УДК 004.31:621.9

О.Н.Калачев, канд. техн. наук, доц., Ярославский государственный технический университет

1

Интерактивное моделирование размерных изменений заготовки при проектировании технологического процесса механообработки

Обсуждается компьютерное моделирование размерных изменений заготовки на этапе проектирования технологического процесса. Предлагается способ программного анализа созданной в AutoCAD первичной модели детали с целью автоматизированного формирования вторичной модели размерных изменений, передаваемой затем в модуль размерных расчетов CAPP. В качестве средства подготовки вторичной модели используется модуль на языке AutoLISP. Приводятся иллюстрации основных стадий программной реализации интерактивной оболочки в среде AutoCAD.

Важным этапом проектирования технологического процесса (ТП) механообработки является расчет технологических размеров. Именно они указываются в операционной карте и последовательно выдерживаются на рабочих местах, будь то универсальное или автоматическое станочное оборудование, обеспечивая превращение заготовки в деталь с требуемой точностью размеров. Заданная проектировщиком последовательность смены технологических баз и способы получения технологических размеров определяют в конечном итоге все технико-экономические показатели уровня ТП.

Сложность выбора из множества возможных оптимального варианта ТП фактически связана со сложным характером влияния точности размеров черновой и чистовой стадий обработки на конечную точность размеров детали. Теоретические исследования этого вопроса представлены в работах Б.С.Балакшина, В.С.Корсакова, А.А.Маталина, И.М.Колесова, В.В.Матвеева и их учеников.

Идеальным для выбора оптимального варианта ТП решением, которое не получило пока повсеместного распространения на производстве, является моделирование размерных изменений заготовки на стадии проектирования ТП. В качестве математического аппарата такого моделирования используется,



например, теория графов [1] совместно с теорией размерных цепей [2]. При этом деталь в процессе ее изготовления рассматривается как геометрическая структура, состоящая из множества обрабатываемых поверхностей и размерных связей между ними. Схема проведение размерных расчетов выглядит следующим образом. Технолог, получив чертеж детали (рис.1), в качестве одного из вариантов ТП ее изготовления сначала оформляет стандартные операционные эскизы ТП (рис.2), затем сводит их в так называемую размерную схему (рис.3). Далее на основе схемы строится граф (рис.4), вершинами которого служат все промежуточные поверхности одного координатного направления, а ребрами – размеры всех видов. На графе визуально, по формальным правилам выявляются замкнутые контуры размерных цепей (рис.5), после совместного решения которых вычисляются искомые технологические размеры. Процесс повторяется, если заданная точность размеров детали не достигается.



Ручное формирование графа, поиск состава размерных цепей, а затем расчеты для реальных деталей по такой методике весьма трудоемки, поэтому автором разработано несколько вариантов программной системы KON7[4,5], концептуальная схема взаимодействия с которой представлена на рис. 6. Источни-ком информации для расчета технологических размеров служит построенная *вручную* размерная схема,





т.е. первичная, структурная модель размерных изменений заготовки. С помощью диалогового *текстового* интерфейса путем ручного ввода в экранные поля (один из этапов которого показан на рис. 7) первичная модель преобразуется во вторичную модель, программно оформляемую в файле на МД в виде матрицы (рис. 8) для передачи в модуль размерных расчетов САРР.



Рис. 7

Рассмотренная схема проектирования, конечно, не является достаточно естественной и удобной для технолога, поскольку предполагает неоднократное преобразование информации, требует последова-

KON	7:	PAC	YET TEXH	ОЛОГИЧЕ	СКИ	X PA3	МЕРНЫ	Х ЦЕП	ей, ягту,	(С) Кала	чев О.Н.,	2
Тек	СТ	пол	ьзовател	я			Пале	ц				
Код	Mā	атер	мала заг	отовки			1					
Мет	од	пол	учения з	аготовкі	1.		3					
Спо	cof	5 pe	эки прок	ата			3					
Φορι	ма	дет	али				0					
Чис.	ло	зве	ньев				11					
Наи	бол	тыши	ий габари	тный ра	змет	n	53.	000				
1	2	11	53.000	52.600	12	1	12	0	14.000	.000	.000	
2	2	6	17.120	16.880	1	11	74	0	14.000	.000	.000	
3	2	3	4.380	4.220	2	11	74	0	14.000	.000	.000	
4	4	6	10.200	10.000	2		74	2	10.000	.000	.000	
5	6	10	33.000	32.750	7	2	74	2	14.000	.000	.000	
6	6		18 120	17 880	6	2	74	2	10 000	000	000	
7	6	7	8 100	7 900	2	4	74	0	6 000	000	000	
8	9	10	8 100	7 900	3	2	74	2	6 000	000	000	
å	1	2	000	000	9	2	74	2	10 000		.000	
10	5	6	.000	.000	10	6	74	0	10.000	.000	.000	
11	11	12	.000	.000	10	0	74	2	10.000	.000	.000	
11	±±	12	.000	.000	0	9	/4	4	10.000	.000	.000	
							- Pi	ic. 8				

Поскольку в настоящее время повсеместно на производстве конструкторское представление образа детали формируется в той или иной CAD-системе, то необходимую геометрическую информацию для создания первичной модели размерных изменений заготовки можно извлечь непосредственно из модели детали. В [6,7] нами предложена схема и программный модуль связи между подготовленной в системе AutoCAD моделью детали и модулем размерных расчетов. Существенным ограничением этой схемы была необходимость использовать не любой чертеж, а предварительно сформированный в ходе графического диалога с помощью специально созданного интерфейса.

Ниже рассматриваются концептуальная схема (рис. 9) и программная реализация в AutoCAD 2000 интерактивной графической системы подготовки первичной и вторичной модели размерных изменений заготовки для реальных деталей.



Общие положения. Исходной информацией является файл модели (файл чертежа) детали. Система посредством графического диалога с пользователем ведет создание первичной модели размерных изме-

əl [Ц <u>Е</u> ПИ	<u>Ч</u> ерчени	е Раз <u>м</u> еры	<u>И</u> зменить			
	Разм	1еры 🕨	Конструкторские				
•	Обра	або <u>т</u> ка	Припуск	þ			
=	Рас <u>ч</u>	ет	Заготовка	The second se			
			Технологич	неские			
		1					
Рис. 10							



000

3

нений непосредственно на экране от конфигурации детали в порядке обратном обработке (рис. 10), т.е. воссоздает поверхности заготовки в заданном координатном направлении, достраивая припуски, указывая положение размеров заготовки и технологические размеры обработки. При этом система "нагружает" размеры заготовки и технологические размеры вводимой с помощью диалоговых меню технологической информацией о методах и характере обработки, предполагаемом расположении допусков и т.п. На основе указанного пользователем-технологом положения технологических размеров и методах их получения система формирует вторичную модель размерных изменений, которая оформляется в виде списковой структуры, преобразуемой затем в матрицу исходных данных – идентичную рассмотренной ранее на рис. 8 – для последующего поиска состава и решения размерных цепей в модуле САРР. Средством анализа модели детали, организации диалога и создания вторичной модели в AutoCAD 2000 служит язык AutoLISP.

Этап 1. Анализ размерных связей детали. На основе анализа структуры базы данных созданной конструктором модели (чертежа) детали программно выявляются все поверхности, связанные конструкторскими размерами (рис. 11): программно выделяется размерная структура детали, отображающая размерные связи между поверхностями, получающимися в результате обработки (в частности, осевыми или линейными). В случае необходимости система позволяет в режиме запроса восполнить путем указания на экране недостающие или некорректно введенные размерные связи и значения размеров – пункт меню «Указать». Для ручного ввода (см. рис. 11) предусмотрен соответствующий пункт меню «Создать новый»: пользователю предлагается указать прицелом сначала левую, а затем правую поверхности (линии), связанные с конструкторским размером. Далее система запрашивает значения предельных размеров. Указанные поверхности перекрашиваются и соединяются размерными линиями того же цвета; появляются значения размеров. В результате на экран выводится схема размерных связей модели (чертежа) детали, а в оперативной памяти формируется списковая структура вида: координаты поверхностей, наибольшее и наименьшее значения размера. Затем система переносит отобранную информацию в графическом виде на отдельный экранный слой, оставляя на экране исходную модель детали для визуальной ориентировки проектировщика.

Этап 2. Указание припусков, удаляемых в ходе намеченного ТП. На экране (рис. 12) в цикле появляется запрос на выбор поверхности, к которой следует пристроить припуск. Пользователь ставит прицел на линию проекции поверхности и нажимает кнопку «мыши», после чего следует запрос системы: в какую сторону. Пользователь передвигает перекрестье курсора вправо или влево от указанной поверхности и нажимает кнопку «мыши», после чего следует запрос системы: в какую сторону. Пользователь передвигает перекрестье курсора вправо или влево от указанной поверхности и нажимает кнопку «мыши» – к поверхности пристраивается прямоугольник и спускающаяся вниз полоса красного цвета. В процессе указания припусков эскиз на экране перестраивается. В результате выполнения этапа системой формируется схема конфигурации заготовки и списковая структура координат границ припусков, связанных с границами конструкторских размеров.



Этап 3. Простановка размеров заготовки. В ответ на запросы системы (рис. 13) следует указать последовательно левую и правую поверхности, ограничивающие размер, а затем нажать кнопку «мыши». Выбор расположения размеров – задача пользователя – зависит от метода получения: резка проката, отливка, штамповка и др. Метод получения предполагается одинаковым для всех размеров заготовки и вводится из меню (рис.14) после указания размеров заготовки. Размеры с последовательно возрастающим индексом будут отрисованы системой в нижней половине экрана размерными линиями, заканчивающимися двумя стрелками.

Этап 4. Простановка положения и выбор метода получения технологических размеров, выдерживаемых при обработке заготовки. Пользователю предлагается (рис. 15) указать сначала базовую поверхность, от которой выдерживается размер, а затем обработанную поверхность, полученную после удале-



ния припуска. Эти действия можно выполнить непосредственно на чертеже (например, как для размера A2). У технологического размера базовая поверхность помечается точкой, а на обработанную поверхность направляется стрелка. После ввода границ размера, система запрашивает, каким методом будет получен размер (рис. 16), уточняет расположение поля допуска этого размера. Рассмотренная последовательность ввода данных повторяется затем для следующего размера. Размеры могут вводиться в произвольной последовательности, после чего они переводятся в нижнюю часть экрана и получают



Рис. 16

сквозную нумерацию с ранее выбранными (этап 3) размерами заготовки.

В результате реализации рассмотренной методики в текстовом файле на МД формируются исходные данные для САРР-системы, т.е. вторичная модель (см. рис. 8), соответствующая первичной структурной модели – графу технологических размерных цепей. Внешнее, т.е. экранное представление первичной модели (размерная схема) может быть сохранено в файле САD и выведено на печать (рис. 17).

Наметим пути развития рассмотренной методики моделирования размерной структуры ТП. Вопервых, данный подход, по нашему мнению, может быть реализован на любой современной CADсистеме, обеспечивая связь между CAD и CAM-модулями интегрированной системы технологической подготовки производства. Во-вторых, помимо своего прямого назначения – размерного анализа – графический размерный ввод может стать основой диалоговой графической CAPP проектирования маршрутной (операционной) технологии. Для существующих систем CAPP характерен текстовый режим выбора последовательности операций и переходов; топология дерева технологических размеров обычно априори «известна» или о ней умалчивается, взаимосвязанный расчет размерных цепей, как правило, не проводится. В предлагаемом подходе размерные расчеты – основа достижения точности обработки – становятся главным стержнем системы, обусловливающим структуру САРР и содержание процесса про-



ектирования. Технолог моделирует обработку всей детали на экране в виде размерных изменений, и в режиме реального времени получает заключение о целесообразности ТП с точки зрения достижения требуемой точности размеров детали.

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. Белов М.А., Унянин А.Н. Размерный анализ технологических процессов обработки заготовок / Под общ. ред Л.В.Худобина. Ульяновск: УлГТУ, 1997. – 148 с.

4. **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-Д83.

5. **Калачев О.Н.** Размерное моделирование технологического процесса механообработки // Балттехмаш-98. Прогрессивные технологии и механизмы в машиностроении. Материалы междунар конф. Калининград, 1998. С. 9.

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.

Калачев О.Н. Computer Graphics in Dimensional Analisis of Technological Processes of Machining. Conference proceedings // AMTECH' 95. Science Conference Advanced Manufacturing Technology, Rousse, Bulgaria, 1995. p. 156-163.

Статья опубликована в журнале "Информационные технологии". 2001, № 2. – С. 10-14, 58