

УДК 004.31:621.9

О.Н.Калачев

### **Разработка САПР ТП на основе моделирования и анализа размерных изменений заготовки в ходе проектирования технологического процесса**

*Обсуждается принципы и реализация интерактивного компьютерного моделирования размерных изменений заготовки на этапе проектирования технологического процесса. Предлагается способ программного анализа модели детали с целью автоматизированного формирования технологического процесса ее изготовления в модуле размерных расчетов САПР.*

При традиционном ручном проектировании технологических процессов (ТП) механообработки важное место отводится расчетам технологических размеров. На производстве такие расчеты выполняются в большинстве случаев не комплексно: без учета влияния погрешностей предшествующих этапов на точность размеров последующих. Иными словами, не учитывается погрешность, вносимая переустановками заготовки на всех операциях или переходах ТП. В силу сложившейся практики расчеты размеров обработки ведутся частично, т.е. только для отдельных операций или даже установов ТП. Даже при проектировании операций ЧПУ в мелкосерийном производстве, объектом размерных расчетов являются обычно отдельные контуры (циклы), не связанные со всеми элементами единой размерной структуры «заготовка – деталь».

Другой важный вопрос – оторванность проектирования размеров заготовки в заготовительных цехах от условий ее последующей механообработки. Обычно припуски и напуски устанавливаются не на основе расчетов механообработки, а приблизительно: руководствуются не экономией материала, а традициями, «производственным опытом» и представлением о точности имеющегося заготовительного оборудования.

Таким образом, при проектировании серийного производства, как правило, не проводится полное размерное моделирование ТП, не решается на этой основе сквозная задача размерного анализа ТП с учетом взаимосвязи выдерживаемых по ходу обработки размеров, а также размеров исходной заготовки и влияния их точности на точность конечных размеров детали. В итоге возникают «узкие» места и необходимость доработки ТП в цехе.

Задачей размерного анализа, как известно, является определение таких технологических размеров, при выдерживании которых на различных стадиях обработки заготовки, безусловно достигается заданная точность конструкторских размеров чертежа детали. Для этого на стадии проектирования должны рассматриваться различные варианты размерной структуры технологического процесса с целью выбора оптимального с точки зрения критериев:  $\min$  числа переустановок,  $\min$  суммарной точности обработки (достижение точности более грубыми, а следовательно, дешевыми методами), – влияющих в конечном счете на глобальную целевую функцию –  $\min$  себестоимости (max производительности) обработки.

Наиболее эффективная методика размерного анализа основана на моделировании размерных изменений заготовки посредством графовых структур.

Впервые использование теории графов было предложено Б.С. Мордвиновым [1] и развито И.А.Иващенко [2]. Эти методики получили признание в РАТИ в работах М.А.Марасинова для точных авиадеталей, а также в подшипниковой промышленности. Существенный вклад в теорию размерного анализа внес проф. ЧПИ В.В.Матвеев. Постановка проблемы и попытки ее анализа на ПК предпринимались в Дженерал Моторс. Алгоритмическая проработка и программная реализация графового моделирования на ЕС ЭВМ и ПК рассмотрена на примере программы KON7 в [3-7].

Общими недостатками созданных нами программных систем, выявленными еще при промышленном внедрении программы KON7 на ЯЗТА в 1986 г. и в ходе общения с технологами ЯМЗ (которым в 1987 г. был прочитан курс лекций по размерному анализу), являются следующие. Во-первых, необходимость выполнять бумажные структурные построения на этапе формирования исходных данных; во-вторых, ввод большого объема числовой информации вспомогательного характера, описывающей топологию (взаимное расположение вершин и ребер) построенного графа, которая несвойственна функциям инженера-технолога и потому вызывает активное отторжение.

Устранение отмеченных недостатков и комплексное решение проблемы размерного анализа возможно при создании и использовании в ходе проектирования принципиально новой системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП), основанной на построении и решении технологических размерных цепей, обеспечивающей моделирование достижения точности конструкторских размеров в ходе проектирования ТП.

Назначением САПР ТП, которую на Западе принято называть CAPP, является проектирование маршрутного или более подробного – операционного описания технологического процесса. Принято считать [8,9], что CAPP занимает промежуточное положение между модулем создания геометрии модели детали (CAD) и модулем проектирования NC обработки (CAM) отдельных поверхностей или их сочетаний на оборудовании с ЧПУ (рис.1).

Известные САПР ТП, как правило, изолированы от CAD и CAM и по степени автоматизации делятся на две группы:



Рис.1. Структура интегрированной системы

- ◆ функционирующие в автоматическом режиме, а потому требующие ввода более или менее полного описания чертежа детали на входном специализированном языке;
- ◆ ведущие проектирование в диалоге с пользователем посредством различных текстовых меню, связанных с ресурсами базы данных системы.

По степени универсальности обычно выделяют два вида САПР ТП:

- ◆ построенные на основе анализа типовой структуры ТП для семейства аналогичных, сходных по конфигурации деталей;
- ◆ выполняющие синтез маршрута обработки детали из маршрутов обработки отдельных поверхностей.

Для существующих САПР ТП, вне зависимости от особенностей внутренней структуры и реализации, характерна первичность задания или выбора структуры ТП, т.е. последовательности операций и переходов, не связанных непосредственно с размерной структурой обрабатываемой заготовки. Более того, указание геометрического положения технологических размеров является следствием выбора структуры и выполняется на заключительной стадии проектирования путем ссылки на прилагаемые операционные эскизы, без учета взаимосвязи размеров и взаимовлияния их в ходе обработки. Между тем, из упомянутых выше работ [1-4] следует, что моделирование достижения конечной точности конструкторских размеров детали возможно только путем построения и совместного решения специфических технологических размерных цепей.

Предлагаемая нами - на основе опыта построения диалоговых систем размерных расчетов [3-7] - концепция САПР ТП исходит из первичности указания технологических размеров и моделирования размерных изменений заготовки в ходе проектирования. Причем, и это главное, формирование структуры ТП выполняется в интерактивном (в перспективе - автоматическом) режиме *в графической среде* путем последовательного указания базовых и обрабатываемых поверхностей непосредственно на модели детали. Такой способ проектирования вполне соответствует традиционному «ручному», но обладает целым рядом качественно новых особенностей, связанных с компьютеризацией работы технолога. Прежде всего, необходимая информация по размерной структуре и параметрам точности детали, заложенная конструктором в САД, становится доступной технологу посредством программного анализа базы данных модели. На основе информации этой первичной модели с помощью интерфейсной программы может быть формализовано построение внутренней вторичной модели для размерного анализа ТП. Размерные расчеты – основа моделирования достижения точности конструкторских размеров – становятся главным стержнем проектирования, обуславливающим не только структуру самой САПР, но и структуру создаваемого ТП. Технологу в среде такой САПР ТП моделирует вариант обработки на экране, а затем в режиме реального времени получает заключение о ее целесообразности с точки зрения достижения точности конструкторских размеров. (Как известно, в существующих системах такой результат вообще не гарантируется.)

Важно отметить, что функционирование предлагаемой САПР ТП (САРР) непосредственно связано с информацией, получаемой из модуля САД. Это устраняет перекомпоновку данных и соответствует известному принципу сквозного, компьютерно-интегрированного проектирования, отображенному на рис. 1.

Структурная схема и программный модуль такой САПР ТП были нами впервые предложены в [10,11], где рассмотрена практическая реализация графического интерфейса в среде AutoCAD для указания последовательности обработки деталей цилиндрической формы. Недостаток этой схемы состоял в необходимости использовать не любой чертеж, а предварительно сформированный в ходе графического диалога с помощью специально созданного интерфейса.

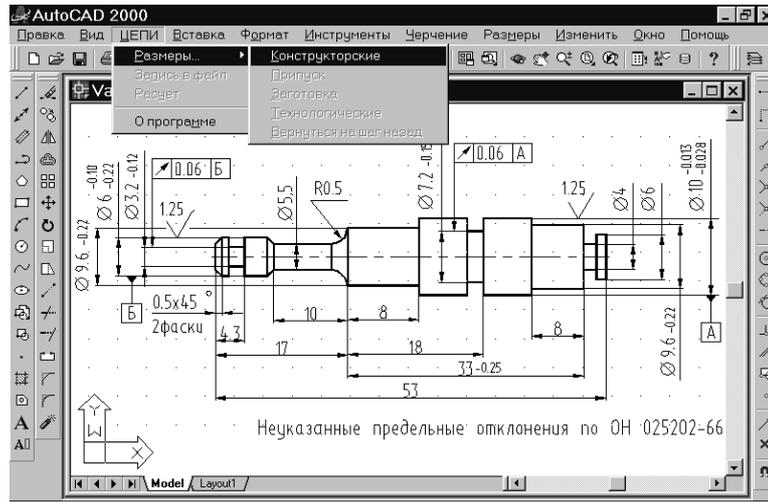


Рис. 2. Начало этапа анализа модели детали

Практической реализацией программных элементов рассмотренной концепции интерактивной графической САПР ТП стала созданная по заказу Ярославского моторного завода ОАО «Автодизель» система GRAKON7, которая состоит из программы диалогового интерфейса GRAKON7 под AutoCAD 2000 и расчетного модуля KON7.

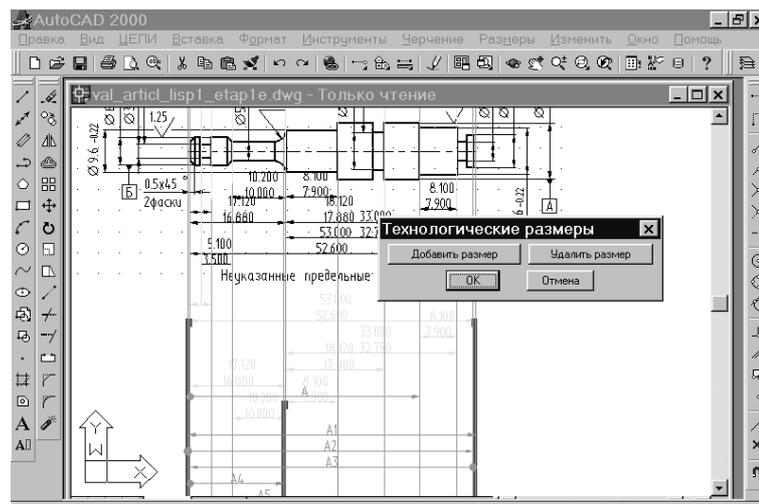


Рис. 3. Запрос очередного перехода

Исходной информацией является файл модели детали (рис. 2). Система посредством графического диалога с пользователем ведет создание первичной модели размерных изменений непосредственно на экране от конфигурации детали в порядке обратном обработке (рис. 3), т.е. воссоздает поверхности заго-

товки в заданном координатном направлении, достраивая припуски, указывая положение размеров заготовки и технологические размеры обработки. При этом программа GRAKON7 "нагружает" (рис.4) размеры заготовки и технологические размеры вводимой с помощью диалоговых меню технологической

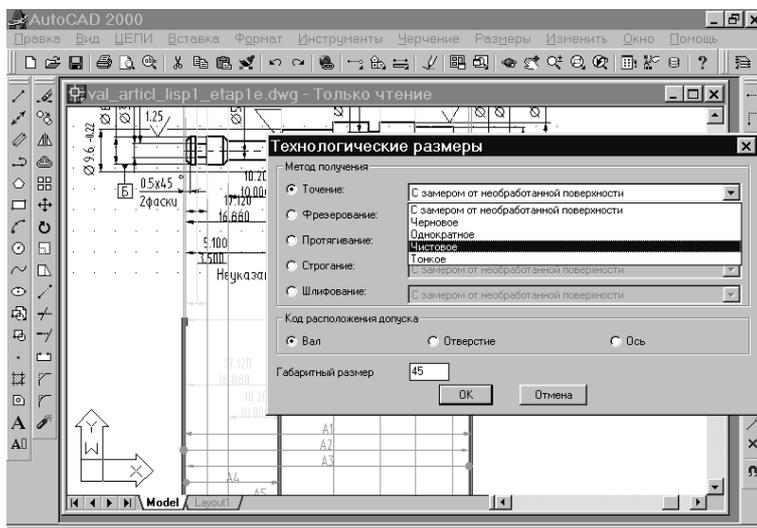


Рис. 4. Выбор метода получения размера

информацией о методах и характере обработки, предполагаемом расположении допусков и т.п. На основе указанных пользователем-технологом положения технологических размеров и методов их получения система формирует вторичную модель размерных изменений, которая оформляется в виде списковой структуры, преобразуемой затем в матрицу исходных данных для поиска состава и решения размерных цепей в программе KON7. В результате проектирования система GRAKON7 выдает таблицу результатов, необходимую и достаточную для расчетов режимов обработки и оформления технологической карты, что составляет центральное содержание модуля CAPP.

Таблица . Фрагмент результатов проектирования ТП

Ин- декс звена	Гра- ницы звена	Метод обработки	Номинал	Отклонения	
				Верхнее	Нижнее
A1	12	1 прокат горячекат  повышен. точности	54.300	0.250	-0.250
A2	1	11 точение чистовое	53.220	0.000	-0.120
A3	2	11 точение черновое	53.000	0.000	-0.120
A4	2	5 точение чистовое	16.774	0.084	0.000
A5	7	2 точение чистовое	25.000	0.042	-0.042
A6	6	2 точение чистовое	17.000	0.042	-0.042
A7	2	4 точение чистовое	6.958	0.000	-0.084
A8	3	2 точение чистовое	4.300	0.042	-0.042
A9	8	2 точение тонкое	35.000	0.050	-0.050

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мордвинов Б.С., Огурцов Е.С. Расчет технологических размеров и допусков при проектировании технологических процессов механической обработки /ОмПИ. - Омск, 1970.-160 с.
2. Иващенко И.А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации. М.: Машиностроение, 1975. - 222 с.
3. Калачев О.Н., Малых О.М. Автоматизация построения и решения на ЕС ЭВМ технологических размерных цепей/ Яросл. политехн. ин-т.-Ярославль,1983.-21 с.- Деп. в НИИМАШ 09.03.83, 63 МШ - 83.
4. Калачев О.Н., Рудницкий В.Ф., Иванов П.И. Автоматизированная система расчета на ПЭВМ технологических размеров мехобработки/ Яросл. политехн. ин-т. - Ярославль,1991.-9 с.- Деп. в Инфорприбор, N 5020 - пр.91 от 23.07.91.
5. Калачев О.Н. Основы САПР в технологии машиностроения: Учебное пособие. - Ярославль, Яросл. политехн. ин-т, 1993. -180 с.
6. Митрофанов В.Г., Калачев О.Н., Схиртладзе А.Г. и др. САПР в технологии машиностроения: Учеб. пос. Ярославль, Яросл. гос. техн. ун-т, 1995. – 298 с.
7. Калачев О.Н. Размерное моделирование технологического процесса механообработки // Балттехмаш-98. Прогрессивные технологии и механизмы в машиностроении. Материалы междунар конф. Калининград,. 1998. С. 9.
8. Ssemakula M.E. The role of process planning in the integration of CAD/CAM system // Automated Manufacturing. - 1987. - p. 269-276.
9. Калачев О.Н. Компьютерно-интегрированное машиностроение и CAD/CAM Cimatron // Информационные технологии, 1998, № 10. - С. 43-47, 49.
10. Калачев О.Н. Компьютерная графика в размерном анализе технологических процессов механообработки / Яросл. политехн. ин-т. - Ярославль, 1994.-12 с.- Деп. в Инфорприбор, ДР 5162 – пр 94.
11. Kalachev O.N. Computer Graphics in Dimensional Analysis of Technological Processes of Machining. Conference proceedings // AMTECH' 95. Science Conference Advanced Manufacturing Technology, Rouse, Bulgaria, 1995. p. 156-163.

---

**Статья опубликована в Вестнике ЯГТУ: Сб. науч. тр. Вып. 3. - Ярославль: ЯГТУ, 2000. - С. 68-73.**