизированных кирпичных заводов. В то же время укладка кирпича является полностью ручной, тяжелой, малопrestижной и опасной работой. Средний возраст каменщиков непрерывно увеличивается, производительность труда держится на весьма низком уровне, что объясняется существованием неустраненных подсобных ручных работ (подача раствора и кирпича "под руки", перестановка и подмащивание лесов, подвозка и перелопачивание раствора, неудобная рабочая поза и т. п.).

Таким образом, возникает комплексная, социальная, научная и техническая проблема создания комплекса машин, которые исключат тяжелый и малопrestижный труд каменщика, позволят повысить производительность труда и сократить разрыв между объемами увеличения производства кирпича и уменьшения численности каменщиков, улучшить условия их труда.

Во ВНИИстройдормаше (СССР, Москва) ведутся исследования и разработки роботизированного комплекса машин для малолетней технологии возведения зданий из кирпича. Одним из компонентов этого комплекса является стенд для отладки системы разборки и транспорта кирпича и системы подвижности кабины (МАКАМ) [2].

Макам предназначен для того, чтобы максимально механизировать все вспомогательные ручные работы процесса кирпичной кладки: подача и раскладка кирпича и раствора, подноска и перемешивание раствора. На долю человека остается только финишная операция - укладка кирпича в стену. Кроме того МАКАМ обеспечивает удобную позу, позволяющую вести кладку с наивысшей производительностью во всей рабочей зоне, а также защиту каменщика от неблагоприятных метеофакторов (дождь, снег, жара, ветер и т. п.).

жены захваты кирпича 16, а по обе его стороны установлены два питателя 17.

На элементах конструкции стрелы 3 закреплен шланг 18, механизма подачи раствора 6. Для приема кирпича кабина каменщика 4 оборудована наклонным роликовым конвейером 19, шланг 18 с раствором закрепляется на поворотном кронштейне, служащем для изменения положения растворной воронки 20 в зависимости от направления движения кабины 4. Система управления рабочими операциями манипулятора (движение вдоль кладки, подъем и опускание, поворот) включает пульт управления 21 в кабине каменщика с элементами регулирования скоростей движения исполнительных механизмов.

Система работает следующим образом. С помощью грузоподъемной машины, например, крана, манипулятор устанавливается на перекрытии строящегося здания. Каменщик с помощью рукояток пульта управления 21, расположенного в кабине 4, управляет движением гидроцилиндров 13 звеньев стрелы 3, изменяя вылет и высоту подъема кабины 4, а также ориентацией поворотной платформы 2 и кабины 4 с помощью механизмов поворота 8 и 14. Затем переключателями пульта управления 21 назначается режим работы механизмов подачи кирпича и раствора 6, скорость движения вдоль кладки. После нажатия кнопки "автомат" включаются приводы механизмов 11, и кабина 4 начинает двигаться вдоль кладки, а материалы поступают в кабину и на возводимую стену. Кирпич с помощью разборщика 10 снимается с поддона 9 и поступает на захваты 16 кирпича, расположенные на цепном конвейере механизма подачи кирпича 5 и перемещается по стреле 3 в кабину 4 на наклонный роликовый конвейер 19, по которому скатывается непосредственно к левой руке каменщика. При этом включаются различные питатели в зависимости от вида кладки (облицовка, внутренняя кладка). Одновременно механизм подачи раствора 6 осуществляет его подачу по гибкому шлангу 18 на возводимую стену. Система управления осуществляет движение кабины 4 в автоматическом режиме параллельно кладке на заданном расстоянии от нее, которое обеспечивается потенциометрическими датчиками. Один из которых "следит" за параллельностью рабочей плоскости кабины возводимой стене, а другой - за соблюдением постоянного расстояния между кабиной и стеной.

Устройство 15 удерживает кабину 4 и вертикальном положении во всем диапазоне изменения высоты и вылета манипулятора и координат положения каменщика внутри кабины.

После укладки ряда кирпичей каменщик, управляя движением шарнирно-сочлененной стрелы 3, поднимает кабину 4 на необходимую

высоту, назначая рабочую скорость, и продолжает кладку кирпича.

Испытания манипулятора проводились с целью проверки работоспособности манипулятора и его систем, механизмов разборки и транспортировки кирпича и их функционального взаимодействия, установления действительной циклограммы работы разборщика кирпича.

В результате проведенной отладки системы подвижности манипулятора (подъем-опускание стрелы, поворот платформы и кабины) обеспечено плавное регулирование скоростей исполнительных устройств.

Испытания показали, что обеспечивается устойчивость манипулятора во всем диапазоне рабочей зоны (отрыва опор от земли не наблюдалось на максимально допустимом вылете 7,2 м).

Параметры системы подвижности манипулятора и фактическая циклограмма работы разборщика кирпича определялись из осциллограмм рабочих процессов. В результате математической обработки осциллограмм получены следующие данные:

- величина максимального удаления кабины от плоскости стены при перемещении вдоль рабочей зоны - 75 мм:
- среднее арифметическое отклонение кабины от заданного расстояния при движении из одного крайнего положения в другое - 11,5 мм:
- время запаздывания поворота кабины - 2 с.:
- максимальный угол рассогласования между платформой и кабиной - 3°.
- время разборки одного поддона кирпича в среднем составляет 24 минуты.

В результате проведенных испытаний установлено, что разработанная система поштучной разборки и транспортировки кирпича позволяет осуществлять требуемые технологические операции, система управления движениями исполнительных органов манипулятора обеспечивает малые ("ползучие") скорости перемещения кабины вдоль кладки и ее необходимую ориентацию относительно кладки во всей рабочей зоне.

Список литературы:

1. Маклакова Т. Н., Нанасова С. М., Бородай Е. Д., Житков В. П. Конструкции гражданских зданий. М.: Стройиздат, 1986 г., стр 3-4.

2. А. С. №1490240. Устройство для кладки кирпичных стен. Малиновский Е. Ю., Савельев В. П., Погодин В. М. и др. - Б. И., 1989, №24.

ТЕХНОЛОГИЯ, УНИКАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ
КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ БЕЗ РАЗРУШЕНИЯ

Смелянский Р.М., НПО "РостНИИТМ",
СССР

Рост требований к качеству создаваемой техники определяет задачи создания новых, подчас нетрадиционных, методов и средств контроля, отличающихся высокой объективностью, информативностью и производительностью при сравнительно низких затратах труда и потерях обрабатываемых материалов. Этим условиям хорошо удовлетворяют технологические процессы, аппаратура и оборудование, созданные на основе использования неразрушающих физических способов испытаний. С их помощью можно без разрушения выявлять внутренние и микроскопические наружные нарушения сплошности металлов и соединений, например, сварных и паяных, оценивать качество термической обработки, толщину защитных и упрочняющих покрытий, марочность металла, его структуру и механические свойства, герметичность конструкций и другие важные показатели, влияющие на надежность и долговечность выпускаемых изделий.

В докладе излагаются технологические процессы и средства неразрушающего контроля, разработанные в НПО "РостНИИТМ" и внедренные на промышленных предприятиях.

Контроль твердости

Известно, что твердость является одной из важнейших характеристик деталей, работающих при повышенных нагрузках или в условиях приводящих к интенсивному износу поверхности. Измерение твердости осуществляется различными способами. Для металлических из-

делий наиболее употребительны твердомеры на основе методов Роквелла, Виккерса и Бринелля. Традиционные конструкции таких устройств малопригодны для контроля крупногабаритных, фасонных деталей, а также для автоматизации процесса контроля изделий изготовляемых в больших количествах. Для решений таких задач мы обратили внимание на сравнительно новый метод контроля твердости - электроакустический. Метод измерения твердости разработан dr. Kleezatel (США) и основан на измерении относительных изменений механического импеданса колебательной системы преобразователя в зависимости от механических свойств (твердости) поверхности контролируемого изделия в зоне контакта. Чувствительным элементом преобразователя является металлический стержень, оснащенный пирамидальным алмазным наконечником. По числу стоячих волн, уложенных вдоль геометрической длины стержня различают четвертьволновые, полу- и одноволновые преобразователи. В стержне колебания, обычно, возбуждают магнитострикционным или электрострикционным способами. В процессе измерения твердости частота колебательного контура, включающего стержень, автоматически подстраивается за счет положительной обратной связи. При контроле колебания ^{стержня} преобразователя воспринимаются и преобразуются электронным блоком в показания твердости.

На этой основе созданы известные электроакустические твердомеры Sonodur фирмы Branson (США), Microdur фирмы Крайслер, SonoHardSH⁵ фирмы Маекава Kawasaki (Япония).

В НПО "РостНИИТМ" также созданы образцы электроакустических твердомеров. Модель ТЭА-5 предназначена для контроля твердости стальных деталей в производственных условиях, а также дета-

лей из алюминиевых и медно-цинковых сплавов. Твердость измеряется в шкалах Роквелла или Виккерса с погрешностью 5%. Время одного измерения 3-5 с. Масса ручного преобразователя 600 г. Питание прибора от сети переменного тока, 220 В. Твердомер снабжен классификатором, позволяющим установить границы годности для проверяемых изделий. На лицевой панели прибора есть блок световой сигнализации о качестве изделия. Твердомер ТЭА-5 может встраиваться в автоматические или механизированные контрольно-сортирующие устройства [1-3].

Модель ТЭА-9 создана на базе однокристалльной микроЭВМ. Переносной прибор имеет массу (с преобразователем) 1,1 кг. Питание сетевое и автономное от батареек или аккумуляторов. Цифровой дисплей прибора показывает твердость в единицах НРС₃ и НВ. Границы разбраковки при контроле устанавливаются классификатором. Световая сигнализация о качестве выполнена на трехцветном светодиоде. Специальная программа обработки результатов измерений позволяет применить прибор для контроля твердости некоторых марок чугунов.

Контроль герметичности

Пузырьковый метод испытаний герметичности широко распространен для контроля разнообразных емкостей в связи с простотой используемых технологических средств и процессов, универсальностью, относительно высокой чувствительностью, а также возможностью определения места и характера утечек.

Существенную роль в эффективной реализации этого метода играет способ индикации. Для крупных изделий индикаторами служат различные жидкости эмульсии или пленкообразующие вещества, наноси-

мые на проверяемые соединения. Хорошие результаты дает применение пены, полученной из растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ). Пена имеет ячеистое строение, но, несмотря на отсутствие упругости формы составляющих фаз, она ведет себя как упругое тело. Эта особенность, а также хорошая смачиваемость загрязненных поверхностей позволяют такому индикатору устойчиво сохранять свое положение на проверяемом соединении. Нами установлено, что хотя чувствительность пенного индикатора несколько ниже чувствительности пленок мыльного раствора, она оценивается в $5 \cdot 10^{-3}$ МПа/с. Положительным качеством пенного индикатора является широкий диапазон фиксируемых утечек. Например, с помощью мыльной пленки в производственных условиях трудно фиксировать потоки превышающие 1,0 МПа/с, так как струя выходящего из канала газа мгновенно разрывает тонкую пленку без образования пузырька, видимого контроллером. В то же время пенный индикатор уверенно фиксирует значительно большие утечки, за счет интенсивной подвижности ячеек или отрывом хлопьев пены, увлекаемых воздушной струей. Пенный валик, нанесенный на сварной шов не теряет своих свойств до 10 мин., что весьма важно в производственных условиях. Необходимым условием применения пены как индикатора является однородность ее диспергирования, так как появление значительно отличающихся по размеру пузырьков затрудняет или исключает возможность контроля. Индикатор с диаметром пузырьков ~ 3 мм достаточно чувствителен и стоек, а также экономичен в связи с высокой кратностью получаемой пены.

В результате исследований разработано специальное устройство для создания и нанесения на контролируемые изделия пенного ин-

дикатора. Оно состоит из передвижного блока питания и соединенного с ним гибкими шлангами пистолета-пенногенератора. Исходная жидкость, представляющая 1,5-3% водный раствор ПАВ, приготавливается и хранится в блоке питания. Диапазоны рабочих давлений исходных компонентов, подаваемых в пенногенератор, находятся в пределах: для жидкости 0,02-0,04 МПа, а для воздуха 0,005-0,015 МПа.

Пенногенератор представляет собой конструкцию, в которой орошаемая раствором сетка продувается сжатым воздухом. Последующий набор формирующих устройств позволяет получить на выходе из сопла однородно диспергированную пену, накладываемую в виде валика на проверяемое соединение объекта, опресованного сжатым газом. Ширина наносимого валика индикатора 20-25 мм. Производительность пенногенератора не менее 10 л/мин. Скорость наложения индикатора до 0,3 м/с. Масса пистолета-пенногенератора 1,2 кг [4].

Дефектоскопия трещин в металлических изделиях

Серьезной производственной проблемой является выявление поверхностных дефектов на деталях, испытывающих высокие нагрузки, например, в подшипниках качения, элементах двигателей и т.п. Дефекты типа трещин и закатов являются концентраторами напряжений приводящими к разрушению изделий в эксплуатации. Такие нарушения сплошности материала выявляются различными методами неразрушающего контроля: магнитными, капиллярными, поверхностными ультразвуковыми волнами, вихревыми токами.

Разработанные институтом вихревые устройства с накладными стержневыми малогабаритными преобразователями позволяют выяв-

лять дефекты типа трещин с протяженностью 0,5 мм и раскрытием не менее 10 мкм. При этом предусмотрена отстройка от зазора (до 0,8 мм). Основой такой высокой чувствительности являются найденные технические решения: специальная конструкция преобразователя, включенного в контур автогенератора, со срывом колебаний в контуре над дефектом; использование автоматической регулировки усиления с ограничением амплитудного значения напряжения в колебательном контуре; применение системы автоподстройки фазы и частоты со стабилизацией начальных параметров и т.п.

В автоматических устройствах для контроля дефектов на деталях типа поршневых пальцев или роликов подшипников сканирование точечного преобразователя по поверхности осуществляется за счет вращения и поступательного перемещения проверяемой детали. Сортировка производится по альтернативному признаку.

Электромагнитные методы контроля

В институте также разработаны магнитные структуроскопы, предназначенные для контроля структуры, твердости и других параметров ферромагнитных сталей после термообработки. Принцип действия приборов основан на регистрации фазы возникновения скачков намагниченности (магнитных скачков Баркгаузена) в процессе циклического перемагничивания. Питание приборов осуществляется от сети переменного тока. В них есть классификаторы установки границ разбраковки [5-9].

Контроль параметров пульсаторов

Автоматизированные системы доения коров оснащены специальными пульсаторами, которые управляют циклом работы доильного аппарата. Широко распространенные до недавнего времени однокамерные

пульсаторы все больше уступают место двукамерным, создающим в полости между сосковой резиной и доильным стаканом переменный вакуум, цикл которого характеризуется следующими параметрами: длительностью основного периода; фазой вакууметрического давления; частотой и амплитудой стимулирующих колебаний давления в период вакуумирования и разницей между питающим и максимальным вакууметрическим давлением в межстенковой камере доильного стакана. Отметим, что технические условия на данное изделие предусматривают достаточно жесткие допуски на отклонение от номинальных значений этих параметров.

Главным положительным отличием от однокамерного пульсатора является наличие у него устройства, создающего стимулирующие микроколебания воздуха, что повышает выход молока и одновременно осуществляет массаж вымени.

Для контроля рабочих параметров однокамерных пульсаторов используются различные устройства, в том числе и портативный прибор PULSOTEST фирмы WESTFALIA SEPARATOR AG (ФРГ), обладающий высокими техническими характеристиками.

В целях обеспечения средствами контроля производства двукамерных пульсаторов с программой I млн. шт. в год, в институте создана испытательная установка УИП-3. В ней все основные операции автоматизированы, в частности: соединение проверяемых пульсаторов с автономной вакуумной системой; создание стабилизированного вакуумного режима для возбуждения автоколебаний в пульсаторе; подключение аналоговых электронных измерительных преобразователей переменного вакуумного давления; обработка данных микропроцессорным измерительно-вычислительным комплексом световая сигнализация о результатах оценки качества проверяемого изделия.

лия по всем рабочим параметрам и, наконец (при необходимости), печатание паспорта. Установка обслуживается одним оператором.

Внедрение в производство технологических процессов, приборов и оборудования для неразрушающего контроля качества выпускаемой предприятиями продукции показало техническую целесообразность и экономическую выгоду этих мероприятий.

Список литературы

1. А. с. №1159410, СССР
2. А. с. №1244559, СССР
3. А. с. №1404151, СССР
4. А. с. №718114, СССР
5. А. с. №859901, СССР
6. А. с. №894540, СССР
7. А. с. №978028, СССР
8. А. с. №1062591, СССР
9. А. с. №1062592, СССР

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ
ПРОЕКТИРОВАНИИ И ИЗГОТОВЛЕНИИ

Соломенцев Ю.М., Московский станкоинструментальный институт, СССР
Кутин А.А., Московский станкоинструментальный институт, СССР

Введение.

Развитие средств автоматизации, использующих новейшие достижения информатики и вычислительной техники, автоматики и технической кибернетики, позволяет осуществить качественный скачок не только в создании перспективных технологий, но и перейти на новый более высокий уровень производственных отношений. В настоящее время степень электронизации оборудования, использования средств вычислительной и управляющей микропроцессорной техники определяет уровень машиностроения той или иной страны и характеризует ее потенциальные возможности в создании техники будущего.

Автоматизация процессов проектирования и производства приводит к необходимости пересмотра многих традиционных понятий. По существу, речь идет о том, чтобы рассматривать в системном единстве все вопросы, связанные с автоматизированным проектированием и изготовлением. Главный тезис состоит в утверждении первостепенной важности проблемы выработки целостной концепции производственной системы, охватывающей все основные аспекты: организацию, технологию, проектирование, изготовление и сбыт.

Ранее при разработке гибких производственных систем /ГПС/ основное внимание концентрировалось на сложных вопросах создания технических средств, технологического и программно-математического обеспечения, а вопросы организационного взаимодействия с производственной системой, в составе которой она должна функционировать, оставались на втором плане. В дальнейшем при внедрении ГПС выяснилось, что она предъявляет повышенные организационные требования к среде, в которой работает, в том числе требует и некоторой перестройки организационной структуры производственной системы. В условиях действующего предприятия такая перестройка затруднена, так как приводит к изменению уже существующих связей в производственных областях, не связанных непосредственно с ГПС. Таким образом в рамках существующих производственных систем разработанные ГПС выглядят "искусственными" островками в их структуре, сложившейся без учета возможности комплексной автоматизации.

При традиционном подходе к организации производственных систем в настоящее время не удастся ни обеспечить, ни преодолеть их возрастающую сложность, упорядочить организацию и управление. Практика внедрения ГПС, спроектированных по традиционной схеме, свидетельствует об отсутствии ожидаемого экономического эффекта.

Понятие и область применения конструкторско-технологической информатики.

В современной ситуации следует говорить о невозможности или чрезвычайной сложности применения существующих принципов создания сложных технических систем [1]. Суть отвергаемых принципов состоит в создании локальных элементов с последующим их объединением и доработкой в рамках всей технической системы. Это влечет за собой следующие недостатки:

- нет гарантии объединения отдельно созданных элементов,
- доработка элементов для использования их в системе приводит к повышению затрат в несколько раз.

Следовательно, нужен аппарат позволяющий целенаправленно создавать сложные технические системы при регламентированных затратах. С этой целью на протяжении ряда последних лет проводятся теоретические исследования по разработке основ конструкторско-технологической информатики - науки, занимающейся вопросами сбора, обработки, хранения и передачи информации в производственном процессе создания машин с целью принятия оптимальных решений. Развитие на ее базе методологии создания машин создает возможность охвата и связанного решения всего комплекса задач, возникающих при построении как сложных систем, так и отдельных машин.

Для решения задачи автоматизированного создания сложных технических систем необходим комплекс мероприятий включающий:

- разработку методологии создания технической системы,
- теорию описания каждого этапа создания технической системы,
- формализованное на основе математического моделирования или экспертное представление теоретических знаний,
- алгоритмирование процесса создания технической системы,
- отображение предметных задач на программно-технические комплексы /поэтапно и в целом/.

В Московском станкоинструментальном институте ведется работа по реализации всех перечисленных этапов. Выявлены общие положения методологии создания технической системы, позволяющие решать предметные задачи в системном единстве. К числу таких положений относится раскрытие сущности методологии создания машин, описание жизненного цикла машин, начиная от возникновения потребности в ней, то есть замысла, до утилизации. Проработана общая схема методологии, выявлены связи, проведена декомпозиция некоторых этапов жизненного цикла на уровне постановки задачи [2, 3].

Широко ведется анализ существующих и разработка новых элементов теории описания каждого этапа создания технической системы. Проведенные исследования и практика машиностроения показывают, что не все решаемые задачи возможно и целесообразно описать с помощью точных математических зависимостей. Это связано со следующими причинами:

- невозможностью формализации тех или иных действий,
- большими временными затратами и высокой стоимостью разработок /например, требуется сначала разработать специальную теорию, математические методы и адаптировать их к решению предметных задач/,
- применение математических методов не дает существенного улучшения конечного результата разработки по сравнению с экспертными оценками.

Поэтому при формальном описании теоретических знаний необходимо нахождение разумных компромиссов между формализованными и эвристическими методами решения задач. При этом обязательно должна быть обеспечена информационная совместимость решаемых задач.

Проблемы информатики в САПР.

Принципы конструкторско-технологической информатики, являющиеся основой автоматизированного проектирования в машиностроении, реализуются при разработке математического, информационного и программного обеспечений на базе единой системы математического моделирования, способствующей:

- созданию взаимосвязанных математических моделей разнородных объектов проектирования,
- разработке инструментальных средств формализации математических методов и моделей,
- адаптации математических моделей объекта применительно к различным сред-

ствам вычислительной техники /ЭВМ различных классов, рабочие станции, сети и др./ или формулированию технического задания на создание программно-технического комплекса.

В качестве примера можно рассмотреть обобщенную технологию проектирования, состоящую из следующих этапов:

- предварительное обследование объекта проектирования,
- подготовка технического задания на проектирование,
- моделирование изделия,
- конструирование изделия,
- проектирование технологии изготовления,
- проектирование производства,
- изготовление.

При этом на каждый из этапов накладывается соответствующая база методов. Например, при разработке технического задания используются методы системного анализа и синтеза; при конструировании - методы геометрического моделирования, методы расчетов на прочность и жесткость; при разработке технологии - методы системной технологии; при проектировании производства - теория графов, динамическое программирование. Каждый из методов реализуется посредством инструментальной базы, включающей системы сбора и обработки информации, экспертные системы, средства моделирования. Инструментальные средства адекватно отображаются на программно-технический комплекс, который представляет собой систему ЭВМ и рабочих станций, функционально связанных между собой.

Если более конкретно говорить о математических методах, применяемых на различных этапах проектирования машин, следует особо выделить процессы конструирования и технологического проектирования. Так, при разработке конструктивных элементов машин применяются теория графов, теория дифференциальных уравнений, теория размерных цепей и др. При выполнении расчетов на прочность и жесткость несущих систем широко применяется метод конечных элементов, различные методы оптимизации позволяют наиболее эффективно создавать компоновки станков, кузнечно-прессового оборудования и других машин.

При технологическом проектировании используются методы комбинаторной математики, теория расписаний, теория графов, теория массового обслуживания и другие методы. При этом в частности решаются задачи проектирования структур обработки и сборки, оптимального запуска деталей в производство на автоматизированных системах, компоновки инструментов в блоки. Вопросы автоматизированного конструирования деталей и проектирования технологических процессов решаются в системном единстве, т.е. ставится задача построения интегрированных конструкторско-технологических САПР.

Реализация указанных принципов конструкторско-технологической информатики позволила создать ряд взаимосвязанных компонент САПР прикладного характера. Так, по конструкторским САПР разработан пакет прикладных программ расчетов на прочность и жесткость несущих систем машин с использованием метода конечного элемента. Создана САПР режущего инструмента, обобщенная модель проектирования включает следующие основные элементы:

- техническое задание в виде обрабатываемой детали,
- проектирование элементов инструмента с учетом материала обрабатываемой детали и инструментального,
- проектирование инструмента в целом, установление технических требований,
- проверка правильности конструкции, получение рабочих чертежей.

Разработана САПР автоматических линий, состоящих из агрегатных станков. Ук-

рупненно эта система включает: разработку технического задания /описание объекта производства - детали/, разработку технологии изготовления детали по элементарным переходам, группирование технологических переходов в операции, отображение операций на многоинструментные блоки, конструирование блоков, размещение блоков в шпиндельных головках агрегатных станков, конструирование агрегатного станка, проектирование автоматической линии, планировка.

По технологическим САПР разработана диалоговая система проектирования маршрутно-операционной технологии процессов сборки и механической обработки в машиностроении.

Вместе с созданием прикладных САПР определенные результаты получены в развитии инструментальных средств САПР.

Проблемы информатики и управления.

Интегрированная автоматизированная система управления производственной системой включает в себя управление конструкторско-технологической подготовкой производства и собственно систему управления производством /рис./.

Производственная система имеет несколько уровней управления: планирование, диспетчирование, оперативное управление, управление оборудованием. Иерархия уровней определяется отношением к планам. Уровень организации производства определяет критерии, стратегию и методы планирования. Уровень оперативно-календарного планирования выполняет функции собственно составления планов. Уровень диспетчирования отвечает за своевременную инициализацию и контроль выполнения планов. Уровень оперативного управления обеспечивает собственно выполнение планов, т.е. координированное управление материальными потоками в процессе выполнения планов. Уровень управления оборудованием физически реализует манипуляции с материальными объектами.

Как пример, рассмотрим этап управления оборудованием и вместе с этим современные тенденции в области числового программного управления /ЧПУ/.

Существует интегральная оценка вычислительной мощности устройства ЧПУ, которое определяется парой: цена одной дискреты перемещения - скорость интерполируемой подачи для такой дискретности. На сегодня достигнут уровень: 0,01 мкм - 100 м/мин. Это стало возможным благодаря применению в системах ЧПУ 32-х разрядных микропроцессоров, использованию тактовой частоты до 20 МГц, применению специальных больших интегральных схем для интерполяции, управления приводами и др.

Задачи ЧПУ разделились на задачи машинного масштаба времени и задачи реального времени. Это повлияло на общую архитектуру системы ЧПУ, которая стала двух-трехмашинной, построенной по принципу микролокальной сети. Задачи машинного и квазиреального масштабов времени сосредоточились в персональном компьютере. Задачи электроавтоматики выносятся в автономный контроллер.

Для управляющего блока реального времени ведутся поиски оптимальных архитектурных решений, обеспечивающих быстроедействие в каждой процессорной паре до 10-15 млн.оп./с. При этом используют процессоры 80386, RISC - процессоры, память в одном чипе до 4 МБ, транспьютеры.

Системы ЧПУ оснащают встроенными системами автоматизированного программирования, мощными графическими пакетами, системами управления базами данных, экспертными системами. Функции экспертных систем распространяются на выбор технологических решений при программировании, на диагностику.

Ставится задача создания ЧПУ как виртуальной машины.

<p>Организация производства КИП /уровень стратегического управления/</p>	<p>Функции:</p> <ul style="list-style-type: none"> - супер визорная - прогнозирование - материально-техническое снабжение - планирование - маркетинг - модернизация 	<p>Интегрированная конструкторско-технологическая САПР / CAD-CAPP /</p>	<p>Функции:</p> <ul style="list-style-type: none"> - конструирования изделий - проектирование технологических процессов - проектирование оснастки и специального инструмента - документирование 	<p>Планирование</p>	<p>Функции:</p> <ul style="list-style-type: none"> - перспективное планирование - календарное планирование - расписание 	<p>Диспетчирование</p>	<p>Функции:</p> <ul style="list-style-type: none"> - контроль технологических процессов - техническое обслуживание и ремонт - диагностика - управление ресурсами - управление персоналом - испытания 	<p>Оперативное управление</p>	<p>Функции:</p> <ul style="list-style-type: none"> - транспортирование - складирование - изготовление - испытания 	<p>Управление оборудованием</p>	<p>Функции:</p> <ul style="list-style-type: none"> - передача данных - интерфейс - геометрическая интерпретация
<p>Магистраль локальной вычислительной сети</p>											
<p>386 microVAX-П</p>		<p>386 PC/AT, PS/2, Macintosh 2 рабочие станции SUN-386i, Apollo-4000, DN 560</p>	<p>386 PC/AT, PS/2, Macintosh 2</p>	<p>386 PC XT, PC/AT, Macintosh SE</p>	<p>386 PC XT, PC/AT, Macintosh Plus</p>	<p>386 VME, Multibus 2</p>	<p>MAP/TOP</p>				

Рис. Подсистемы компьютеризованного интегрированного производства и их поддержка средствами вычислительной техники

Проблема программно-аппаратных средств.

Формальную модель, представляющую теоретические знания, целесообразно реализовывать на комплексе программно-аппаратных средств вычислительной техники. Кроме обычных для реализации математических моделей требований этот комплекс должен удовлетворять также ряду специальных требований, обусловленных задачами машиностроения. Из последних к числу наиболее важных можно отнести:

- достаточную производительность для интерактивного решения задач,
- комплектование необходимыми графическими средствами для адекватного представления объектов модели, их характеристик, и манипуляции этими объектами,
- должны иметь доступ к локальным и удаленным банкам данных,
- должны обладать адаптивностью к изменениям модели и развитию решаемой задачи,
- должны обеспечивать прикладного специалиста необходимыми средствами развития модели и использования полученных результатов в конструкции разрабатываемого изделия.

Параметры каждого программно-аппаратного комплекса зависят от конкретного применения, количества и качества решаемых задач, технико-экономических характеристик производства и др. Тем не менее, можно в первом приближении определить основные параметры технических средств для отдельных областей применения в автоматизированном производстве:

1. Системы автоматизированного проектирования:

- графические рабочие станции: разрешение от 600x400 до 1200x1000 точек на экране, черно-белые или цветные /16-256 цветов на экране/, размер экрана от 14 до 23 дюймов,
- центральная ЭВМ, обеспечивающая необходимую скорость вычисления и моделирования /от 0,5 до 20 млн.оп/с/,
- банки данных конструкторско-технологической информации,
- интерфейс к локальным и распределенным сетям ЭВМ.

2. Автоматизированное управление технологическим оборудованием и технологическими процессами:

- 16 или 32 разрядные микроЭВМ, оснащенные контроллерами сопряжения с датчиками и исполнительными механизмами, цифро-аналоговыми и аналого-цифровыми преобразователями,
- адаптеры каналов связи или контроллеры локальной сети для подключения к центральной ЭВМ.

3. Системы административного управления, планирования и учета:

- сети персональных ЭВМ с пиктографическим диалоговым интерфейсом,
- устройства печати,
- устройства архивирования информации, банки данных,
- устройства ввода и обработки печатной информации,
- устройства речевого ввода-вывода,
- интерфейс к локальным и распределенным сетям ЭВМ.

Литература.

1. Касти Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы. /Пер. с англ., М., Мир, 1982.
2. Соломенцев Ю.М. Конструкторско-технологическая информатика и подготовка кадров для автоматизированного машиностроения, - Известия АН СССР. Техническая кибернетика, 1987, № 3.
3. Solomentsev Y.M. The problems of computer science for design and technology, 11 Colloquium on Machine Tools, Budapest, 1988.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПЕРСОНАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ
ОБЪЕКТАМИ ИНТЕГРИРОВАННОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сосонкин В.Л., Мосстанкин, СССР

Постановка задачи

Системы управления производственными объектами (станками, роботами, складами и др.) создавались первоначально как проблемно-ориентированные устройства, предназначенные для работы в реальном времени. По мере их эволюции возрастала роль интерактивных процедур, связанных с формированием пакета заданий, - и развивающихся в машинном масштабе времени. (Здесь под интерактивностью понимается участие в диалоге человека-оператора, а также других машин и систем.) Компьютерные системы управления класса CNC, хотя и были с самого начала приспособлены к решению задач реального и машинного масштабов времени, - но выполнялись в духе традиционных концепций управления 60-х годов. Революция в инженерном деле, связанная с применением персональных компьютеров, не может не затронуть сегодня и сферы производственного управления, где она означала бы: построение современного интерфейса пользователя; появление в системах управления мощных резидентных инструментальных средств; создание условий для естественного вхождения систем управления в локальную вычислительно-управляющую сеть. В этой связи далее обсуждается проблема прямого включения персонального компьютера (в промышленном исполнении) в архитектуру системы управления. Эта проблема рассматривается на примере системы ЧПУ станка, но ее решение носит достаточно общий характер.

Задачи управления и их архитектурная реализация

Назовем задачей управления программно-аппаратный автомат, ориентированный на группу однотипных объектов (приводов, процессов) управляемой машины. Система ЧПУ станка может решать четыре крупные задачи, которые присутствуют вместе или в любой комбинации. Геометрическая задача служит воспроизведению траектории, определяемой чертежом и картой наладки, - путём управления следящими приводами подачи. Логическая задача предназначена для автоматизации циклических последовательно-параллельных операций путём управления дискретными приводами электроавтоматики. Технологическую задачу создают для того, чтобы управлять параметрами основного рабочего процесса, следуя некоторому критерию необходимого качества или оптимизации. Терминальная задача поддерживает интерфейс с оператором и системой управления более высокого ранга с целью формирования пакета заданий и блока информации о состояниях.

Аналогичные, а чаще более простые наборы задач существуют и для других объектов автоматизированного производства - роботов, транспортных средств, складов и др. В любых наборах, однако, терминальная задача присутствует.

Архитектура системы ЧПУ определяет способ решения задач ЧПУ.

Возможен сосредоточенный вычислитель (в том числе мультипроцессорный), в котором все задачи разделяют общие ресурсы. Можно выделить каждой задаче свой вычислитель, оптимизированный соответственно её специфике; а сами вычислители объединить в распределенную многомашинную систему. Наконец, может быть использован смешанный подход. Приведем аргументы в пользу варианта "каждой задаче - выделяемый вычислитель".

Задачи ЧПУ существенно различны и в этой связи требуют собственной организации вычислений. Так, геометрической задаче желательны 32-разрядный процессор и арифметический сопроцессор; кэш-память; спец-БИСы (для интерполяции, для управления следящими приводами и др.); быстрая многопроцессная операционная система реального времени; словом все то, что повышает быстродействие. В тех же целях возможно применение транспьютеров, супертранспортеров, RISC - процессоров и т.д. Для решения логической задачи целесообразна аппаратура с одноканальными и многоканальными микропроцессорами; с широким набором входных и выходных регистров; со специализированными контроллерами для предварительной обработки высокочастотных дискретных сигналов; с силовыми выходными цепями. Математическое обеспечение логической задачи требует специфической системной поддержки. Для технологической задачи особенность программно-аппаратной реализации обусловлена: выделением сигналов на фоне шума; фильтрацией, уплотнением и специальными преобразованиями сигналов (гармоническим анализом, определением статистических характеристик, аналого-цифровым преобразованием); многоканальным регулированием, включая настройку регуляторов, и др. Терминальная задача относится к машинному, а точнее - квазиреальному времени; поглощает большие объемы оперативной и внешней памяти, располагает мощным системным и инструментальным сопровождением, имеет доступ к стандартной периферии.

Распределенная система из четырех машин в составе микролокальной сети отражает принцип "каждой задаче - выделяемый вычислитель" (см. рис. 1). В этой сети центральную роль играет персональный компьютер в промышленном исполнении. Персональный компьютер придает системе управления богатые возможности, связанные с использованием: внешней памяти на винчестере, цветного графического видеомонитора, средств выхода в основную локальную сеть, мощной операционной поддержки, стандартных программных пакетов. Носителем геометрической задачи является сопроцессор реального времени, и таких сопроцессоров может быть два или более для сложных объектов (например, для многокоординатного станка с роботом). Логическую и технологическую задачи выполняют соответственно программируемый контроллер и монитор. Все машины связаны быстродействующими последовательными каналами в стандарте "bit-bus", причём персональный компьютер осуществляет функции хост-машины.

На базе общей конфигурации, показанной на рис. 1, можно получить разнообразные частные решения. Так, комбинируя задачами ЧПУ, нетрудно на базе того же комплекса аппаратных средств построить широкий набор разнообразных по назначению систем: систему управления гибким модулем или автономным станком с

ЧПУ, систему ЧПУ робота, систему циклового программного управления, систему управления любым локальным объектом автоматизированного производства, систему управления непрерывным процессом. В каждом конкретном случае терминальная задача по-разному комбинируется с другими задачами.

Общая структура математического обеспечения

При организации математического обеспечения стремились к выделению крупных программных модулей-процессоров, которые поддерживали бы решение задач ЧПУ, с другой стороны стремились к построению единой виртуальной шины, которая представляла бы процессорам необходимый комплекс сетевых услуг. Эти услуги не зависят от существа задач, что и позволяет построить гибкую легко реконфигурируемую систему, см. рис. 2. В этой системе выделяется группа модулей I терминальной задачи, поставленных в персональном компьютере.

Функции терминальной задачи можно разделить на системные и прикладные. Носителем прикладных функций является терминальный процессор, а носителями системных функций - все остальные модули терминальной задачи.

Структура диалогового процессора показана на рис. 3. Диалоговый процессор поддерживает: меню функциональных клавишей, в том числе с последующим вводом информации оператором; меню с неальтернативными предложениями; меню с альтернативными предложениями, в том числе с последующим вводом информации оператором; приглашение оператора к вводу информации.

Обратим здесь внимание на особенность построения процессора, связанную с включением в его состав инструментальных средств самогенерации. Эта особенность присутствует в структуре других процессоров.

Виртуальный терминал предоставляет каждому процессору микролокальной сети независимый вывод на экран в разные области (т.е. работу в окнах), поддерживая перекрытие этих областей. Кроме того он скрывает от процессоров тип экрана, обеспечивая одинаковый набор обращений к адаптерам CGA, EGA, VGA, Hercules. Виртуальный терминал имеет свой инструмент - конструктор шрифтов, позволяющий пользователю создавать свои символы для вывода информации. Виртуальная внешняя память представляет собой базу данных, СУБД которой позволяет процессорам обращаться к файлам управляющих программ, корректоров, параметров по логическому имени; поддерживает связь между файлами, организует их размещение в оперативной памяти; обеспечивает манипуляцию с файлом в памяти. Процессор индикации поддерживает запросы к задачам, связанные с типом информации; управляет приемом информации и её размещением на экране монитора.

Виртуальный канал организует движение информации между задачами в коммуникационной среде микролокальной сети ЧПУ.

Активность задач проявляется в рамках фиксированного набора

их состояний. Терминальная задача, являющаяся ведущей, может пребывать в одном из двух состояний: наблюдение, управление. Любая другая задача может находиться в состояниях, представленных графом на рис. 4. Управление переходами задачи из одного состояния в другое осуществляет монитор задачи, см. рис. 2. Каждая задача оказывает определенные услуги на основе функциональных запросов со стороны других задач. Выполнение услуг осуществляется в рамках указанных выше состояний.

В состоянии "наблюдения" терминальная задача анализирует статус других задач, сообщения или наборы данных, конечноавтоматные состояния других задач. В состоянии "управления" терминальная задача передает данные, параметры задания; захватывает или освобождает некоторый семафор ведомой задачи, запрашивает состояние семафора. Ведомая пассивная задача способна принимать задание. Ведомая загруженная задача принимает атрибуты задания, выбирает задание из пакета для выполнения, заменяет или выгружает задание. Ведомая готовая задача может запустить задание или отказаться от его выполнения. Ведомая работающая задача способна остановить выполнение задания. Ведомая приостановленная задача может возобновить его выполнение. В любом состоянии ведомая задача поддерживает связь с терминальной задачей для передачи статуса, сообщения, данных; для приёма данных и др.

Заключение

Концепция современной системы управления требует определенного переосмысления, поскольку новейшая компьютерная техника предоставляет такие возможности, о которых ранее нельзя было и думать. При формировании такой концепции следует принимать во внимание следующие соображения.

Специфика задач управления (в том смысле, в каком понятие "задача" было введено) такова, что они становятся по мере эволюции все менее совместимыми между собой. Несовместимость проявляется в масштабе времени, в требованиях к операционной среде, в структурной организации и др. Каждая задача может быть оптимизирована с помощью своей собственной виртуальной машины. Для терминальной задачи, которая определяет потребительский облик системы управления, — оптимальная виртуальная машина должна быть построена на базе промышленного персонального компьютера. Все другие задачи работают с терминальной в составе распределенной микролокальной сети. Независимая от назначения задач система высокоуровневых протоколов позволяет получить при этом гибкое и легко реконфигурируемое решение.

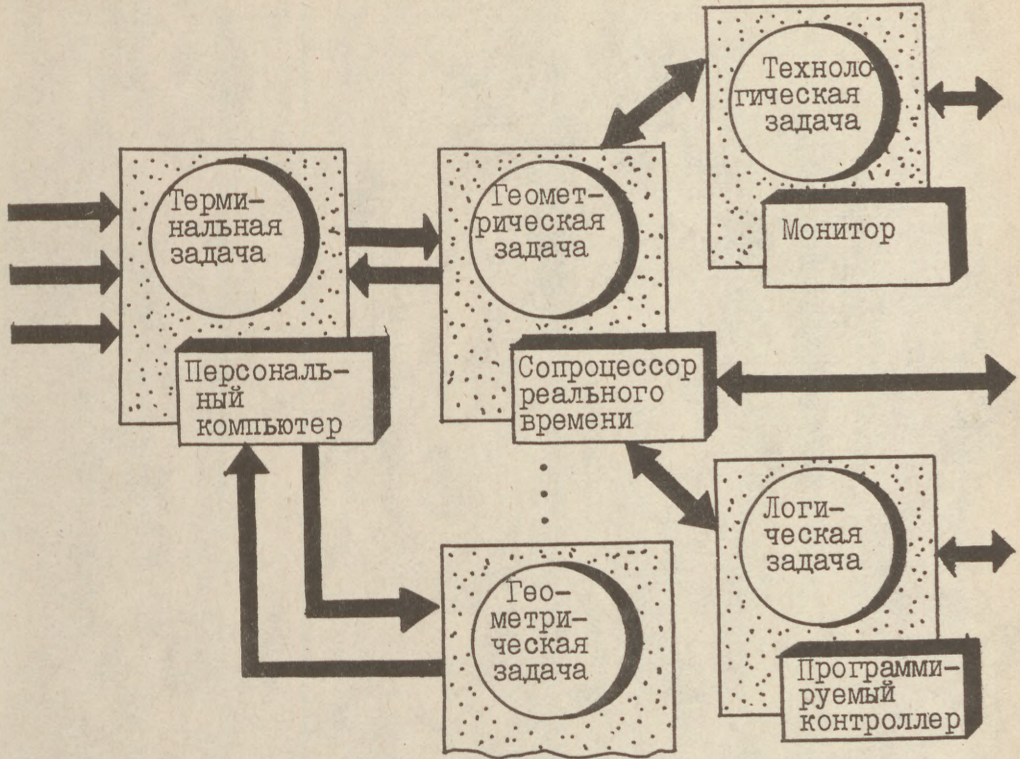


Рис. 1

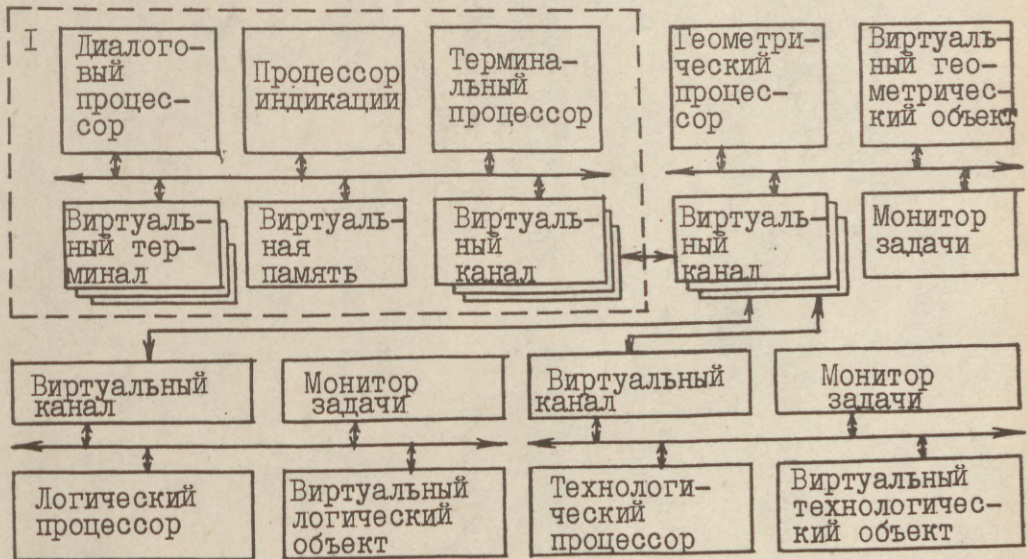


Рис. 2

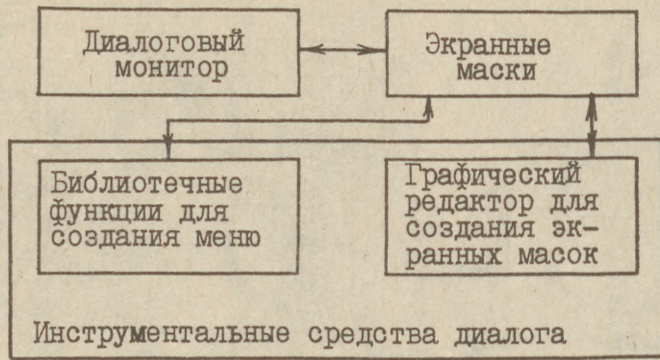


Рис. 3

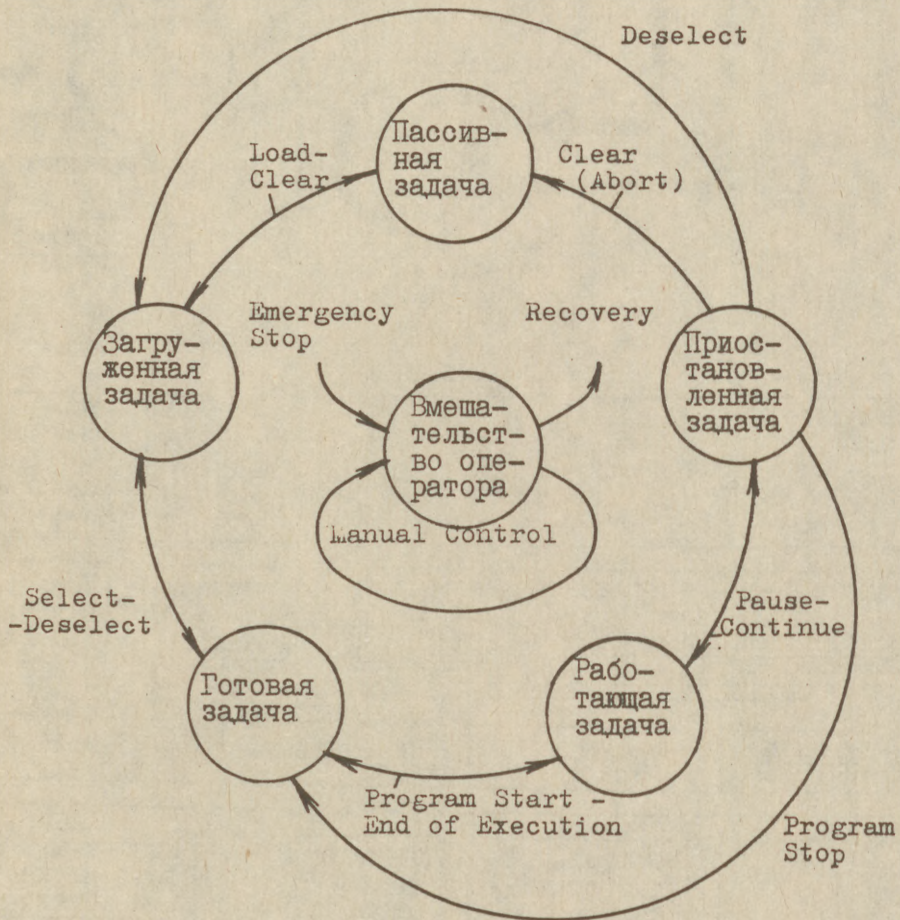


Рис. 4

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАННИХ СТАДИЙ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН

Стародетко Е.А., Институт технической кибернетики АН БССР, СССР.

Усов Б.А., Институт технической кибернетики АН БССР, СССР.

Одним из наиболее перспективных направлений в мировом автомобилестроении в настоящее время следует считать работы по созданию нетрадиционных энергетических установок для автомобилей. Во многих странах ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по созданию паровых двигателей. Паровая машина - одна из немногих, которая может работать на любом топливе: жидком, газообразном, твердом, ядерном. Она имеет значительно лучшую характеристику крутящего момента, что приводит к большим упрощенным трансмиссиям. Шведский инженер Плател У. разработал паровой двигатель, который весит на сто с лишним килограммов меньше традиционного бензинового той же мощности. На основе расчетов шведского инженера при одинаковом объеме цилиндров паровой двигатель позволяет снять в 20 раз большую мощность. Поиск альтернативы двигателю внутреннего сгорания, в условиях, усиливающихся с каждым годом требований экологической безопасности, привел инженеров г. Харькова к выводам, что наиболее приемлемой заменой в наше время может стать паросиловая установка на основе нового термодинамического цикла.

Совсем недавно американские и японские конструкторы пробовали установить для работы совместно с парогенератором паровые турбины и поршневые двигатели. Испытание автомобиля с такой энергетической установкой показал их неприемлемость из-за недопустимо большого расхода топлива. Использование паросиловой установки харьковских инженеров позволяет избавиться от этого недостатка. Расчетный расход топлива такой энергетической установки будет вдвое меньше, чем его потребляют двигатели внутреннего сгорания. Другой выход из этого положения нашел Плател У. Он предложил установить, кроме основного, дополнительный двигатель мощностью 5-10квт. Основной двигатель будет включаться лишь при разгонах и скоростных маневрах.

Достоинства электромобилей известны, но известен и недостаток - нет достаточно легких и емких аккумуляторов электрической энергии, способных обеспечить долгий пробег. Однако последнее время появились сообщения о том, что японским специалистам удалось разработать накопитель электрической энергии на твердом электролите. Такой аккумулятор может с большим успехом использоваться в электромобиле. Его достоинства: малые размеры и вес, можно придавать любые формы, выдерживает практически бесконечное число циклов разряд-заряд, не боится тряски и вибрации, работает при резком перепаде температур и влажности. В настоящее время американскими специалистами предложен гибридный привод. Обычный автомобильный мотор вра-

щает генератор, а он питает током электромоторы, установленные на каждом колесе. Это приводит к резкому снижению расхода топлива на 100 км. Большое количество топлива можно сэкономить, запасая энергию при торможении и движении на спусках.

Все рассмотренные пути совершенствования привода автомобиля в настоящее время отработаны не до конца. Исследования интенсивно продолжаются, проводятся модельные эксперименты. Следует заметить, что разработки, дающие наиболее эффективные результаты, в основном связаны с нетрадиционными для автомобилестроения энергоносителями, преобразователями и аккумуляторами энергии. Обычно поиск конструктивных реализаций нетрадиционных элементов привода ведется интуитивно и случайно приводят к хорошим результатам. Одним из путей разработки высокоэффективных приводов автомобилей следует считать создание теоретических основ автоматизации процессов синтеза машин, механизмов и технических систем. Формализация процесса синтеза достаточно трудоемка, поэтому в системах автоматизированного проектирования находят применение ограниченное число методов решения этой задачи.

Примером системы, в которой используются формализованные средства технического синтеза является АИСТ. Эта система разрабатывается в институте технической кибернетики АН БССР. Ее целью является создание машин повышенной экономичности и меньшим количеством вредных выбросов. С ее помощью решаются следующие задачи:

- генерирование, расчет и оптимизация схем рабочих процессов в тепловых машинах;
- синтез механизмов двигателя внутреннего сгорания (ДВС);
- расчет и оптимизация параметров механизмов двигателей;
- математическое и имитационное моделирование ДВС и приводов машин;
- формирование технических данных для рабочего проектирования ДВС и приводов транспортных машин.

Применяемые методы синтеза структур технических систем предусматривают единый системный подход, при котором учитывается взаимодействие машины с окружающей средой, взаимодействие машины в едином технологическом процессе, эффективность реализации машинных функций различными схемами преобразования энергии, информации и вещества. Решение подобных задач и, соответственно, создание машин базируется на следующих концепциях:

- машины и их функционирование должны рассматриваться как процесс согласованного взаимодействия техники и людей в окружающей среде;
- создание машин должно приводить к повышению общей эффективности деятельности человека;
- машины должны являться гармоническим единством энергетических, информационных и конструктивных свойств современных систем;

Сформированная концепция позволяет создать модели конструирования машин, способных функционировать при соблюдении за-

данного соотношения между уровнем организованности среды и их конструктивно-функциональными возможностями. Такой подход к проектированию сложной технической системы позволяет выделить на ранних стадиях следующие виды проектирования:

- экологическое проектирование;
- системное проектирование;
- схемное проектирование.

Оценка результатов взаимодействия с окружающей средой является задачей того начального этапа проектирования, который назван экологическим проектированием. Воздействие всякой машины на окружающую среду связано с двумя видами изменений: появление упорядоченных структур и процессов, благоприятно воздействующих на природу и человека; разрушительными изменениями в окружающей среде. Примером упорядоченных изменений может быть регулирование стоков малых рек, озеленение пустынь и степей, создание заповедников и т.п. К разрушительным изменениям относятся: образование свалок, эрозия почвы, загрязнение водных стоков и т.д. Создание машин связано, прежде всего, с изменением энтропии системы "машина-среда". Как правило, функционирование машины связано с возрастанием энтропии системы. Чем больше энтропия, тем ниже КПД, тем хуже машина. Увеличение энтропии - следствие энергетических преобразований, обеспечивающих функционирование машины. Очевидно, что при оценке меры воздействия машины на среду следует учитывать не только энергетические преобразования, которые происходят в момент ее работы, но и все процессы, необходимые для подготовки энергии, которая расходуется в машине.

Рассмотрим цепочку технологических процессов, связанных с энергетическим снабжением машин. В качестве исходного процесса возьмем разведку запасов нефти (процесс П1). После разведки идет бурение скважин, извлечение нефти на поверхность и сбор в хранилище (процесс П2). Далее собранную нефть следует транспортировать к месту переработки (процесс П3). Переработка в бензин, дизтопливо и другие продукты осуществляется в процессе П4, после чего следует транспортировка к местам заправки (процесс П5). Заправка - это процесс П6. Процесс преобразования химической энергии топлива в механическую работу обозначим через ВТ. В результате работы автомобиля получают нежелательные разрушительные влияния на окружающую среду. К ним можно отнести загрязнение окружающей среды выхлопными газами, разрушение дорог и т.д. Этот процесс обозначим Ч. Для компенсации результатов работы автомобиля требуется некоторая энергия, которую можно учесть с помощью коэффициента потерь θ_u . Коэффициенты потерь θ_i обозначим θ_i , а процесса ВТ - θ_B . Величину $1 - \theta_i$ можно назвать коэффициентом полезного действия процесса, а произведение КПД перечисленных процессов П1, ..., П6 - экологическим КПД машины:

$$\eta_3 = \eta_n \cdot \eta_B$$

где $\eta_n = \prod \theta_i$, $\eta_B = \eta_u \cdot \eta_m$. Под η_u понимается индикаторный КПД, η_m - механический КПД машины. Величина $1 - \eta_3$ характеризует потери энергии в системе "машина-среда". Без учета ре-

генерации среды потери энергии для компенсации разрушительных влияний можно оценить коэффициентом η_y :

$$\eta_y = (1 - \eta_3) \quad \dots I$$

Улучшая внутренние свойства машин, одним из показателей которых является КПД, всегда необходимо обращать внимание на фактор изменения показателей взаимодействия машин и среды /1/. Коэффициент полезного действия машины η_B является внутренней характеристикой и обладает свойствами энтропии. Это дает возможность определять внутреннюю неупорядоченность машины, пользуясь понятием неопределенности состояния системы. Пользуясь результатами работ [1, 2], в которых дается зависимость эффективности и энтропии, можно записать $d\eta_B/dt = d\varepsilon/dt$

т.е. энтропия ε и КПД есть обратномонотонные функции и, следовательно, энтропия может служить мерой организованности системы. Это дает возможность судить по энтропии об устойчивости структуры машины в период ее жизненного цикла. Согласно работе [2] существует следующая зависимость энтропии от времени в машинах и системах машин

$$0 < \frac{d\varepsilon}{dt} < a, \quad 0 \leq t \leq t_{цж}$$

где a - некоторая константа; $t_{цж}$ - цикл жизни системы. Известно, что с возрастанием энтропии системы возрастает ее неупорядоченность и, следовательно, уменьшается эффективность ее функционирования и снижается КПД. По результатам работы [3] КПД можно оценить, воспользовавшись формулой

$$\eta_B = \eta_{max} (1 - f(A)),$$

где η_{max} - КПД идеально работающей машины; $f(A)$ - некоторая функция, зависящая от конкретных технических реализаций и времени эксплуатации системы.

Таким образом, на этапе экологического проектирования, используя энтропийные представления о машине или системе машин, возможно получить четыре количественных показателя: экологического КПД, эффективности, сложности и организованности.

В задачу системного проектирования машин входит распределение заданного набора функций между машинами или их составными частями. Если в некотором технологическом процессе с помощью машин нужно реализовать функции $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \dots, \Phi_N$, то естественно возникает задача распределения функций. В результате решения задачи появляются наборы $(\Phi_{11}, \dots, \Phi_{1M_1}), \dots, (\Phi_{k1}, \dots, \Phi_{kM_k})$ которые являются формальными образами машин. Формирование этих образов называют системным проектированием машин. Предположим, что каждая из функций набора $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$ может быть реализована определенным набором типовых проектных решений:

$$\Phi_1 \longrightarrow (ТПР_{11}, ТПР_{12}, \dots, ТПР_{1c_1})$$

$\Phi_2 \longrightarrow (ТПР_{21}, ТПР_{22}, \dots, ТПР_{2c_2})$ и т.д.

Тогда каждую машину можно представить как совокупность наборов возможных проектных решений. Зафиксировав в каждом наборе одно из возможных решений, получим принципиальную схему машины. Сравнивая между собой различные схемы по какому-либо критерию, можно получить оптимальную схему. В любом случае связь функций и ее реализация в некоторой схеме представляют собой две структуры: функциональную и схемную. В функциональную структуру будут входить функции Φ_{ij} , а в схемную - схемные решения $ТПР_{kl}$. Связь указанных структур можно осуществить с помощью матрицы, где по строкам располагаются элементарные функции, а по столбцам $ТПР_{kl}$ (рис.1). Такой матрице можно однозначно сопоставить гиперграф или его кенигово представление - двухдольный граф. Схемная структура машины должна быть согласована с параметрическим уровнем машины, определяемым ее мощностью, производительностью, эксплуатационной скоростью, надежностью, весом, габаритными размерами [4]. В результате согласования может быть построена матрица согласований, как это показано на рис.2. Выбрать из матриц наиболее приемлемые или эффективные комбинации ТПР нелегко из-за большого числа комбинаций. Поэтому такие задачи необходимо решать методами поискового конструирования [5, 6], методами решения экстремальных задач на графах [7].

Все функции машин связаны с преобразованиями следующих классов: энергетические переходы, преобразования веществ (предметов), информационные изменения. У большинства машин энергетические преобразования являются главенствующими. Прежде всего это относится к транспортным машинам. В транспортных машинах конструкция привода является носителем схемы энергетических преобразований. Поэтому, схемное проектирование привода транспортной машины связано с анализом схемы энергетических переходов, реализуемых на мобильных установках. В задачу схемного проектирования привода входит выявление функциональных элементов, установление связей между ними и моделирование работы привода. Общеизвестными функциями привода являются разгон, движение с крейсерской скоростью и торможение. К названным функциям необходимо добавить еще одну, весьма существенную функцию - рекуперацию (или сохранение) энергии при торможении. Перечисленные функции являются основными, но не единственными. Реальный привод выполняет ряд других необходимых функций: подготовку и сжигание топлива, смазку узлов трения, охлаждение двигателя и т.д. Функции подобного типа называются вспомогательными или служебными и отражаются на дополнительных схемах.

Основные функции отражаются корневой схемой, содержащей основные функциональные элементы и связи между ними. Корневая схема составляется в соответствии с принципами работы привода, которые формируются в соответствии с целями проектирования. Для формирования принципов, обеспечивающих высокую экономичность привода, используется классификация сил сопротивления движения на консервативные и диссипативные. К консервативным относятся

силы сопротивления разгону и подъема транспортного средства на дороге с уклоном, Энергия, затраченная на преодоление консервативных сил, может сохраняться при торможении или спуске транспортного средства и использоваться повторно. К диссипативным относятся силы, преодоление которых связано с рассеянием энергии в окружающей среде, т.е. силы трения колес по площадке контакта с дорогой и силы сопротивления воздуха, обтекающего транспортное средство. Для обозначения энергетических переходов используем следующие сокращения и условные имена:

ТЭН - энергия, расходуемая на преодоление сил трения качения колес;

ВЭН - энергетические потери, вызванные сопротивлением, воздуха;

ГЭН - работа сил гравитации;

РЭН - энергия разгона;

ПЭН - потенциальная энергия;

КЭН - кинетическая энергия;

МЭН - механическая энергия;

Как следует из анализа энергетического баланса автомобиля, КПД привода может падать до 5%. Основной причиной больших потерь энергии является нелинейность нагрузочных характеристик ДВС, вызванная природой тяговых двигателей и большими потерями на трение в цилиндро-поршневой группе. При снижении нагрузки в 10 раз расход топлива снижается всего лишь приблизительно в 3 раза. Если бы удалось создать привод с постоянным удельным расходом топлива на единицу мощности нагрузки, то экономия топлива была бы весьма ощутимой. Дополнительным источником экономии должен быть накопитель, сохраняющий энергию, которая обычно гасится тормозами. Для обеспечения максимальной экономии топлива стремятся к тому, чтобы в приводе машины были реализованы следующие принципы.

Принцип 1. Управление мощностью привода путем дросселирования рабочей смеси в бензиновом ДВС недопустимо.

Принцип 2. Работа сил инерции, совершаемая при торможении транспортного средства должна сохраняться в быстродействующем накопителе, способном поглотить кинетическую энергию транспортного средства за минимально возможное время.

Принцип 3. Работа сил гравитации, совершаемая при спуске транспортного средства, может накапливаться в обеспечивающем полное сохранение энергии при максимальной скорости спуска.

Принцип 4. Мощность первичного двигателя привода должна быть по возможности постоянной. Для этого она должна быть рассчитана на преодоление сил трения качения, сопротивления воздуха и сил трения в механизмах привода.

Принцип 5. При необходимости снижения мощности двигателя следует воспользоваться одним из следующих приемов:

- снизить скорость вращения главного вала ДВС;

- отключить часть рабочих цилиндров;

- подобрать и поддержать частоту рабочих ходов центрального СД.

Во всех случаях следует по возможности обеспечить 100% наполняемость рабочих цилиндров.

Принцип 6. При необходимости снижения мощности лучше чередовать холостые и рабочие ходы, чем снижать подачу топлива

в цилиндры.

Перечень принципов построения приводов машин не является законченным и неизменным. Существует ряд работ, например, [8, 9], которые позволяют формировать новые принципы на основе фонда эвристических приемов преобразования объекта. Формирование эффективных принципов зависит, как от развития самих эвристических приемов, так и от развития (открытия новых физических, химических и др. эффектов) естественных наук.

В схеме, обеспечивающей выполнение перечисленных принципов, могут использоваться следующие функциональные элементы:

- НАБ - накопитель быстрый (быстродействующий);
- НАМ - накопитель медленный (медленнодействующий);
- НАС - накопитель сверхпроводниковый;
- КОН - накопитель электрического поля (конденсатор);
- МАХ - маховичный аккумулятор;
- ГАК - гальванический аккумулятор;
- НАГ - накопитель гидравлический;
- НАП - накопитель пневматический;
- ПРУ - накопитель пружинный;
- ТОР - тормоз (любого типа);
- ТОТ - тормоз трения;
- ТОМ - тормоз электромагнитный;
- ГЭЛ - генератор электрический;
- ГОД - генератор-двигатель электрический (обращаемый);
- ДВС - двигатель внутреннего сгорания;
- СПД - свободнопоршневой двигатель производственного типа;
- СПЭ - свободнопоршневой преобразователь тепловой энергии в электрическую;
- СПК - свободнопоршневой компрессор;
- СПГ - свободнопоршневой гидронасос;
- МОГ - мотор гидравлический обратимый.

Для машинного синтеза рациональных и новых корневых функциональных схем можно воспользоваться морфологическими таблицами [10], однако в указанном случае лучшие результаты дает использование и-или-графа. Метод синтеза функциональных корневых схем на и-или-графах имеет преимущество по сравнению с традиционными методами морфологического синтеза:

- позволяет описывать схемы с любой степенью детализации;
- обеспечивает в большей мере автоматическую оценку и сравнение вариантов схем, т.е. устраняет самый значительный недостаток морфологических методов;
- автоматизирует описание синтезированных схем на естественном языке или в виде графического эскиза [11].

Корневая функциональная схема привода транспортного средства в виде и-или-графа представлена на рис. 3. Граф имеет вершины, обладающие разными свойствами: ● - вершины ИЛИ; ○ - вершины И.

На рис. 3 показаны только основные (базовые) элементы, обеспечивающие работу привода. Не показаны произвольные (вторичные) элементы, обеспечивающие функционирование основных элементов. Например, не показан криогенный холодильник, обеспечивающий работу НАС - накопителя энергии на сверхпроводни-

ках. Схема, на которой показаны функциональные элементы, обеспечивающие работу базовых элементов, называется стержневой. Примером может служить схема 2, на которой показаны функциональные связи элемента НАС (рис.4).

На стержневых схемах должны быть представлены все возможные функциональные элементы. На основании стержневых схем могут быть разработаны конструктивные схемы, а на следующем уровне - рабочие чертежи. Конструктивные схемы представляют упорядоченную совокупность типовых проектных решений по узлам и деталям привода. При движении от корневой схемы и типовым проектным решениям решаются логические и вычислительные задачи, направленные на уточнение структуры и определение параметров привода и его частей. Основная масса структурных задач связаны с учетом ограничений по выбору функциональных элементов. Сначала эти требования учитываются на корневой схеме, потом на стержневых, конструктивных и рабочих схемах. Предположим, что из-за отсутствия достаточно хороших электродвигателей в приводе запрещено применение электричества. Тогда из корневой схемы следует изъять элементы, функционирование которых обеспечиваются с помощью элемента ЭЛЭ. В результате получится схема, представленная на рис.5. На схеме представлен гибридный привод с двумя двигателями: ДВС и СПГ. В принципе можно обойтись одним двигателем, например СПГ. При этом привод будет построен по схеме, изображенной на рис. 6.

Если привод автомобиля реализуется по схеме рис.5, то распределение мощностей между СПГ и ДВС осуществляется расчетным путем, исходя из критерия оптимальности, либо путем логического распределения функций. Можно, например, предположить, что СПГ играет роль ускорения, помогающего основному двигателю разогнать автомобиль до заданной скорости. Тогда ДВС достаточно рассчитывать на минимальную мощность, достаточную для преодоления сопротивления движения на горизонтальной дороге при установившейся скорости двигателя.

В основу синтеза конкретных механических устройств привода автомобиля могут быть положены методы, указанные в работах [12, 13], которые реализуются в системе АИСТ для персональных ЭВМ. Предварительные оценки результатов проектирования в системе АИСТ показывают, что существует большое количество нетрадиционных схемных решений для приводов автомобиля и эти схемы могут обеспечить:

- повышение индикаторного КПД ДВС до 50-70%;
- повышение максимального механического КПД ДВС и привода до 50 и более процентов;
- повышение эффективного КПД при минимальных нагрузках привода до 20 и более процентов;
- снижение габаритных размеров и веса двигателя;
- прямой выхлоп в атмосферу без пропускания рабочих газов через глушитель;
- бесстартерную заводку двигателя;
- изменение рабочего объема цилиндров при изменении условий движений.

В настоящее время достаточно полно разработана теория решения поставленных в системе АИСТ задач термодинамики и механики. Разработаны программы расчета индикаторных диаграмм обычного, продолженного и изотермического циклов работы ДВС и программы имитационного моделирования, позволяющие вести анализ рабочих параметров в динамике, определить индикаторный и механический КПД при различных степенях сжатия и переменных оборотов коленчатого вала.

Список литературы

1. Алексеев Г. Н. Энергоэнтропика. - Москва: Знание, 1983. - 191с.
2. Дружинин В. В., Конторов Д. С. Системотехника. - Москва: Радио и связь, 1985. - 200с.
3. Трапезников В. А. Автоматическое управление и экономика. - Автоматика и телемеханика, 1966, № 1, с. 23-35.
4. Игнатьев М. Б., Ильевский В. З., Клауз Л. П. Моделирование системы машин. - Ленинград: Машиностроение, 1986. - 304с.
5. Джонс Дж. К. Методы проектирования. / Пер. с англ. 2-е изд. - Москва: Мир, 1986. - 326с.
6. Koller R. Konstruktions methode fur den Maschinen. -Berlin: Springer-Verlag, 1976. -184 S.
7. Романовский И. В. Алгоритмы решения экстремальных задач. - Москва: Наука, 1977. - 352 с.
8. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества. - Москва: Машиностроение, 1988. - 368с.
9. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках / Пер. с нем. - Москва: Радио и связь, 1984. - 144с.
10. Одрин В. М., Картавов С. С. Морфологический анализ систем. - Киев: Наукова думка, 1977. - 183с.
11. Автоматизация поискового конструирования / А.И.Половинкин, Н.К.Бобков, Г.А.Буш и др.; подпрред. А.И.Половинкина. - Москва: Радио и связь, 1981. - 344с.
12. Артоболовский И. И., Ильинский Д. Я. Основы синтеза систем машин автоматического действия. - Москва: Наука, 1983. - 280с.
13. Арайс Е. А., Дмитриев В. Н. Автоматизация моделирования многосвязных механических систем. - Москва: Машиностроение, 1987. - 240с.

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ГИБКИХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Сушинский А.Б., ИМАШ АН СССР

Слесарев М.Ю., ИМАШ АН СССР

Жизненность и эффективность Гибких производственных систем (ГПС) подтверждена опытом эксплуатации в течении длительного периода. С 1976г. по настоящее время число ГПС в развитых капиталистических странах увеличилось с 30 до 700 штук, т.е. более чем в 20 раз. Большинство из этих систем обеспечили существенное улучшение технико-экономических показателей производства. Однако в ряде случаев наблюдается обратная картина, т.е. происходит не улучшение характеристик производства, а даже некоторое их снижение. Объясняется такое положение следующим:

принятием решений о внедрении ГПС на данном конкретном предприятии без достаточных обоснований;

поспешностью при проведении исследований по выбору варианта построения и характеристик ГПС;

несбалансированностью между собой составных компонентов системы по уровню функциональных, технологических, информационных и качественных показателей;

недостаточной подготовкой работающего персонала, особенно операторов, наладчиков и программистов.

Не допускать указанные недостатки особенно важно в условиях, когда ГПС "перерастают" в еще более сложные и совершенные системы - гибкие интегрированные автоматизированные производства (ГИАП), создание которых является результатом развития ГПС в следующих направлениях :

комплексной компьютерной автоматизации,
интеграции,
интеллектуализации,
гуманизации.

Концепция комплексной компьютерной автоматизации проявляется в наращивании гибкости и адаптивности производства на основе всеобщей компьютеризации, на системотехническом применении для этих целей достижений науки, техники и производства при тщательном учете внутренних и внешних факторов, определяющих создание и эксплуатацию ППС.

Интеграция является одной из особо перспективных тенденций развития производства, основным содержанием которой можно считать получение комплексного объединения систем, обеспечивающего координацию и взаимодействие этих систем за счет взаимосвязи и согласования информационных, материальных и производственных сетей. При этом происходит объединение систем, осуществляющих проектирование продукции и выбор технологии, подготовку технологических процессов, управление оборудованием, системами и предприятием в целом, что позволяет получить качественно новое гибкое интегрированное автоматизированное производство, которое не просто суммирует положительные свойства входящих в него систем, но и усиливает эти свойства за счет созданных возможностей перераспределения, замещения и взаимообогащения функций.

Меры по интеллектуализации повышают гибкость и адаптивность производства, так как системы управления получают способность самообучения, коррекция своего поведения - все это создает благоприятные возможности по оптимальному реагирова-

нию на внешние и внутренние возмущения.

Гуманизация труда в условиях высокоавтоматизированного производства вообще, и при применении ГПС, в частности, считается важной самостоятельной социально-экономической проблемой организации производства, включающей в себя оптимизацию эргономических вопросов, ликвидацию монотонного и вредного для здоровья человека труда, создания творческой атмосферы и благотворной социально-нравственной обстановки на предприятии.

Учитывая сказанное, следует подчеркнуть, что рационализация структуры ГИАП становится в этом случае еще более важной научно-практической проблемой, успешное решение которой в каждом конкретном случае позволяет получить существенный прирост эффективности производства. Основными направлениями рационализации определения эффективного варианта ГПС, как базового компонента ГИАП, можно считать :

1. Применение системного подхода при проектировании ГПС, основным содержанием которого при выборе варианта, структуры и характеристик ГПС должны быть комплексный учет особенностей всего предприятия и отдельного оборудования, не входящего в состав ГПС; сбалансированное соотношение между компонентами ГПС, оборудованием других участков производства и математическим обеспечением. Уровень компьютеризации проектируемой системы должен определяться как поставленными задачами, так и степенью автоматизации и гибкости других систем предприятия.

2. Итеративный характер проведения синтеза ГПС. заключающийся в многократном анализе варианта гибкой системы с целью выбора наиболее благоприятного для данного предприятия

ее состава, функций и связей. При этом происходит возврат с последующих этапов проектирования к предыдущим для уточнения принятых ранее решений. Для этого этапа чаще всего разрабатывается свой определенный алгоритм решения. Наиболее трудноформализуемым является процесс установления первоначальных вариантов ППС. В этом случае, как правило, целесообразно ориентироваться на эвристические методы решения, базирующиеся на опыте, способностях и интуиции исследователей и конструкторов.

Особо важное значение для решения указанной задачи занимает наличие базы знаний о различных способах и вариантах построения гибких интегрированных производств, применяемых в настоящее время и перспективных элементов этих производств. Эффективность использования данной базы знаний зависит от оптимальности автоматизации системы управления этой базой.

3. Рациональное сочетание ранее используемых и новых прогрессивных технологий как непосредственно в предполагаемом производстве, так и в процессах проектирования оборудования и продукции ППС. В этом плане принимается во внимание не только перспективные технологии производства, основанные, например, на применении лазерной техники или сверхпроводимости и т.д., но и новейшие технологии проектирования типа групповой технологии, представляющей собою особую производственно-организационную концепцию, которая позволяет извлекать выгоды из аналогий, существующих между конструктивными и технологическими особенностями разных изделий (деталей), выявлять сходные признаки этих изделий (деталей) с целью последующей их группировки. Групповая технология обеспечивает повышение эффективности производства семейства деталей (изделий), заключающейся в сокра-

щении продолжительности наладки оборудования, уменьшении незавершенного производства, улучшении планирования, повышении уровня контроля состояния инструмента и оснастки и др.

4. Модульное построение ППС, являющееся одним из основных системных требований, предъявляемых к ППС позволяет комплексовать из ограниченного набора унифицированных модулей разнообразные по составу и функциям гибкие системы. Модульный принцип создания ППС способствует более успешному и, главное, более быстрому осуществлению структурно-компоновочного синтеза ППС. Эффективность реализации указанного принципа зависит от определенной функциональной автономии и инвариантности модулей, из которых предполагается комплексовать ППС. Модульный принцип предполагает широкое использование унифицированных и стандартных компонентов, блоков, программ и т.п. Все это не только обеспечивает благоприятные условия для ускоренного проектирования и внедрения ППС, минимизации расходов на их создание, но и для дальнейших модернизаций и развития этих систем.

5. Поэтапность ввода ППС, позволяющая наращивание гибкого производства по сравнительно функционально независимым частям. При этом предполагается, что уже на ранних этапах ввода ППС должна быть способна выполнять, хотя и с некоторыми ограничениями, основные функции. Такой поэтапный ввод гибкого производства приведет не только к выбору целесообразной траектории выхода на планируемые значения эффективности ППС, но и к ускорению процесса окупаемости расходов на ее изготовление и внедрение. Кроме того, поэтапность создания ППС обеспечит условия для более рационального вложения и использования средств, приобретения и совершенствования навыков по вводу и

эксплуатации.

6. Моделирование ГПС и ее составляющих компонентов, технологических и управляющих процессов, происходящих в ней, основой которого может быть использован принцип декомпозиции, реализуемой двумя способами: снижением уровня сложности и построения моделей функционально-независимых частей системы

Первый способ декомпозиции заключается в решении задачи синтеза ГПС путем создания ранжированного ряда моделей, в которой каждая последующая модель обеспечивает большую точность решения, чем предыдущая, но имеет при этом меньшую гибкость и повышенную вычислительную трудоемкость, т.е. процесс моделирования ГПС разбивается на несколько иерархических уровней и на каждом уровне используются соответствующие специфические модели.

Другой способ декомпозиции состоит в построении ряда условно независимых моделей проектируемой системы отличающихся друг от друга различными частными требованиями. При этом предполагается, что при анализе каждой предыдущей модели все требования, исследуемые в последующих моделях, выполняются.

При проектировании ГПС моделирование позволяет осуществлять:

- выбор рационального варианта системы;
- оценку вариантов материальных и информационных потоков;
- составление алгоритмов для определения производственных маршрутов и т.д., т.е. решать многие задачи анализа и синтеза ГПС.

7. Всесторонний учет социальных факторов, особенно тех, которые определяют эффективное использование работающего пер-

сонала и его благосостояние. Как известно, установка ППС вместо обычного оборудования ведет к сокращению в большинстве случаев числа работающих в 2-4 раза и требует использования в производстве и управлении специалистов более высокой квалификации. Следовательно, проектируя внедрение ППС, необходимо планировать перераспределение и устройство освободившихся рабочих и инженерно-технических работников, а тех, кто будет участвовать в монтаже и эксплуатации ППС, заблаговременно готовить к выполнению новых функций. Подготовка персонала предприятий, на которых предполагается установка ППС, должна вестись параллельно с разработкой и начальными этапами внедрения системы и на это средств жалеть не следует, так как требуемая квалификация работающего персонала - это залог эффективной эксплуатации ППС, высокое качество продукции и, в конечном счете, большие прибыли. Опыт в вопросах подготовки и переподготовки работающих показывает, что отдача от этого превышает расходы в 3 раза ². Кроме того, при правильной организации обучения и расстановке рабочих, техников и инженеров, занятых в эксплуатации ППС, создаются условия для существенного улучшения материального положения работающих и морального климата на предприятии.

Последовательное применение рассмотренных правил при проектировании ГИАП позволит разработать рациональные по структуре и характеристикам гибкое производство и его составные компоненты.

Список литературы:

I. Солодовников В.В. и др. Принцип сложности в теории управ-

ления. О проектировании технически оптимальных систем и о проблеме корректности. Наука, 1977, Москва, 344 с.

2. Рождественский В.Л. Группы качества - действенная форма...
//Вестник машиностроения. 1988. № 7. Москва, с. 60.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СХЕМНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ

Усов Б.А., Институт технической кибернетики АН БССР, СССР
Шишаков М.Л., Гомельский Политехнический институт, СССР

Современная теория механизмов и машин, как известно, состоит из трех основных разделов: структура, кинематика и динамика. Исследования, излагаемые в настоящей работе, посвящены разработке теоретических основ создания систем автоматизированного проектирования механизмов (структура, кинематика). Основной трудностью, с которой встретились авторы настоящей работы, следует считать то, что в самой теории механизмов и машин до настоящего времени не удалось преодолеть методологическую разобщенность между отдельными ее основными разделами. Известно, что применяемые в настоящее время методы кинематического и динамического анализа механизмов совершенно не связаны с методами и приемами структурного их синтеза. Поэтому между такими разделами современной теории механизмов, как структура, кинематика и динамика в лучшем случае существует лишь некоторая формальная связь, устанавливаемая обычно через систему классификации групп Ассур и механизмов [1]. Для преодоления этой сложности выбраны три основных принципа, которые являются исходными положениями общей теории механизмов [2]:

- структура механизма предопределяет всю совокупность возможных движений его звеньев;
- всякий механизм может быть образован из нулевого присоединением к нему последовательного ряда цепей наложения (принцип Ассур);
- свойства механизмов определяются только при исследовании всего механизма как цепи.

Основным математическим аппаратом описания положения звеньев и передаточных функций выбрана теория алгебраических многообразий. Это описание строится на фундаментальном результате, полученном Кенингом 3. Кенингс занимался воспроизведением любой алгебраической поверхности при помощи шарнирной системы и показал возможность построения механизма, который может описать по частям требуемую поверхность. Представленные доказательства дают возможность указать на верхний предел числа шарниров, которая требуется для воспроизведения поверхности или указанной кривой.

Рассмотрим плоские стержневые механизмы с шарнирными парами. С классической теорией механизмов основной задачей кинематики рычажных механизмов является задача о положениях звеньев. Она относится к классу задач анализа. В общем случае решение ее связано с решением системы нелинейных уравнений. Степень сложности системы уравнений (порядок, количество неизвестных) зависит от сложности структурной схемы механизма, которая в свою очередь определяется видом структурных групп Ассур, входящих в систему. С целью упрощения систем нелинейных уравнений при решении задач кинематического анализа механизма целесообразно воспользоваться погрупповым методом, при котором производится последовательно анализ каждой группы в порядке их наложения [4,5]. Такой подход к решению поставленной задачи позволяет разбить систему нелинейных уравнений на конечное число независимых подсистем меньшего

порядка и размерности.

К настоящему времени в технической литературе опубликовано большое количество работ по способам определения положений звеньев плоских и пространственных механизмов. Основой всех способов кинематического анализа механизмов являются две разновидности общих методов: метод преобразования координат 6 и метод замкнутого векторного контура [7]. В целом можно считать, что задача об определении положения звеньев механизма в настоящее время решена, а использование современных средств вычислительной техники позволяет находить решение с требуемой точностью [8]. Однако анализ существующих разнообразных методов определения положений звеньев показывает, что они в основном направлены на получение явных аналитических выражений или, если этого нельзя добиться, наиболее простых неявных выражений. Это привело к наличию большого количества оригинальных расчетных формул для конкретных структурных схем. Кроме того, при анализе многозвенных механизмов возникает затруднение с выявлением всех вариантов расположения звеньев при одном и том же положении начального звена механизма или положении внешних кинематических пар групп Ассур [9]. При реализации методов кинематического анализа механизмов на ЭВМ возникает ряд требований, обусловленных спецификой организацией вычислительного процесса. К ним можно отнести:

- наличие общей математической модели для широкого класса механизмов;
- возможность автоматизированного формирования математической модели конкретного механизма;
- возможность проведения расчетных работ в одном из классов математических функций;
- устойчивость вычислительного процесса или его сходимости;
- возможность получения аналитических зависимостей между любыми переменными параметрами механизма;
- возможность выявления всех вариантов расположения звеньев при одном и том же положении начального звена;
- возможность дискретизации функций положения звеньев.

Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют методы кинематического анализа, предложенные в работах [10,11]. Основным недостатком этих работ следует считать необходимость решения тригонометрических систем уравнений. Для стержневых механизмов, состоящих из групп Ассур не выше второго класса, формализованный метод кинематического анализа описан в работах [9,12]. Под классом механизма или структурной группы понимается структурный инвариант, определенный в работах [13,14]. Работ, указывающих общие способы нахождения аналитических зависимостей между переменными параметрами механизма, авторам найти не удалось.

Исходными данными для проведения кинематического анализа групп Ассур будут:

- структурная схема групп;
- значения постоянных геометрических параметров звеньев групп;
- траектория движения внешних кинематических пар групп;
- функции положения внешних кинематических пар относительно

но друг друга.

Из работы [15] известно, что структурная схема может быть задана неориентированным графом, матрицей смежности, матрицей инцидентностей. Среди различных видов матриц смежностей наиболее компактной и информативной является матрица смежностей вершин графа [16]. Структурная схема фермы группы Ассура второго класса, ее изображение графом и представление матрицы смежностей показано на рис.1. Введем следующие обозначения: A_i - кинематические пары механизма или фермы группы; A_{ij} - значение постоянных параметров (линейные размеры звеньев механизма однозначно задающие их геометрические свойства). Внешними кинематическими парами будут пары A_1 и A_6 (рис.1). Из условия поставленной задачи нам известно:

- траектории движения A_1, A_6

$$\begin{aligned} a_{001} + a_{101}x_1 + a_{011}y_1 + a_{201}x_1^2 + \dots + a_{1,n-1,1}x_1y_1^{n-1} + a_{0n1}y_1^n = 0 \\ a_{006} + a_{106}x_6 + a_{016}y_6 + a_{206}x_6^2 + \dots + a_{1,m-1,6}x_6y_6^{m-1} + a_{0m6}y_6^m = 0 \end{aligned}$$

- функция положения кинематических пар A_1, A_6 относительно друг друга

$$b_{0016} + b_{1016}x_1 + b_{0116}x_6 + b_{2016}x_1^2 + \dots + b_{1,n-1,1,6}x_1x_6^{n-1} + b_{0n16}x_6^n = 0,$$

где a_{ijc}, b_{ijcs} - коэффициенты алгебраических многочленов, i - порядок многочлена по первому неизвестному, j - порядок многочлена по второму неизвестному, c, s - номера кинематических пар.

Общая модель плоского рычажного механизма и групп Ассура. Плоский рычажный механизм с шарнирными парами состоит из элементов двух типов. Это твердые тела, образующие между собой подвижные соединения - звенья механизмов и подвижные соединения - кинематические пары. В рассматриваемых механизмах имеются только вращательные кинематические пары. Звенья, входящие в механизм, могут иметь 2, 3, ..., p подвижных соединений, т.е. звенья могут быть отрезком кривой, треугольником, p -угольником. В общем случае для однозначного задания p -угольного звена необходимо задать постоянных параметров. Поэтому двухугольник задается уравнением $(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 = A_{12}^2$ трехугольник $(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2 = A_{23}^2, (x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 = A_{13}^2, (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 = A_{12}^2,$

p -угольник системы из S уравнения. Аналогичными уравнениями будут описываться многоугольники с изменяемыми углами, но число уравнений будет соответствовать числу сторон многоугольника. Таким образом, общая математическая модель механизма будет состоять из Q числа уравнений

$$Q = p_2 + 3p_3 + \dots + (2S - 3)p_s,$$

где p_2, p_3, \dots, p_s - количество 2, 3, ..., s угольников. Все уравнения, входящие в систему размерности Q будут иметь вид $(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 = A_{ij}.$

Автоматизированное формирование исходной математической модели. В работах [16, 17] предложен универсальный подход к автоматизированному построению кинематической модели механизма из моделей отдельных компонент. Синтез кинематической модели по данному методу осуществляется путем анализа специаль-

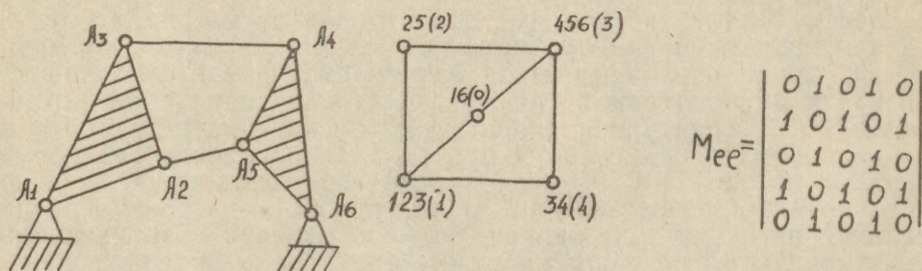


Рис. 1

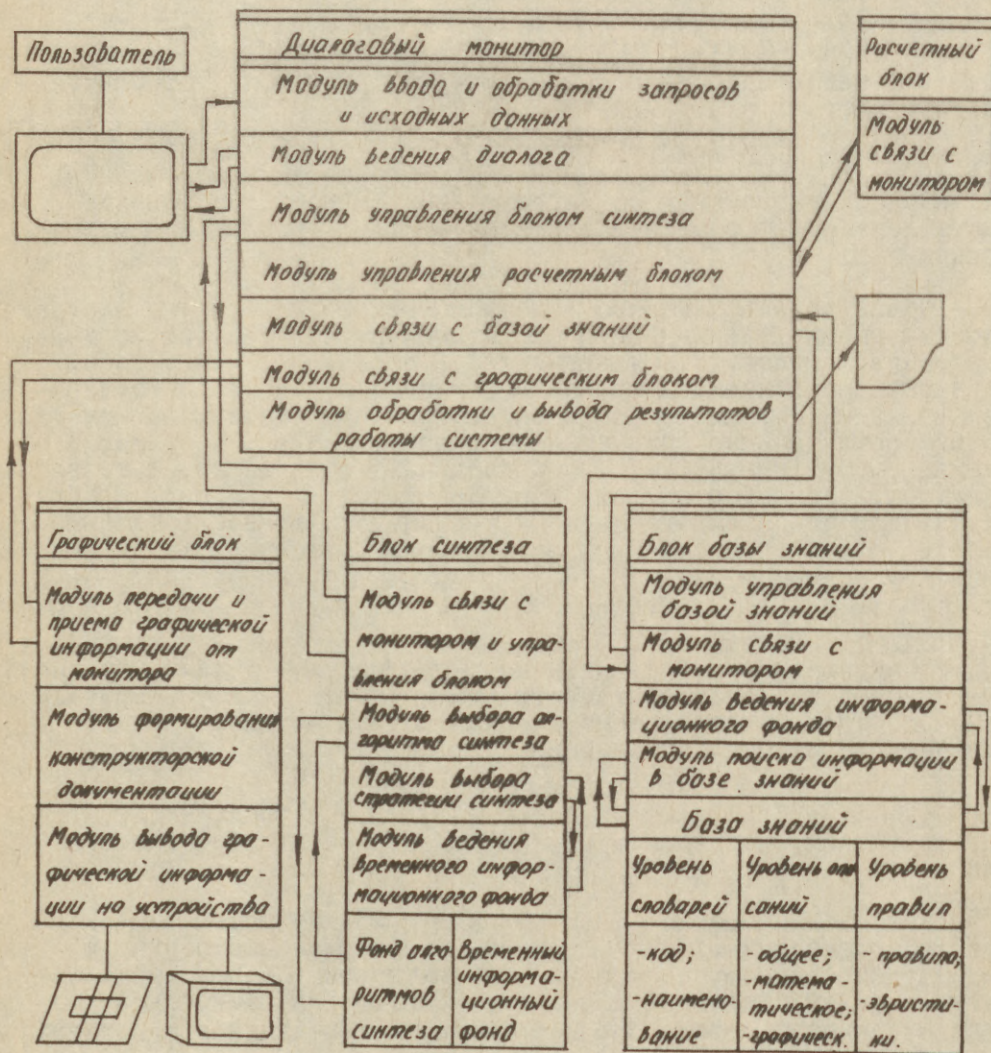


Рис. 2

ных идентификаторов в списке исходных данных. В рассматриваемом случае это удастся сделать воспользовавшись матрицей смежностей вершин и ребер графа. Воспользуемся соотношениями из работы [18]:
 $M_{or} = M_{oc} M_{oc}^T$, $M_{ee} = M_{oe}^T M_{oc}$, где M_{ee} — матрица смежностей ребер, M_{oe} — матрица смежностей ребро-вершина, M_{oc} — матрица смежностей вершин. Эти соотношения позволяют найти M_{ee} [15] в которой ненулевыми являются элементы, соответствующие смежным ребрам. Значение ненулевых элементов могут быть равными значениям постоянных кинематических параметров A_{ij} . Таким образом, матрица

$$[A_{ij}] = \begin{pmatrix} 0 & A_{12} & A_{13} & 0 & 0 & A_{16} \\ A_{21} & 0 & A_{23} & 0 & A_{25} & 0 \\ A_{31} & A_{32} & 0 & A_{34} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{43} & 0 & A_{45} & A_{46} \\ 0 & A_{52} & 0 & A_{54} & 0 & A_{56} \\ A_{61} & 0 & 0 & A_{64} & A_{65} & 0 \end{pmatrix} \dots 1$$

однозначно определяет структурную схему механизма и его метрические параметры. Она содержит всю необходимую и достаточную информацию об исходной математической модели механизма (группы) и является компактной формой для записи и хранения. Матрица $[A_{ij}]$ однозначным образом ставится в соответствие система уравнений:

$$\begin{aligned} (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 &= A_{12}^2 \\ (x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2 &= A_{23}^2 \\ (x_3 - x_4)^2 + (y_3 - y_4)^2 &= A_{34}^2 \\ (x_4 - x_5)^2 + (y_4 - y_5)^2 &= A_{45}^2 \\ (x_5 - x_6)^2 + (y_5 - y_6)^2 &= A_{56}^2 \\ (x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2 &= A_{13}^2 \\ (x_4 - x_6)^2 + (y_4 - y_6)^2 &= A_{46}^2 \\ (x_2 - x_5)^2 + (y_2 - y_5)^2 &= A_{25}^2 \\ (x_1 - x_6)^2 + (y_1 - y_6)^2 &= A_{16}^2 \end{aligned} \dots 2$$

Таким образом, матрица $|I|$ или система уравнений $|2|$ являются общей математической моделью Ассуровой группы, изображенной на рис. 1. Если учесть, что координаты внешних пар связаны зависимостями $f_1(x_1, y_1) = 0$, $f_6(x_6, y_6) = 0$ и $f_{16}(x_1, x_6) = 0$ то, исключим ненужные переменные, можно получить функции положения звеньев и траектории движения точек звеньев в виде неявных функций

$$\begin{aligned} f_i(x_i, y_i) &= 0 \\ f_{ij}(x_i, y_j) &= 0 \end{aligned} \dots 3$$

Выражения $|2|$ и $|3|$ носят название алгебраических многообразий, которые в настоящей работе используются как для проведения анализа, так и синтеза механизмов. Устойчивость вычислительных процессов анализа и синтеза будет зависеть от свойств алгебраических многообразий, с которыми можно познакомиться в работе [9]

Задача синтеза механизмов или структурных групп Ассура является обратной задаче анализа. В случае анализа неизвестными являются коэффициенты a_{ij} , b_{ij} в выражениях $|3|$, а исходными данными — значение элементов матрицы $|1|$. Задача синтеза позволяет найти значение элементов матрицы $|1|$ по известным коэффициентам a_{ij} , b_{ij} . В такой постановке решение задачи синтеза имеет две основных стратегии. Первая стратегия используется в том случае, когда известна структура механизма. В этом случае

приемлемую для него схему (структурную, кинематическую). Схемным решениям временного информационного фонда могут применяться алгоритмы оптимизации для нахождения оптимальной по каким либо параметрам схемы. Все или отдельные схемы из временного информационного фонда могут быть помещены в базу знаний для долговременного хранения. Модуль ведения информационного фонда осуществляет управление заполнением, редактированием и поиском информации в фонде. Фонд алгоритмов синтеза содержит набор алгоритмов, реализующих различные методы структурного и кинематического синтеза. Для пополнения фонда новыми алгоритмами и поиском нужного алгоритма в фонде предназначен модуль поиска в фонде алгоритмов синтеза. Модуль выбора стратегии синтеза обеспечивает в диалоге с пользователем составление последовательности подключения алгоритмов синтеза или предоставления пользователю возможность выбирать из уже готовых стратегий наиболее для него приемлемую. Если пользователь задает метод решения из набора имеющихся в базе методов, то алгоритм этого метода будет найден в фонде алгоритмов и по нему будет выполняться синтез схемы механизма.

База знаний в системе предназначена для хранения различных типов описания (графического, математического и т.д.) как типовых механизмов проектирования, так и новых схемных решений, полученных в результате синтеза. Кроме готовых схемных решений база знаний содержит различную информацию для реализации алгоритмов синтеза: набор готовых элементарных схем и обобщенные модели проектируемого класса механизмов (для реализации алгоритмов синтеза из подсистем с применением определенного набора операций). Так как система предусматривает работу с базой знаний в автономном режиме, то существует отдельная несложная подсистема поиска информации в базе знаний и ведения ее информационного фонда. Перечисленные функции блок базы знаний реализует с помощью следующих основных модулей:

- модуль связи с монитором;
- модуль ведения информационного фонда базы знаний;
- модуль поиска информации; в базе знаний в автономном режиме.

Модуль ведения информационного фонда обеспечивает дополнение всех разделов информационного фонда новыми данными, корректировку информационного фонда, проверку правильности занесения данных, вывод нужной информации на принтер или устройства для графического вывода для контроля. Этот модуль имеет достаточно сложную структуру, определяемую сложностью структуры информационного фонда. Модуль поиска информации в базе знаний осуществляет выбор по некоторым признакам или правилам информации из фонда. Этот модуль используется при работе системы в первом режиме (автономный поиск в базе знаний), например, при поиске типового схемного решения по заданному набору параметров.

Графически блок реализует следующие основные функции:

- прием и передачу графической информации о проектируемом механизме диалогового монитора;
- вывод графической информации на устройство графическо-

го вывода;

- формирование несложной конструкторской документации. Для реализации названных функций графический блок содержит следующие основные модули:

- модуль вывода графической информации на устройство графического вывода;

- модуль формирования конструкторской документации.

В зависимости от подключаемого графического пакета состав модуля может изменяться.

Учитывая, что часть синтезируемых структурных и кинематических схем может быть получена формализованными процедурными методами, в систему включен расчетный блок. Его основная задача - получение расчетным путем параметров структурного и кинематического синтеза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Диментберг Ф.Н., Саркисян Ю.Л., Усков М.К. Пространственные механизмы. Обзор современных исследований. - Москва: Наука, 1983. - 94с.

2. Тайнов А.И. Механизмы плоской системы с одними поступательными парами. - Минск: Изд-во АН БССР, 1961. - 182с.

3. Koenigs G. Toute surface algebrique peut etre par le moyen d un systeme articule. - Comptes Rendu, 1985, P.120.

4. Овакимов А.Г. Погрупповой векторный метод решения задач кинематики плоских механизмов. - Изв. вузов, Машиностроение, 1975, № 6, с.52-56.

5. Пейсах Э.Е. Кинематический анализ плоских многозвенных механизмов при помощи ЭЦВМ. - В сб. научн. тр. ЛИГЛП, 1971, № 12, 42, с.129-134.

6. Морочкин Ю.Ф. Определение конфигурации механизмов. - ДАН СССР, 82, № 4, 1952, с.533-537.

7. Зиновьев В.А. Пространственный механизм с низшими парами. - М.: Гостехтеориздат, 1952. - 214с.

8. Левицкая О.Н., Левицкий Н.И. Курс теории механизмов и машин. - М.: Высшая школа, 1978. - 269с.

9. Пейсах Э.Е., Нестеров В.А. Система проектирования плоских рычажных механизмов. - М.: Машиностроение, 1988. - 232с.

10. Зиновьев В.А. Аналитические методы определения положений механизмов высших классов. - Тр. института машиноведения. Семинар по ТММ, 1949, Вып.22, с.61-74.

11. Озол О.Г. Основы конструирования и расчета механизмов. - Рига: Звайгзне, 1979. - 360с.

12. Пейсах Э.Е. Определение положения звеньев трехповодковой и двухповодковой четырехзвенных групп Ассур с вращательными парами. - Машиноведение, 1985, № 5, с.55-61.

13. Баранов Г.Г. Классификация, строение, кинематика и кинестатика механизмов с парами первого рода. - Тр. ин-та машиноведения. Семинар по ТММ, 1952, Вып.46, с.15-39.

14. Озол О.Г. Теория механизмов и машин. - М.: Наука, 1984. - 368с.

15. Олеон Д.Г., Томпсон Т.Р., Райли Д.Р., Эрдман А.Г. Алгоритм автоматического изображения плоской кинематической цепи.

Труды Американского общества инженеров механиков. Конструирование и технология машиностроения. - М.: Мир, 1985, № 1, с. 262-268.

16. Арайс Е.А., Дмитриев В.М. Моделирование неоднородных цепей на ЭВМ. - М.: Радио и связь, 1982. - 160с.

17. Арайс Е.А., Дмитриев В.М., Бохтин Ю.В. Автоматический синтез модели кинематической цепи. - Машиноведение, 1987, № 6, С. 59-64.

18. Добрянский Л., Фрейдентштейн Ф. Некоторые приложения теории графов к структурному синтезу механизмов. - Труды Американского общества инженеров механиков. Конструирование и технология машиностроения. - М.: Мир, 1967, № 1, С. 180-187.

19. Уокер Р. Алгебраические кривые. - М.: ИЛ, 1952. - 236с.

20. Шафаревич И.Р. Основы алгебраической геометрии. - М.: Наука, 1972. - 568с.

21. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. - М.: Машиностроение, 1988. - 368с.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ
ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

Верезуб Н.В., Харьковский политехнический институт, СССР
Гончаренко И.А., Харьковский политехнический институт, СССР

Перспективы развития машиностроительного комплекса связаны с автоматизацией как самого производства, так и его конструкторско-технологической подготовки. Особую сложность вызывает автоматизация подготовки технологических процессов обработки изделий из композитных материалов.

Резание композитов отличается значительным многообразием взаимосвязанных факторов, влияние которых на условия обработки могут существенно изменяться. Взаимосвязь физических и технологических параметров так сложна и неоднозначна, что до настоящего времени нет достаточно обоснованного научного подхода, позволяющего определить оптимальные режимы обработки, обеспечивающие требуемое качество поверхности, высокую производительность и минимальную себестоимость обработки.

Данная работа представляет попытку понять и описать процессы и механизмы, которые действуют при резании композитов, используя для этого машинное моделирование процесса обработки.

В предложенной модели исследователю будут доступны не только выходные параметры имитации процесса резания: температура, сила, износ режущего инструмента, качество обработанной поверхности, но также и внутреннее состояние моделируемой системы — поле температур и напряжений, характер состояния материала и т.п. Варьирование входными параметрами модели, такими, как: физико-механические свойства заготовки и инструмента, геометрические параметры детали и инструмента, режимы резания — позволят исследователю изучать самые разнообразные варианты, необходимые как для научной, так и для практической деятельности.

Имитационная модель процесса резания (рис. 1) представляет собой систему, состоящую из одной управляющей подсистемы, подсистемы вывода данных состояния модели и трех взаимосвязанных имитационных подсистем. Имитирующие подсистемы различаются размерами описываемых зон, а следовательно, характером

входных и выходных параметров. В этих подсистемах материал заготовки и инструмента разбивается на единичные элементы. Модель разрабатывается так, что каждый единичный элемент обладает набором параметров, которые отражают механические, физические и другие свойства того материала, к которому принадлежит элемент. В зависимости от внешних, для данного элемента, условий параметры могут иметь то или иное значение, характеризующее состояние единичного элемента. На изменение состояния элемента влияет:

- предыдущее состояние данного элемента;
- текущее состояние соседних элементов.

Процессом перехода из одного состояния в другое управляют правила поведения системы. Этими правилами являются уравнения, зависимости, закономерности, по которым, как считает исследователь, должны происходить процессы при резании материалов. Эти правила могут изменяться, усложняться или упрощаться в зависимости от того, что требуется: достоверная имитация или более точное изучение свойств системы. Первая подсистема включает в себя только зону контакта инструмента и заготовки (рис. 2, зона А). В этой подсистеме размеры единичных элементов составляют несколько микрон. Именно в этой подсистеме происходят процессы, определяющие дальнейшую работу всей системы - разрушение материала, образование силовых и тепловых полей, износ инструмента.

Вторая подсистема описывает зону деформации обрабатываемого материала при взаимодействии с режущим клином (рис. 2, зона В). Размеры элементов составляют доли миллиметров. Это подсистема необходима для учета влияния контактной зоны на зону деформации инструмента и заготовки и для связи между первой и третьей подсистемами.

В третью подсистему входит система "заготовка - режущий инструмент" (рис. 2, зона С). Значительные размеры заготовки и инструмента обуславливают использование крупных единичных элементов, размеры которых исчисляются миллиметрами. Данная подсистема обеспечивает связь всей системы с внешней средой, а также учитывает геометрические параметры детали и инструмент, режимы обработки.

В разрабатываемой системе заложена возможность ее усложнения и усовершенствования. Для этого используется блочная структура построения системы и возможность работы с базами знаний. Кроме того, в модели отсутствует последовательность работы тех или иных правил и, следовательно, нет последовательной передачи данных от правила к правилу. Исходным состоянием системы являются входные параметры на первом шаге моделирования. Каждое правило последовательно меняет состояние каждого элемента. После того как все правила выполнили свою задачу, новое состояние системы становится источником информации для следующего шага моделирования. Через некоторое количество шагов мы имеем возможность вывести значения текущего состояния системы на устройство вывода ЭВМ. Такая возможность позволяет изучать процесс резания композитов в динамике.

Как в любой сложной системе, создание ее идет от простого к сложному. Процесс создания имитационной модели процесса резания можно разбить на следующие этапы.

Первый этап - разработка общей концепции, обоснование научной и практической ее ценности.

Второй этап - разработка структуры имитационной модели, рассмотрение общих принципов работы модели.

Третий этап - разработка модели с учетом механики взаимодействия инструмента и заготовки на базе основных положений механики разрушения композитов.

Четвертый этап - разработка модели тепловых процессов.

Пятый этап - моделирование явлений износа инструмента.

Шестой этап - имитация химических и физико-химических реакций, происходящих в зоне резания.

Седьмой этап - моделирование сложных структур композита с учетом большего числа внешних факторов.

Восьмой этап - проведение экспериментов с целью изучения возможности прогнозирования процессов резания новых материалов.

Девятый этап - разработка системы оптимизации режимов обработки композитных материалов для подготовки данных в САПР ТПП.

На каждом из этапов необходима проверка результатов моделирования на натурном эксперименте и корректировка имитацион -

ной модели.

Принципиальной особенностью данной модели является то, что моделирование основывается не на использовании эмпирических данных о процессе резания, а на моделировании этого процесса с использованием в качестве исходных данных физико-механических свойств применяемых материалов и параметров режима обработки.

Исходные данные дают возможность получить информацию о геометрии сечения среза, размерах поверхности контакта детали и инструмента и деформации срезаемого слоя, величина которой определяется из выражения:

$$\Delta l_p = V \cdot \Delta t_p$$

Для малого интервала времени Δt_p получим малое приращение перемещения инструмента Δl_p . Но так как в процессах деформации материала и последующего его разрушения фактор перемещения играет важную роль и достоверность модели в большей степени зависит от правильного подбора величины перемещения инструмента, поэтому более рациональным является подход, при котором перемещение Δl_p будет аргументом, а время Δt_p - функцией.

$$\Delta t_p = \frac{\Delta l_p}{V} \quad \dots 1.$$

При таком подходе те физические процессы, которые не зависят от Δl_p , а зависят от времени (например, процесс теплопередачи), можно получать через фактор перемещения инструмента. Поэтому все процессы при резании можно представить так:

$$P_{ji} = P_{ji-1} + \Delta P_{ji}(\Delta l_p) \quad \dots 2.$$

где P_{ji} - j -ый параметр (его значение) процесса резания при i -ом значении приращения Δl_p ;

P_{ji-1} - предыдущее значение этого параметра;

$\Delta P_{ji}(\Delta l_p)$ - приращение j -го параметра при i -ом приращении перемещения Δl_p .

Надо заметить, что уравнение /2/ отражает состояние не всей системы, а одного единичного элемента, имеющего номер (m , n , l), соответствующий положению элемента в пространстве

(X, Y, Z). В связи с этим индексация параметра будет выглядеть как $P_{ji}^{(m,n,l)}$.

Так как в первой подсистеме происходят наиболее сложные явления, то размеры единичных элементов следует брать достаточно малыми. При этом возникает возможность использования элементов волокон наполнителя в качестве единичных элементов (рис.3). Единичные элементы матрицы будут образованы путем соединения центров соседних элементов наполнителя (рис. 4).

На рис. 3 показано идеальное расположение волокон в композите, что редко встречается на практике. Разрабатываемая имитационная модель позволяет не только задавать различные диаметры волокон и различные расстояния между ними (что делается с использованием метода Монте Карло), но и дает возможность имитировать скручивание волокон в жгуты и переплетение их в ткань. Не исключена возможность создания и других пространственных как периодических, так и непериодических структур обрабатываемого материала. Это достигается путем присваивания каждому единичному элементу наполнителя координат X, Y, Z в таком порядке, как это могло бы быть в реальном композиционном материале.

После того, как сформировано объемное расположение волокон наполнителя, производится операция "Заполнение пустого пространства элементами матрицы". По окончании этой процедуры можно говорить о сформированной структуре композитного обрабатываемого материала. Материал инструмента является однородным, и единичные элементы можно представить формой куба. С соседними элементами "скрепление" производится путем наложения связей между совместными сторонами элементов. Существуют связи трех типов:

1) связь наполнитель-наполнитель или матрица-матрица, которая описывается физическими и механическими свойствами данного материала;

2) связь наполнитель-матрица, описываемая параметрами адгезионного взаимодействия между матрицей и наполнителем;

3) свободная, или "нулевая связь", которая характерна для свободной поверхности и для элементов, подвергшихся разрушению.

Первые две связи могут передавать усилия: сжимающие, рас-

тягивающие и касательные. Однако эти усилия не должны превосходить максимально допустимые значения напряжений. Разрушение связи (образование "нулевой связи") происходит при создании на поверхностях контакта между элементами напряжений, превышающих допустимые.

Моделирование процесса резания происходит путем изменения координат единичных элементов инструмента, что ведет к изменению координат единичных элементов заготовки, прилегающих к поверхности инструмента. Это влечет за собой появление напряжений в материале заготовки с последующим разрушением обрабатываемого материала. Последовательный переход от параметров деформаций к напряжениям и далее к силам и перемещениям производится по законам теории упругости и на основании механических свойств составляющих композитного материала. Используя основные выражения теории упругости, можно получить уравнение силы, действующей на единичный элемент композитного материала:

$$F_{x,y,z} = \frac{E_{(1)} \cdot S_{x,y,z(1)} \cdot \Delta \varrho_{px,y,z(2)}}{\varrho_{x,y,z(1)} + \varrho_{x,y,z(2)} \cdot (S_{x,y,z(1)} \cdot E_{(1)} / S_{x,y,z(2)} \cdot E_{(2)})},$$

где S - площадь поверхности стороны элемента, на которую действует сила F , м²;

ϱ - половина размера ячейки вдоль одной из координат x, y, z , м;

$\Delta \varrho_p$ - приращение координаты сопряженной ячейки, м;

E - модуль упругости материала, Па.

Индекс (1) говорит о том, что параметр принадлежит элементу, чье состояние подвергается изменению, индекс (2) - сопряженному с ним элементу.

Так как все параметры, кроме $\Delta \varrho_p$, можно считать постоянными, то

$$F_{x,y,z} = f(\Delta \varrho_{px,y,z})$$

так как

$$\Delta \varrho_{px,y,z} = f(\Delta \varrho_p)$$

то получаем зависимость:

$$F_{x,y,z} = f(\Delta \varrho_p)$$

Получение приращения координат ячеек $\Delta \rho_{x,y,z}$ производится путем проведения многократных итераций модели, что обуславливается неточностью расчетов, связанных с дискретностью модели и учетом большого количества разнообразных взаимосвязанных параметров.

Для получения перемещений под действием сил $F_{x,y,z}$ используется уравнение:

$$\Delta \rho_{px} = \frac{2 \cdot \rho_x}{E} \left[\frac{\sum F_x}{S_x} - \nu \left(\frac{\sum F_y}{S_y} + \frac{\sum F_z}{S_z} \right) \right] \cdot K$$

$$\Delta \rho_{py} = \frac{2 \rho_y}{E} \left[\frac{\sum F_y}{S_y} - \nu \left(\frac{\sum F_x}{S_x} + \frac{\sum F_z}{S_z} \right) \right] \cdot K$$

$$\Delta \rho_{pz} = \frac{2 \rho_z}{E} \left[\frac{\sum F_z}{S_z} - \nu \left(\frac{\sum F_x}{S_x} + \frac{\sum F_y}{S_y} \right) \right] \cdot K$$

где ν - коэффициент Пуассона;

K - параметр, являющийся коэффициентом итераций.

Рассмотренная модель является первым шагом к созданию системы прогнозирования оптимальных условий обработки композитных материалов методом имитационного моделирования.

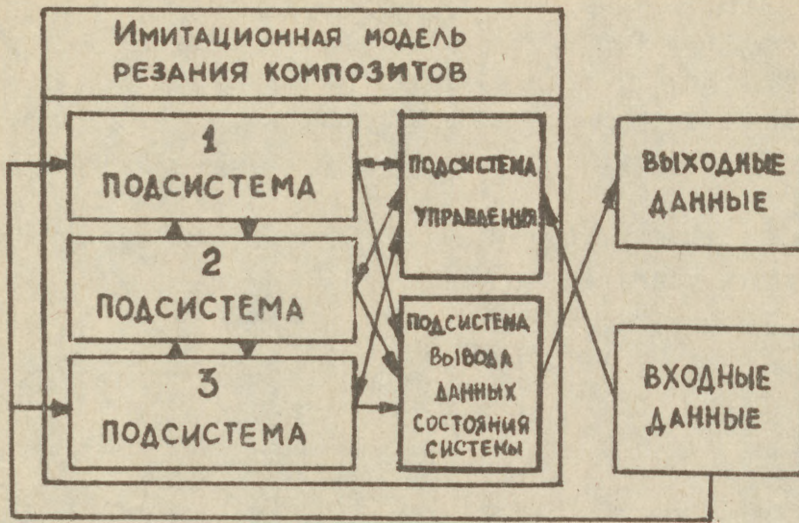


Рис. 1. Структурная схема имитационной модели

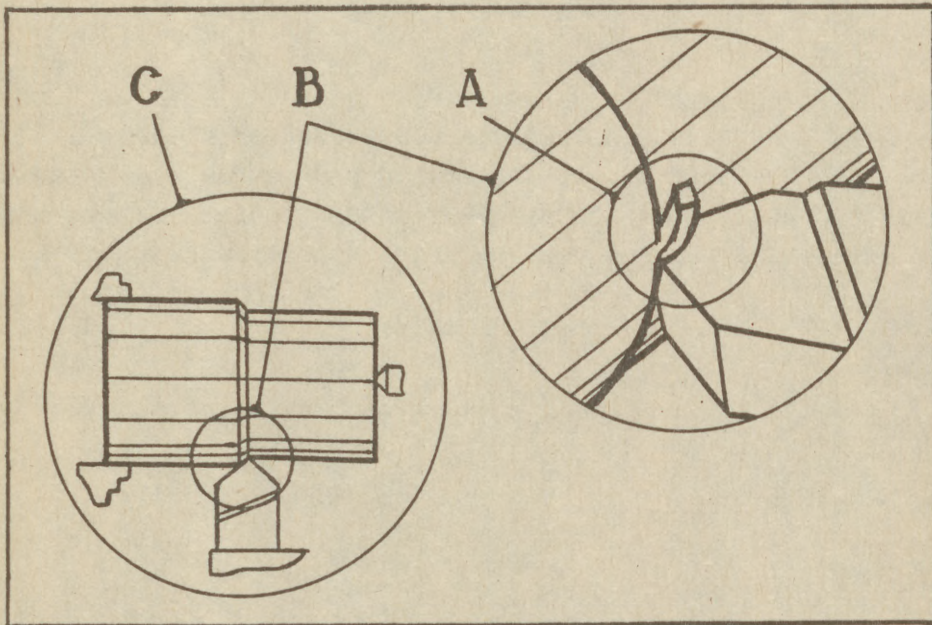


Рис. 2. Зоны, описываемые имитационными подсистемами

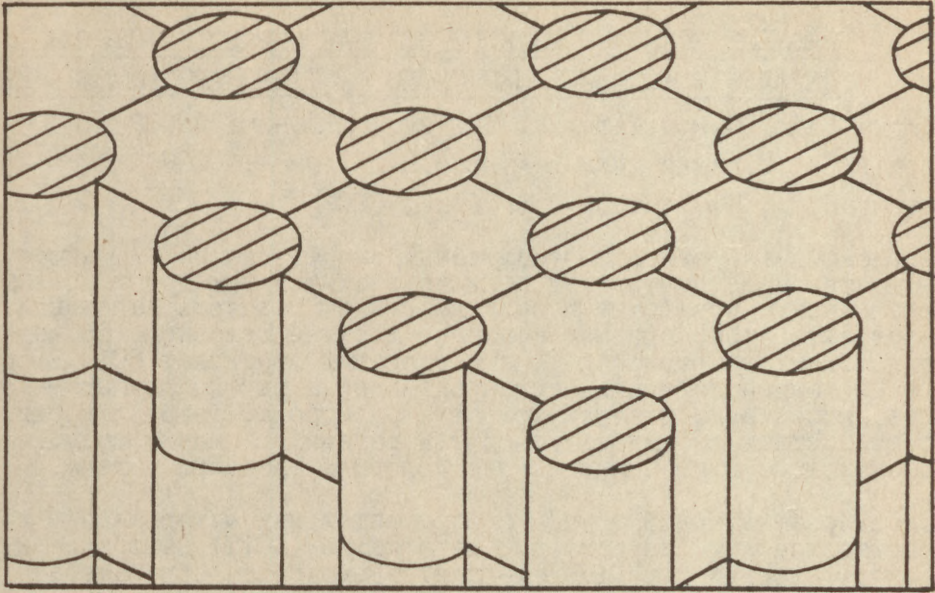


Рис. 3. Разбиение структуры композита на единичные элементы

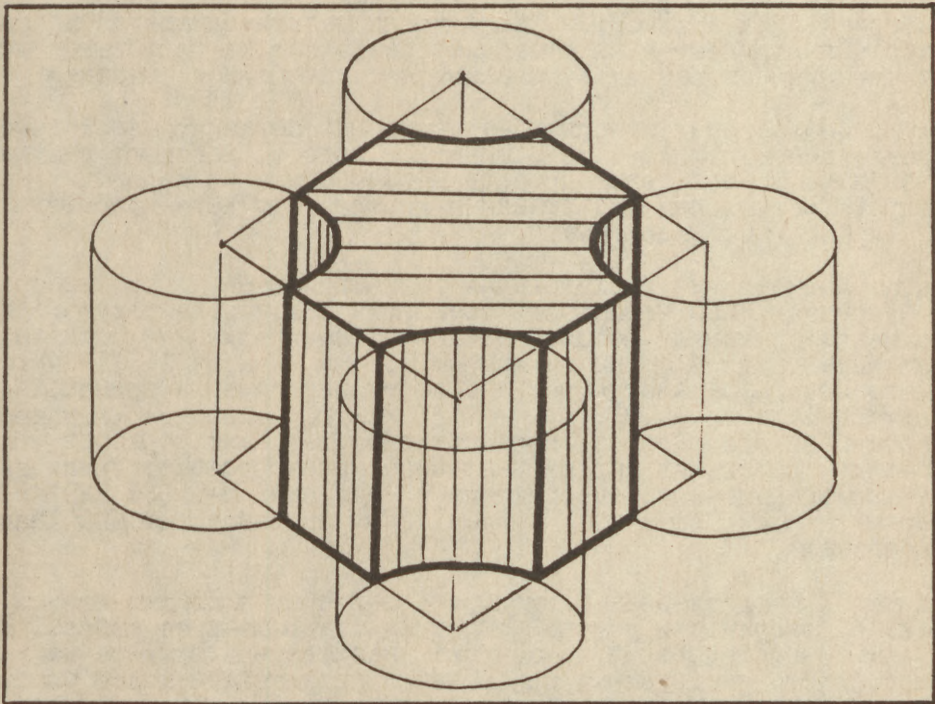


Рис. 4. Образование единичного элемента матрицы

РЕЖУЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ИЗ КИБОРИТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЧУГУННЫХ
ДЕТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЧЕРНОВОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО РЕЗАНИЯ

Залогов В.А., Сумский филиал ХПИ им.В.И.Ленина, СССР

Лоза А.Б., Сумский филиал ХПИ им.В.И.Ленина, СССР

Сотник Н.И., НПО "Насосэнергомаш", СССР

Перспективная технология получения заготовок на ближайшее десятилетие предусматривает наличие значительных припусков на механическую обработку в зависимости от размеров заготовки. В результате этого при изготовлении деталей основного производства объем черновых обдирочных операций достигает 60%. Вместе с этим тенденция увеличения производства высокопрочных материалов, наличие на поверхности отливок отбела, твердой корки, поверхностных дефектов приводят к резкому снижению возможности эффективного применения в этих условиях твердого сплава.

Использование новой группы инструментальных материалов — поликристаллических сверхтвердых материалов (ПСТМ) на основе кубического нитрида бора (КНБ) — дает возможность обрабатывать труднообрабатываемые железоуглеродистые материалы с высокой производительностью обработки. Однако, традиционная область применения этих материалов ограничивается, как правило, операциями чистового точения. В то же время создатели нового ПСТМ — киборита (ИСМ АН УССР, г.Киев) предполагали одинаково успешную работу инструментов из этого материала как на чистовых, так и на черновых операциях в условиях нестационарного резания.

Для использования киборита на черновых операциях необходимо прежде всего исследовать условия, в которых работают режущие элементы. С этой целью проведены совместные исследования кафедрой "Металлорежущие станки и инструменты" Сумского филиала ХПИ и НПО "Насосэнергомаш".

Экспериментальные исследования были проведены на станке токарной группы 16К20 нормальной точности. В качестве режущего инструмента применяли резцы с механическим креплением пластин из киборита круглой формы диаметром 7,0 мм и высотой 3,18 мм. Геометрические параметры режущей части инструмента принимались постоянными: $\delta = -7^\circ$, $\alpha = 7^\circ$, $\lambda = 0^\circ$. Смазочно-охлаждающие составы не применялись. В качестве исследуемых образцов использовались взятые из партий реального производства отливки гильз из антифрикционного высокопрочного чугуна АЧВ-1 (НВ 220) с размерами $L = 220$ мм и $\phi = 135$ мм производства НПО "Насосэнергомаш".

На рис. 1 представлена зависимость величины площадки износа по задней поверхности режущей пластины от времени ее работы. Результаты исследований показывают значительное влияние на износостойкость инструмента при точении по литейной корке упрочняющей фаски. При наличии фаски не наблюдались сколы и выкрашивания режущей кромки, имевшие место в начальный период работы пластины с острозаточенной кромкой. Кроме того, из приведенного графика видно, что при одинаковых условиях работы инстру-

менты из твердого сплава имеют износостойкость в 1,5...2,5 раз меньшую по сравнению с инструментом из киборита.

С целью выяснения условий, в которых эксплуатируются режущие пластины при черновом точении, вначале проводили касание отливки в наиболее выступающей части по ее длине и задавались в дальнейшем глубиной резания $t = 1,0$ мм. После каждого прохода в выбранных сечениях отливки измеряли максимальный радиус R_{max} (мм) и определяли общую длину пути, пройденную инструментом за один оборот детали $e = 2\pi R$ (мм). Также в сечениях определяли суммарную длину обработанных резанием участков $\sum e_p$ (мм). Для характеристики и сравнения условий обработки при увеличении снятого с отливки припуска выбирали в качестве критерия сравнения коэффициент непрерывности обработки:

$$H_R = \frac{\sum e_p}{e} \cdot 100\% \quad \dots I .$$

Результаты опытов представлены в табл. I.

Таблица I

Величины	№ сечения	Снимаемый припуск на диаметр, мм						
		2	2	2	2	2	2	2
D, мм	1	134	132	130	128	126	124	122
	2	134	132	130	128	126	124	122
	3	134	132	130	128	126	124	122
e, мм	1	421	414	408	401	396	389	383
	2	421	414	408	401	396	389	383
	3	421	414	408	401	396	389	383
$\sum e_p$, мм	1	42	54	102	133	229	315	383
	2	17	79	41	76	154	225	383
	3	30	37	82	101	153	276	383
H _R , %	1	10	13	25	33	58	81	100
	2	4	19	10	19	39	58	100
	3	7	9	20	25	40	71	100

Данные таблицы показывают, что коэффициент непрерывности обработки изменяется при увеличении снятого с отливки общего припуска, который в данном случае составил 7 мм на сторону. Из сказанного можно сделать заключение, что, во-первых, при черновом точении режущие элементы из киборита работают в условиях прерывистого резания, а, во-вторых, эти условия зависят от выбранной глубины резания.

Учитывая то обстоятельство, что резцы для чернового точения необходимо оснащать несколькими пластинами из киборита, размещать последние на державке необходимо с учетом подбора наименьшего разброса значений износостойкости каждой из пластин. Другими словами, коль каждая из пластин работает в отличающихся условиях прерывистости обрабатываемой поверхности, то несб-

ходимо определить влияние этих условий на ее износостойкость.

В результате моделирования на образцах различных условий непрерывности обработки была получена зависимость износостойкости пластин от коэффициента $H_r, \%$ (рис.2). На графике зависимости выбрана зона наименьшего разброса значений износостойкости. При размещении пластин из киборита на державке резца необходимо варьируя глубинами резания каждой из режущих пластин и коэффициентом непрерывности обработки задаться значениями износостойкости пластин, попадающими в зону наименьшего разброса значений.

Использование инструментов, оснащенных киборитом, дает реальное повышение производительности обработки чугунов в условиях нестационарного резания.

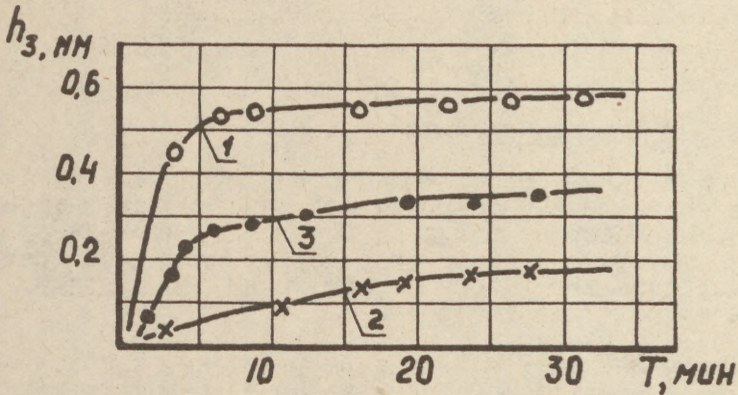


Рис. 1. Зависимость износа по задней поверхности пластин из карборита: 1 - с острозаточенной кромкой; 2 - с фаской ($f = 0,14$ мм, $\gamma\varphi = -55^\circ$) и пластины ВК-8 (3) от времени работы при точении чугуна АЧВ-1 по литейной корке: $V = 2,2$ м/с (1,2) и $0,8$ м/с (3), $S = 0,2$ мм/об, $t = 1,0$ мм.

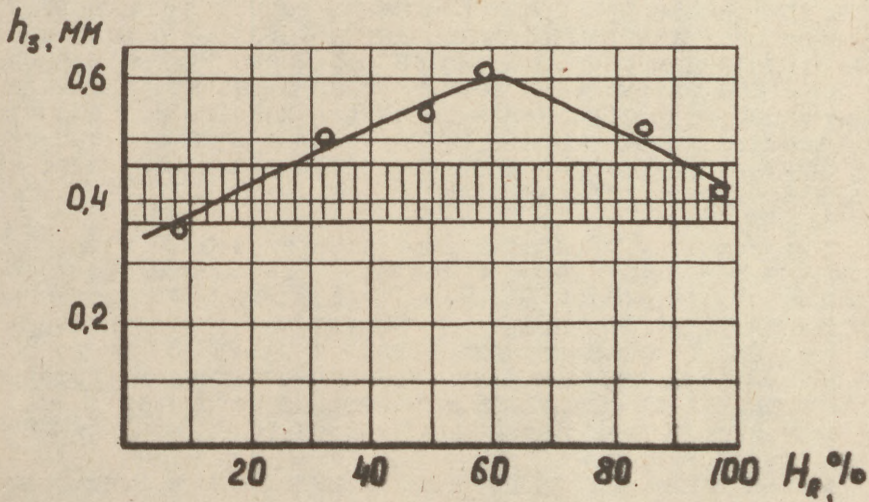


Рис. 2. Зависимость износа по задней поверхности пластин из карборита от показателя непрерывности обработки при точении чугуна АЧВ-1: $V = 2,2$ м/с; $t = 1,0$ мм; $S = 0,2$ мм/об.

ПРОГРЕССИВНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ОБРАБОТКИ
ВНУТРЕННИХ КАНАЛОВ ЛОПАСТНЫХ КОЛЕС

Залогов В.А., Сумский филиал ХПИ им.В.И.Ленина, СССР

Парфененко С.Г., Сумский филиал ХПИ им.В.И.Ленина, СССР

Слетков В.А., ПО "Насосэнергомаш", СССР

Высокопроизводительным способом зачистки внутренних каналов лопастных колес различных энергетических установок, например, насосов или компрессоров, является метод гидроабразивной обработки. При этом методе абразивные зерна, являющиеся режущими элементами, попадают в зону обработки вместе с водой, которая выполняет роль несущей среды.

Сумским филиалом ХПИ им.В.И.Ленина разработаны, изготовлены и испытаны установки для обработки каналов лопастных колес гидроабразивным способом по методу "самопрокачки". Основными частями установки являются рабочая камера тороидальной формы, рама сварной конструкции, приводная головка, баки для несущей среды и механизмы открывания крышки рабочей камеры и зажима обрабатываемого колеса. Обрабатываемое колесо помещается в рабочую камеру, в которую подается гидроабразивная смесь. В рабочей камере установлены свободные каналы специальной формы, позволяющие погасить паразитные потоки гидроабразивной смеси, минуя подлежащие обработке внутренние каналы колеса, и разделить внутреннее пространство камеры на отдельные объемы, соответствующие размерам обрабатываемых колес. Это дает возможность в одной камере обрабатывать различные типоразмеры лопастных колес на оптимальных режимах и поддерживать оптимальную концентрацию гидроабразивной смеси для каждого типоразмера обрабатываемого колеса. При вращении колеса в камере происходит циркуляция гидроабразивной смеси, которая в момент прохождения по каналам колеса обрабатывает их.

Состояние исходных обрабатываемых поверхностей - литье по выплавляемым моделям с шероховатостью $R_a = 50$ мкм. Получаемая шероховатость обработки - $R_a = 1,6-6,3$ мкм. Разработанные конструкции установок позволяют эффективно обрабатывать лопастные стальные и чугунные колеса диаметром от 150 мм до 600 мм. Разработаны различные варианты компоновочных схем, которые можно разделить по следующим характерным признакам:

- по виду исполнения: автономные или на базе серийного станочного оборудования;
- по расположению выходного конца шпинделя: с верхним или с нижним расположением;
- по виду исполнения приводной головки: качающегося или поворотного типа;
- по количеству рабочих камер: однокамерные или многокамерные.

При прокачивании гидроабразивной смеси через каналы лопастных колес происходит отрыв потока смеси от тыльной стороны лопатки и на выходе из колеса поток оказывается стесненным, вызывая повышенный съем металла на рабочей стороне лопатки колеса. Величина зон отрыва в лопастных колесах зависит от относитель-

ного размера нерабочего межлопастного пространства. Выравнивая площадь проходного сечения канала вдоль всей поверхности лопатки изменением относительного размера нерабочего межлопастного пространства, то есть формируя в межлопастном пространстве поток гидроабразивной смеси с постоянной площадью поперечного сечения по всей длине канала, равной площади проходного сечения на входе колеса, можно исключить появление зон отрыва. Таким образом, изменение направления потока гидроабразивной смеси на выходе из колеса позволяет управлять временем контакта абразивных частиц с обрабатываемыми поверхностями рабочей и тыльной сторон лопаток по мере их обработки, то есть на участках с большей интенсивностью съема припуска время контакта устанавливается меньшим и наоборот. Данное техническое решение защищено авторским свидетельством СССР и реализуется установкой специальных шторок определенной длины на выходе из каналов колеса. Изменяя положение шторки относительно колеса, можно изменять направление потока гидроабразивной смеси на выходе из него со скоростью, обеспечивающей равномерный съем припуска на всех участках обрабатываемых поверхностей лопаток. При начальном положении шторки возле тыльной стороны лопатки абразивные частицы гидроабразивной смеси начинают обрабатывать ее рабочую сторону, интенсивнее на периферии колеса. Всю тыльную сторону закрывает застойная зона. При перемещении шторки относительно колеса с определенной скоростью на периферии колеса возле рабочей стороны лопатки начинает образовываться зона застоя абразивных частиц, которая исключает их контакт с уже обработанными участками рабочей стороны. Возле тыльной стороны застойная зона начинает уменьшаться, последовательно открывая обрабатываемую поверхность. В конечном положении шторка перекрывает проходное сечение канала возле рабочей стороны лопатки. В этом положении всю рабочую сторону закрывает застойная зона, тыльная — полностью открыта. Для обеспечения равномерности съема припуска со стенок каналов требуется определенная скорость перемещения подвижных шторок, которая устанавливается следующим образом. Находим длину проходного сечения для формирования безотрывного потока гидроабразивной смеси из условия постоянства площади проходного сечения по всей длине канала, равной площади проходного сечения на входе колеса /2/.

$$S_1 = v \cdot e = S, \quad \dots 1.$$

$$e = \frac{S}{v}, \quad \dots 2.$$

где S_1 — площадь проходного сечения на выходе из колеса;
 v — ширина проходного сечения на выходе из колеса;
 e — длина проходного сечения на выходе из колеса, необходимая для формирования безотрывного потока гидроабразивной смеси;
 S — площадь проходного сечения на входе колеса.

Наименьшая интенсивность съема припуска наблюдается у входа колеса, поэтому в этом месте необходимо обеспечить наибольшее время контакта абразивных частиц с обрабатываемыми поверхностями. Это время определяет цикл обработки и равно

$$\tau = \frac{h}{q}, \quad \dots 3.$$

где h - снимаемый припуск;
 q - интенсивность съема припуска на входе колеса, полученная экспериментально.

С другой стороны, это время можно обеспечить только при соответствующей относительной скорости перемещения шторок, которая и определяет относительную скорость изменения направления потока гидроабразивной смеси на выходе из колеса. При перемещении шторок образующиеся за ними зоны застоя абразивных частиц не должны раньше времени закрывать обрабатываемые поверхности лопаток колеса, то есть скорость перемещения шторок равна $1/5$

$$\tau = \frac{L - e}{V} = \frac{\left(\frac{\pi D}{z} - \frac{S}{b}\right)}{V}, \quad \dots 4.$$

$$V = \frac{q}{h} \left(\frac{\pi D}{z} - \frac{S}{b}\right), \quad \dots 5.$$

где V - скорость перемещения шторок, соответствующая относительной скорости изменения направления потока гидроабразивной смеси на выходе из колеса;

D - диаметр колеса;

z - число каналов лопастного колеса;

L - длина проходного сечения канала на выходе из колеса.

В процессе гидроабразивной обработки каналов лопастных колес под действием внешних сил поверхностные слои подвергаются пластическому деформированию, что вызывает появление остаточных напряжений. Величина, знак и глубина залегания остаточных напряжений определялись рентгеноструктурным методом, основанным на дифракции рентгеновских лучей и позволяющим определить величину и направление главных напряжений на поверхности без разрушения изделия и при отсутствии воздействия на исследуемый объем каких-либо посторонних факторов в процессе измерения, что исключает дополнительные источники погрешностей. Проведенные эксперименты показали, что в поверхностном слое на глубине $10 \div 20$ мкм образуются остаточные напряжения сжатия в пределах $400 \div 600$ МПа, благоприятно влияющие на износостойкость и долговечность обработанных деталей. На глубине порядка $20 \div 40$ мкм наблюдались большие градиенты напряжений и их величина составила $200 \div 250$ МПа. Затем на глубине примерно 70 мкм остаточные напряжения меняют знак.

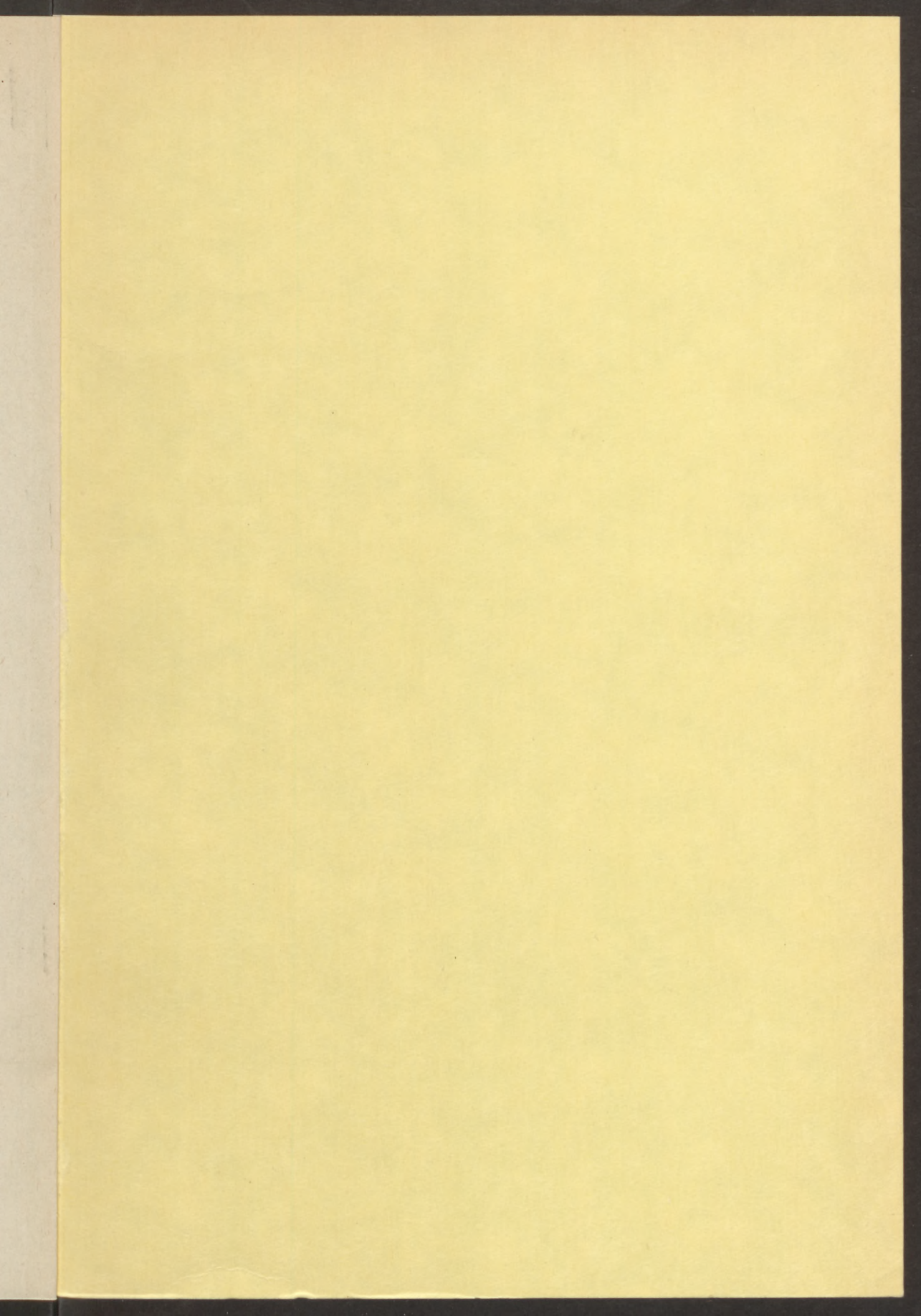
Таким образом, предлагаемый процесс гидроабразивной обработки каналов лопастных колес позволяет не только повысить коэффициент полезного действия насосов или компрессоров за счет снижения шероховатости и сократить время обработки в $7-10$ раз, но и существенно увеличить срок службы лопастных колес. Установка опробована и внедрена на ряде предприятий, выпускающих различные типы насосов. Годовой экономический эффект от внедрения установки для гидроабразивной обработки лопастных колес составил 500 тысяч рублей.





THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS
54 EAST LAKE STREET, CHICAGO, ILL. 60607
PRINTED IN THE UNITED STATES OF AMERICA

Készült: ERFATERV Ny. • Budapest VII., Csengery u. 11.
Felelős vezető: Tóth Béla igazgató • Táskaszám: 90.144
Példányszám: 400 • Terjedelem: 13,75 /A/5 iv/



4618/b-2