

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

Р. З. ДИЛАНЯН, И. И. КРАВЧЕНКО,
В. Л. КИСЕЛЕВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам по курсу
«АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»

Часть II.
Автоматизация проектирования
станочных операций

Москва

1979

Данные методические указания издаются в соответствии с учебным планом. Рассмотрены и одобрены кафедрой АМ-3 21.06.78 г., Методической комиссией факультета АМ и Учебно-методическим управлением.

Рецензент к.т.н. доц. Семенов В.И.

СОДЕРЖАНИЕ

Работа № 1. Исследование операции токарной обработки ступенчатых валов на гидрокопировальном полуавтомате методом математического моделирования на ЭВМ	4
Работа № 2. Исследование факторов, определяющих оптимальный вариант операции обработки деталей в патроне на токарных станках с ЧПУ	II
✓ Работа № 3. Оптимизация последовательности обработки отверстий сверлением на многооперационных станках с ЧПУ..	15
Работа № 4. Оптимизация последовательности обработки плоскостей и основных отверстий деталей типа корпус на многооперационных станках с ЧПУ	21

Работа № I. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ
СТУПЕНЧАТЫХ ВАЛОВ НА ГИДРОКОПИРУВАЛЬНОМ ПОЛУАВТОМАТЕ
МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭВМ

Цель работы: 1) исследовать операцию обработки ступенчатого вала на токарном гидроконтролируемом полуавтомате; 2) для различных условий построения станочной операции определить возможные и оптимальные варианты обработки ступенчатого вала.

Описание работы

В настоящей работе исследуется процесс механической обработки ступенчатого вала из штампованной заготовки по последовательной схеме (рис. I).

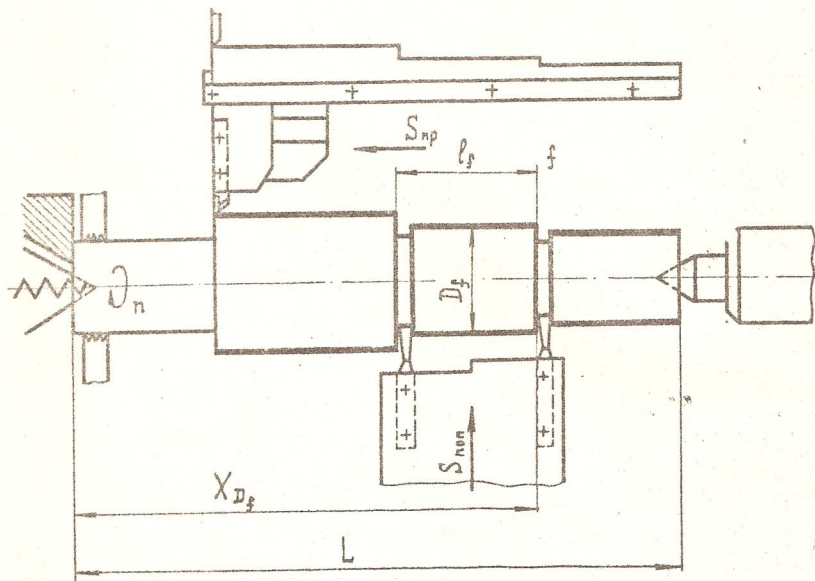


Рис. I

Операция исследуется методом математического моделирования на ЭВМ.

Математическая модель (математическое описание закономерностей) технологического процесса может быть представлена в виде совокупности формул, уравнений, неравенств, отображающих механические, физические и другие закономерности и взаимосвязи,

присущие реальному технологическому процессу^{*}. В зависимости от характера исследуемого технологического процесса различают статические и динамические модели, используемые для решения многовариантных задач машиностроительного производства. Технологические процессы механической обработки деталей серийного и массового производства многократно повторяются в практически одинаковых условиях. Поэтому модель, описывающую станочную операцию, можно считать статической, т.е. не зависящей явно от времени. В этом случае решение, принятое при заданных условиях, является окончательным результатом на длительный промежуток времени. При изменении условий задача решается заново. Для определения возможных вариантов обработки штампованных заготовок по последовательной схеме приняты следующие основные условия построения станочной операции:

1) по точности обработки - допустимое значение суммарной погрешности обработки $\Delta \Sigma f_{max} \leq \delta_f$ и ее составляющих $\Delta y_{if} \leq K_1 \delta_f$ и $\Delta u_{max} \leq K_2 \delta_f$, где K_1 и K_2 - коэффициенты, определяющие долю первичных погрешностей в суммарной, устанавливаемые экспериментально или на основании справочных данных; для определения составляющих суммарной погрешности используются расчетные зависимости и статистические методы;

2) по шероховатости обрабатываемых поверхностей - допустимая высота неровности профиля поверхности $R_{z f_{max}} \leq R_{z fract}$. Расчетное значение высоты неровности получаем на основе зависимости ее от режимов и времени обработки, установленной экспериментально;

3) по мощности, потребной на резание - при последовательной схеме обработки заготовок значение эффективной мощности для реза, установленного на гидроконировальном суппорте, и резов, установленных на поперечном суппорте, в отдельности должны удовлетворять одному и тому же условию:

$$N_{zf_{max}}^{(q+1)} \leq N_d \cdot \zeta \cdot K_n ; \quad \sum_1^q N_{zq} \leq N_d \cdot \zeta \cdot K_n$$

где q - индекс реза, установленного на поперечном суппорте;
 $q+1$ - индекс реза, установленного на продольном суппорте;
 N_d - мощность электродвигателя станка; K_n - коэффициент допустимой перегрузки электродвигателя; ζ - к.п.д.

* См.: Капустин Н.М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ. М., "Машиностроение", 1976, стр. 192-208.

4) точный учет кинематики станка приводит к требованию, согласно которому частота вращения шпинделя должна принимать значение только из ряда чисел частот вращения n_1, n_2, \dots, n_5 , а подача гидрокопировального суппорта - из условного ряда подач станка S_1, S_2, \dots, S_j ;

5) в качестве дополнительных ограничений используются нижний и верхний пределы скорости резания и подачи, определяемые условиями эксплуатации инструмента, границами действия его стойкостной зависимости $V-T$, практикой эксплуатации токарных гидрокопировальных полуавтоматов, нормативными данными. Эти ограничения записываются в виде

$$V_{min} \leq V_f \leq V_{max}; S_{min} \leq S_j \leq S_{max}.$$

Условия 1-5 определяют все возможные варианты обработки деталей по последовательной схеме. Для каждой обрабатываемой поверхности детали имеется набор возможных сочетаний n_i и S_j , выбор которых обусловлен приведенными выше условиями. Множество допустимых для f -й поверхности детали пар $(n_i, S_j)^f$ обозначают через R_f :

$$R_f = \{(n_i, S_j)^f\}, \text{ где } f = 1, 2, \dots, 5.$$

Возможный вариант обработки детали в целом (т.е. обработка всех ступеней вала) может быть реализован с параметрами (n_i, S_j) , принадлежащими всем множествам R_f , т.е. области их пересечения $(n_i, S_j) \bigcap_{f=1}^5 R_f$ (рис. 2). Выбор оптимального варианта из всех возможных производится по определенному критерию (оценочной функции). В случае обработки деталей на полуавтоматическом и автоматическом оборудовании оптимальный вариант оценивается по критерию максимальной производительности станка.

Для исследования операции, определения возможных и оптимальных вариантов обработки ступенчатого вала из штампованной заготовки необходимо подготовить комплект исходных данных для ввода в ЭВМ. Комплект исходных данных состоит из двух частей: а) массив постоянной информации и б) массив исходных данных, варьируемых при решении поставленной задачи (табл. I). К первой группе относятся:

N - частота вращения шпинделя, в работе используется ряд полуавтомата модели I722:7I-90-III-I43-I8I-223-285-352-448-565-645-703-905-III0-I4IO об/мин;

X_{2f} - расстояние от торца планшайбы передней бабки до рассмат-

риваемого сечения f_i ; обрабатываемой ступени вала (см. рис. 1), мм;

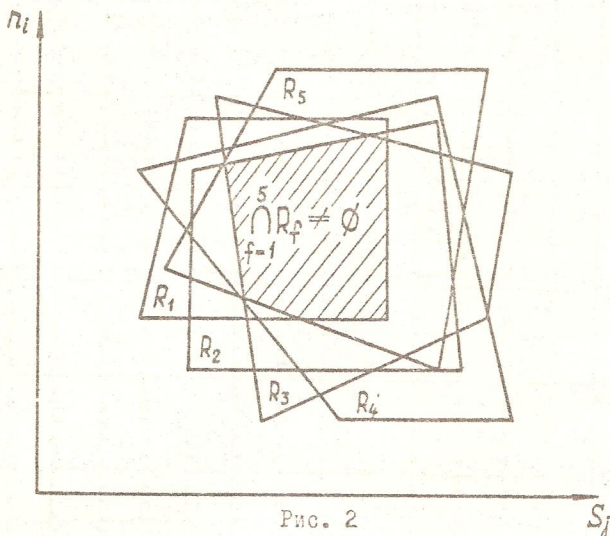


Рис. 2

- S - подача гидросуппорта, принимает значения от 0,1 до 0,6 мм/об с шагом 0,05, так как она регулируется на станке гидравлическим дросселем;
- A - массив диаметров ступеней вала, мм;
- $L1$ - массив длин ступеней вала, мм;
- B - количество обрабатываемых ступеней вала; Y - общее количество ступеней вала, мм; F - код конфигурации вала 00;
- MD - мощность электродвигателя станка, принимаем ее равной 13 кВт; NI - базовая частота вращения шпинделя, принимается равной 645 об/мин; $E7$ - коэффициент полезного действия электродвигателя - 0,8; $K6$ - допустимый коэффициент перегрузки электродвигателя - 1,5;
- M - показатель степени при скорости резания в зависимости $V-T$; при обработке стальных заготовок резцами, оснащенными пластинками твердого сплава Т15К6, показатель $M = 2,5$;
- TX - цикловые потери времени (холостые хода) при работе полуавтомата; принимаем равными 0,5; $TE = 0,075$ - потери времени по оборудованию; $T1 = 0,1$ - потери времени по организационным причинам; $C1 = 0,045$ - потери времени по инструменту;

LL - общая длина вала, мм; LD - расчетная длина обработки (длина рабочего хода гидросуппорта), мм;

К варьируемым параметрам относятся:

RZ - заданная высота неровностей профиля поверхности обрабатываемой ступени вала, мкм;

TA, TM - заданные максимальная и минимальная глубина резания соответственно, мм;

$KD, KD1$ - предельная погрешность обработки, вызванная соответственно упругими деформациями технологической системы и размерным износом инструмента;

YPB, YZB, YS - жесткость передней бабки, задней бабки и суппорта полуавтомата соответственно, кгс/мм;

$VM1, VM2$ - минимальная и максимальная допустимая скорость резания при обработке деталей, м/мин;

MD - партия заготовок, обрабатываемых между смежными подналадками, шт.

Значение варьируемых параметров приведено в табл. 2.

Таблица 2

Параметр	R_z	TA	TM	KD	$KD1$	YPB	YZB	YS	$VM1$	$VM2$	MD
Размерность	мкм	мм	мм	мм	мкм	кгс/мм	кгс/мм	кгс/мм	м/мин	м/мин	шт
Значение параметра.	40	1,5	0,5	0,025	20,0	$2,2 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^3$	25	150	10
	80	2,5	1,5	0,03	30,0	$10 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	50	175	15

Порядок выполнения работы

Используя эскиз обрабатываемой детали (рис. 3) и справочные данные, приведенные в описании лабораторной работы, студент подготавливает комплект исходных данных для ввода в ЭВМ. Сведения вносятся в табл. 1. Исходные данные перфорируются оператором ВЦ.

По указанию преподавателя исследуется влияние одного или нескольких технологических факторов на построение станочной операции. Результаты исследования оформляются графически, как это показано на рис. 4.

Каждый из вариантов обработки ступенчатого вала характеризуется тремя параметрами: частотой вращения шпинделя, подачей гидросуппорта, производительностью станка. Эти данные ЭВМ вы-

дает на печать (см. приложение I).

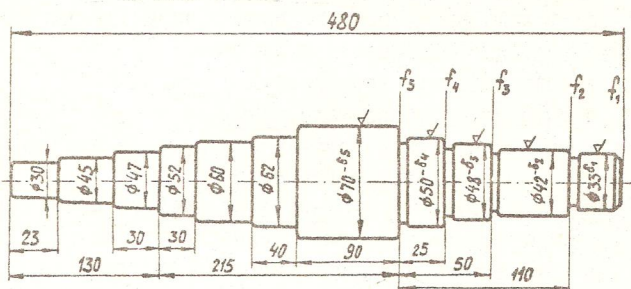


Рис. 3

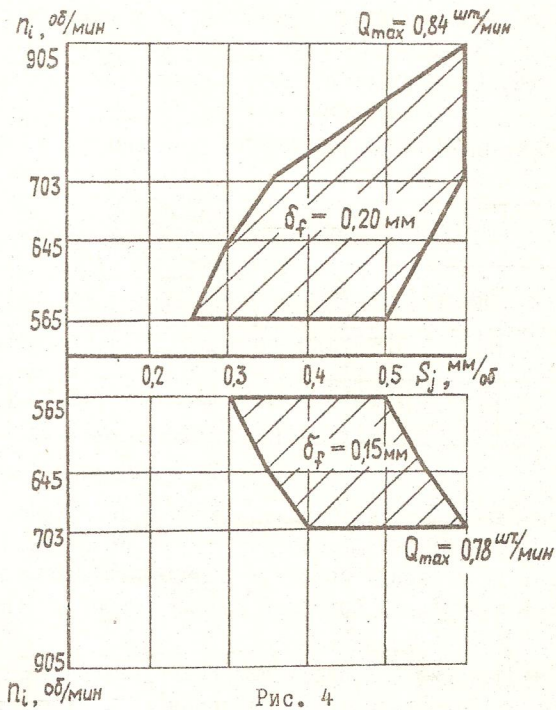


Рис. 4

Работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ОПТИМАЛЬНЫЙ
ВАРИАНТ ОПЕРАЦИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В ПАТРОНЕ НА ТОКАРНЫХ
СТАНКАХ С ЧПУ

Цель работы - определить: 1) оптимальные для заданных условий режимы обработки деталей на токарном станке с ЧПУ; 2) влияние отдельных факторов на оптимальный вариант операции обработки деталей.

Описание работы

В работе рассматривается обработка деталей из проката в патроне на токарных станках с ЧПУ*. Режимы выполнения рабочих ходов суппорта станка определяются путем математического моделирования токарной операции на ЭВМ. Из общей блок-схемы алгоритма программы построения токарной операции (рис. 5) видно, что основные задачи при проектировании операции следующие: определение глубины резания на каждом переходе; выбор подачи и скорости резания; расчет суммарной погрешности обработки детали; определение схемы обработки (последовательности выполнения переходов обработки поверхностей детали в токарной операции). При разработке алгоритмов построения операции использован блочно-модульный принцип организации. Последовательность работы отдельных модулей, решающих перечисленные выше задачи проектирования, задается управляющим блоком алгоритма.

При назначении числа технологических переходов обработки поверхностей учитывается, что количество переходов зависит от значения общего припуска на обработку, требований по точности и шероховатости поверхностей заготовки и детали, технологических возможностей станка. Расчет режимов резания ведется для каждого перехода с учетом ограничений технологической системы. Суммарная погрешность обработки рассчитывается в зависимости от всех накопленных в технологической системе изменений, которые произошли к данному моменту выполнения рассматриваемого перехода. Определение оптимального числа переходов проводится методом направленного поиска с обеспечением экстремального значения целевой функции. Критерием оптимальности для определения наилучшего варианта является производительность обработки

* См.: Капустин Н.М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ. М., "Машиностроение", 1976, стр. 231-237.

при заданной системе (I)-(6) технологических ограничений (по точности, шероховатости поверхностей, виброустойчивости, мощности привода станка и т.п.):

$$Q = \frac{1}{\Sigma(t_p + t_x) + \Sigma\theta_n},$$

где t_p - время резания, мин.;
 t_x - время выполнения вспомогательных ходов, мин.;
 $\Sigma\theta_n$ - сумма внецикловых потерь времени, мин.

Ограничения: по мощности привода станка

$$t^{x p_2} S^{y p_2} \cdot V^{n p_2 + 1} \leq \frac{6120 N_d \cdot Z \cdot K_n}{C_{p_2} \cdot K_{p_2}}; \quad (I)$$

по виброустойчивости технологической системы

$$[t] B B \leq 4,65 + 2,2 \cdot 10^{-1} V + 6,7 \cdot 10^{-3} V^2 + 5,17 \cdot 10^{-5} V^3; \quad (2)$$

по шероховатости обрабатываемой поверхности

$$S \leq R_z \cdot R^{0,53} \cdot \Delta y^{0,04} \quad \text{при } 10 < V < 193 - \frac{243 \cdot S}{R^{0,52}}; \quad (3)$$

по точности обрабатываемой поверхности

$$\Delta \Sigma = \frac{2}{K} \sqrt{(K_2 \Delta y)^2 + (K_3 \Delta_n)^2 + (K_4 \Delta_u)^2 + (K_5 \Delta_{CT})^2 + (K_6 \Delta_7)^2}; \quad (4)$$

по стойкости инструмента

$$t^p \cdot S^{n_1} \cdot V^{m_1} \leq \frac{C_T}{T_{3AD}}; \quad (5)$$

по скорости резания

$$V_{min} \leq V \leq V_{max}; \quad (6)$$

в уравнениях (I)-(6): t, S, V - соответственно глубина резания, подача и скорость резания;

$x_{p_2}, y_{p_2}, n_{p_2}$ - показатели степени при определении тангенциальной силы резания p_2 ;

C_{p_2}, K_{p_2} - постоянная, характеризующая условия обработки при расчете тангенциальной силы резания p_2 , и поправочный коэффициент, учитывающий реальные условия эксплуатации режущего инструмента;

R - радиус при вершине резца, мм;

R_z - высота неровностей профиля поверхности по чертежу, мкм;

$\Delta y, \Delta_u, \Delta_n, \Delta_{CT}, \Delta_7$ - составляющие суммарной погрешности обработки;

$K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ - коэффициенты относительного рассеивания

- размеров;
- m, n, p - показатели степени при определении стойкости инструмента;
- C_T - постоянная, характеризующая условия обработки при расчете стойкости режущего инструмента;
- $T_{зад}$ - заданная (выбранная) стойкость режущего инструмента, мин;
- V_{min}, V_{max} - минимальное и максимальное значения скорости резания, характеризующие диапазон скорости, в котором справедлива формула расчета стойкости режущего инструмента.

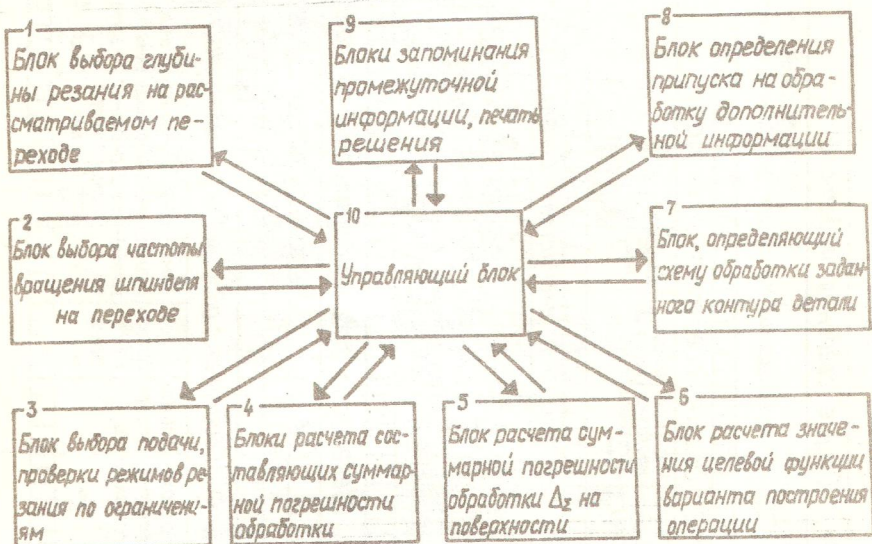


Рис. 5

Порядок выполнения работы

Для обрабатываемой детали подготавливаются массивы исходных данных для ввода в ЭВМ. Сведения о детали, заготовке, оборудовании, применяемом режущем инструменте заносятся в специальную табл. 3. Кроме того, задается схема обработки (последовательность ходов инструмента). Для исследования факторов, определяющих оптимальный вариант токарной операции ЧПУ, предусматривается несколько вариантов исходной информации о детали. Исходные данные о детали перфорируются. После проведения расчетов на ЭВМ анализируются полученные режимы выполне-

ния переходов обработки заданной детали по различным вариантам исходных данных, устанавливаются качественный и количественный характер изменения условий обработки, строятся графики изменения режимов резания от входных параметров.

Подготовка исходных данных о детали, станке и режущем инструменте

Для проектирования токарной операции необходимы сведения о детали, станке и инструменте. Все исходные данные разделены на пять групп (см. табл. 3). В первую группу входят общие сведения о детали и заготовке. Сведения о применяемом станке и режущем инструменте объединяются во вторую группу. В третьей группе содержатся данные о имеющихся на станке значениях подачи и частот вращения шпинделя. Сведения об основных поверхностях детали и их особенностях входят в четвертую группу. Они характеризуют геометрию детали и заготовки, точность и шероховатость поверхностей по чертежу. В одну перфокарту заносятся данные об одной поверхности детали. В последнюю пятую группу объединяются параметры, используемые при расчете сил резания и стойкости инструмента.

Работа № 3. ОПТИМИЗАЦИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ СВЕРЛЕНИЕМ НА МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Цель работы: 1) определить последовательность обработки отверстий с автоматической сменой инструмента; 2) для различных условий вспомогательного перемещения инструмента определить возможные и оптимальные варианты последовательности обработки отверстий.

Описание работы

В настоящей работе исследуется последовательность обработки отверстий сверлением в детали (рис. 6) типа корпус. Для определения оптимальной последовательности используется метод Литла (метод "Ветвей и границ", используемый для решения задачи коммивояжера)*.

* См.: Капустин Н.М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ. М., "Машиностроение", 1976, стр. 239-244.

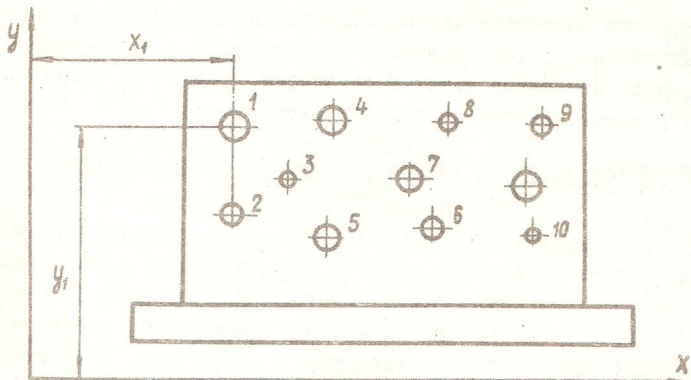


Рис. 6

Задача заключается в определении такой последовательности однопереходной обработки, чтобы время холостых перемещений инструмента было минимальным (т.е. нужно найти маршрут наименьшей протяженности). Возможны два варианта обработки. В первом варианте все поверхности могут быть разбиты на группы, например, по значению диаметра. Считается целесообразным провести полную обработку отверстий одной группы, а затем переходить к другой. Формулируют задачу следующим образом: имеется несколько отверстий одного диаметра, расстояния между любыми двумя отверстиями известны: надо выбрать кратчайший замкнутый маршрут, проходящий один и только один раз через каждое отверстие. Для каждой группы отверстий составляют исходную матрицу оценок. Числа, стоящие в матрице, — расстояния между отверстиями.

Во втором варианте считают целесообразным искать маршрут для всех отверстий при однопереходной обработке каждого отверстия. Известны расстояния между любыми двумя отверстиями. При переходе от отверстия одного диаметра к отверстию другого диаметра нужно учитывать время смены инструмента t'_{cu} . Зная скорость перемещения инструмента при холостом ходе V_{noz} , находят путь L , который прошел бы инструмент за время t'_{cu} , заполняют таблицу оценок. Для отверстий одного диаметра записывают в матрицу расстояние между ними, а для отверстий разных диаметров к расстоянию между ними прибавляют величину, равную произведению t'_{cu} на скорость перемещения инструмента при холостом ходе: $a_{ij} = d_{ij}$, если i и j — номера отверстий од-

ного диаметра; $a_{ij} = d_{ij} + t_{cu} \cdot V_{noz}$, если i и j - номера отверстий разных диаметров, где d_{ij} - расстояние между отверстиями с номерами i и j . Построенную матрицу оценок исследуют методом "ветвей и границ", получая наименьший по продолжительности маршрут.

В качестве примера приведено определение оптимального маршрута для однопереходной обработки сверлением каждого отверстия из группы отверстий разного диаметра с автоматической сменой инструмента. На рис. 7 показана плоскость детали типа корпус с отверстиями (1-15). Матрица исходных данных (расстояния между обрабатываемыми отверстиями) показана в табл. 4.

Таблица 4

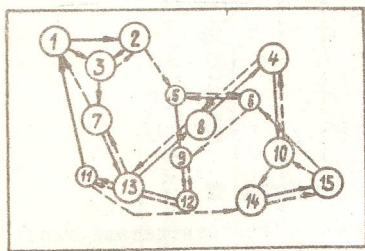


Рис. 7

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	×	70	45	195	120	182	81	150	153	226	122	168	145	225	274
2	70	×	36	125	62	116	79	97	111	181	124	129	130	175	215
3	45	36	×	153	74	131	51	105	109	181	98	125	113	181	238
4	195	125	153	×	90	39	104	83	118	82	191	128	170	123	119
5	120	62	74	90	×	65	74	35	54	107	103	72	91	114	116
6	182	116	131	39	65	×	139	52	81	55	157	91	134	88	102
7	81	79	51	104	74	139	×	91	80	107	48	93	65	154	213
8	150	97	105	83	35	52	91	×	30	77	105	45	82	79	125
9	153	111	109	118	54	81	80	30	×	90	82	18	54	74	185
10	226	181	182	82	107	55	107	77	90	×	171	87	138	48	48
11	122	124	98	191	103	157	48	105	82	171	×	85	36	195	212
12	168	129	125	128	72	91	93	45	18	87	85	×	51	63	126
13	145	130	113	170	91	134	65	82	54	138	36	51	×	110	172
14	225	175	181	127	114	88	154	79	74	48	145	63	110	×	68
15	274	215	238	119	116	102	213	125	133	48	212	126	172	68	×

Графическая интерпретация этого конкретного примера представлена в виде дерева (рис. 8). В рассматриваемом примере имеют место две оптимальные последовательности (см. рис. 7), но для различных условий перемещения инструмента: 1) 1-2-3-7-13-8-4-10-14-15-6-5-9-12-11-1 (при $V_{noz} = 6$ м/мин); 2) 1-3-2-5-6-9-12-11-14-15-10-4-8-13-7-1 (при $V_{noz} = 4$ м/мин). При сверлении отверстий разного диаметра на нескольких плоскостях корпусной детали методика определения оптимальной последовательности обработки не изменится, только при подсчете вспомогательного времени необходимо учитывать время поворота стола станка.

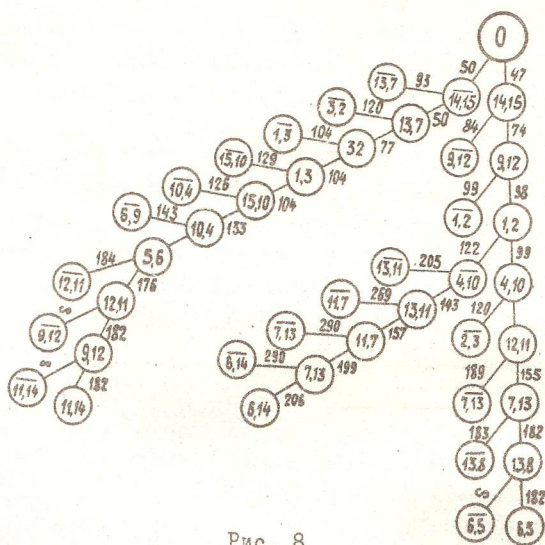


Рис. 8

Порядок выполнения работы

Имея геометрический план обработки плоскости детали типа корпус с обрабатываемыми отверстиями, студент заполняет бланк входной информации (табл. 5). На этом бланке указываются координаты отверстий. Преподаватель указывает скорость позиционирования V_{noz} , расстояние $2\ell_2$, на которое перемещается инструмент в зону смены инструмента и из нее (рис. 9), время смены инструмента t_{cu} и расстояние перемещения инструмента в зону позиционирования ℓ_1 .

Указанные в табл. 6 параметры могут иметь различное сочетание. Вспомогательное время определяется по следующей формуле:

$$t_{\beta a} = \sum_0^m \frac{2\ell_2}{V_{noz}} + t'_{cu} + \sum_0^n \frac{\sqrt{2\ell_2^2 + \ell_{nozcp}}}{V_{noz}}$$

где m, n - количество перемещений инструмента от отверстия к отверстию и количество смен инструмента.

При ручной смене инструмента

$$t_{\beta p} = \sum_0^n \frac{\sqrt{2\ell_2^2 + \ell_{nozcp}}}{V_{noz}} + \sum_0^{\rho} t_{cup}$$

где ρ - количество смен инструмента вручную;

t_{cup} - время смены инструмента вручную (принимается равным 0,1; 0,15; 0,2 мин.).

Таблица 5

Г С — для комментария

		Предложение на языке фортран														
N	Метка	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	80		
1	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
	1отв.	2отв.			3отв.			4отв.			и т. д.				п отв	

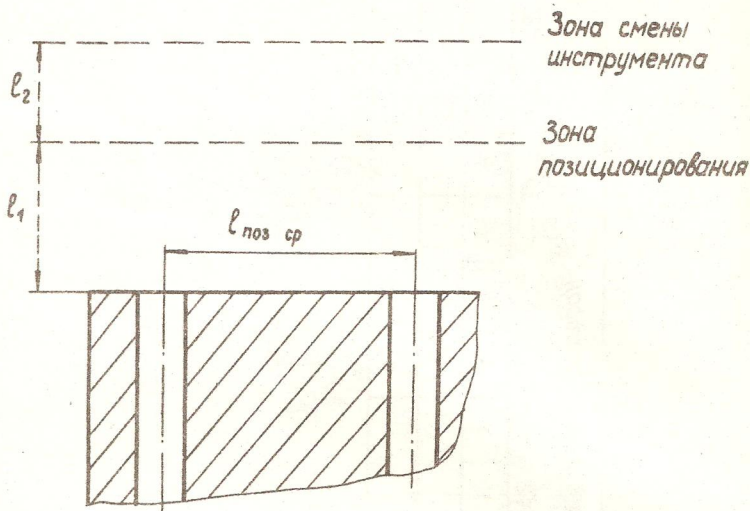


Рис. 9

Таблица 6

Возможные значения $V_{\text{поз}}$, $2l_2$ и l_1 , $t'_{\text{сц}}$.

$V_{\text{поз}}$, м/мин	$2l_2$, м	$t'_{\text{сц}}$, мин	l_1 , м
2	0,05	0,02	0,07
3	0,10	0,03	0,1
4	0,15	0,04	0,12
5	0,20	0,05	0,15
6	0,25	0,06	-
7	-	0,07	-
8	-	0,08	-
9	-	0,09	-
10	-	0,10	-

Исходные данные перфорируются и вводятся в ЭВМ.

Подготовка исходных данных

1. Параметр последовательности:

ρ - номер плоскости;

\varnothing - диаметр отверстия, мм;

N - число точек (не считая нулевой);

3 числа

2. Координаты точек в последовательности:

x_1 y_1
 x_2 y_2

 x_N y_N

3. Номера точек:

N_1
 N_2
 N_3
...
 N_N

N чисел

Выходная информация дается в виде карт последовательности. Студент проводит анализ полученных результатов и строит графики (рис. 10) зависимости вспомогательного времени от $V_{\text{коз}}$ и делает соответствующие выводы о целесообразности автоматической смены инструмента.



Рис. 10

Работа № 4. ОПТИМИЗАЦИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ПЛОСКОСТЕЙ И ОСНОВНЫХ ОТВЕРСТИЙ ДЕТАЛЕЙ ТИПА КОРПУС НА МНОГООПЕРАЦИОННЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Цель работы: 1) определить оптимальную последовательность выполнения переходов при обработке плоскостей и основных отверстий корпусной детали; 2) исследовать влияние требований точности и шероховатости плоскостей и взаимного расположения плоскостей и основных отверстий на оптимальную последовательность их обработки.

Описание работы

Деталь типа корпус (рис. 11) можно представить как совокупность различных по точности и шероховатости плоскостей I, II, III, ... и расположенных в них отверстий I, 2, 3 ..., пазов,

карманов, окон и т.п. При этом расположение точных плоскостей и основных отверстий регламентировано требованиями чертежа, которые накладывают ограничения на последовательность обработки поверхностей.



Рис. II

Число плоскостей и отверстий, требующих обработки, N . На i -й поверхности ($0 \leq i \leq N$) необходимо выполнить K_i переходов, из которых последний может быть чистовым и выполняется чистовым инструментом. Остальные выполняются одним и тем же черновым инструментом. Требуется найти оптимальную с точки зрения временных затрат последовательность выполнения переходов при обработке плоскостей и точных отверстий корпусной детали. Параметры переходов считаем заданными. Принимаем матрицу затрат вспомогательного времени, связанного с переходом от i -й поверхности к j -й, известной и равной $\{t_{ij}\}$. При этом выполняется неравенство $t_{ij} \leq t_{ik} + t_{kj}$. Если переход от обработки i -й поверхности к j -й сопровождается сменой инструмента, то соответствующее время вычисляется по формуле

$$d_{ij} = \max \{t_{ij}, \dots, t'_{ci}\},$$

где t'_{ci} - время смены инструмента.

Дополнительными ограничениями являются следующие:

- 1) если i -й и j -й переходы соответствуют черновой и чистовой обработке, то i -й должен предшествовать j -му;
- 2) если l и k соответствует чистовым переходам на плоскостях или отверстиях, взаимное расположение которых оговорено требованиями чертежа, то должен осуществляться один из двух вариантов их выполнения: l следует за k или k следует за l ;
- 3) в частном случае технологу необходимо задать начальную поверхность обработки.

Для решения задачи использован метод динамического программирования применительно к "задаче коммивояжера" (принцип Р.Беллмана)*. Принцип утверждает, что если некоторая функция

* См.: Автоматизированная система проектирования технологических процессов механосборочного производства. Под ред. Н.М.Капустина. М., "Машиностроение", 1979.

качества имеет вид аддитивного функционала (сумма простых сумми), то конечный отрезок оптимальной траектории оптимален. В силу этого утверждения предположим, что на некотором этапе обработки мы выполнили переход с номером i , нам остается выполнить переходы i_1, \dots, i_k , где $k \leq n-1$ (n — общее число переходов). Последовательность выполнения переходов i_1, \dots, i_k должна обеспечивать минимальное время взаимных холостых перемещений заготовки и инструментов. Обозначим это время $f(i, i_1, \dots, i_k)$. Среди аргументов функции f первый фиксирован, а остальные k могут подвергаться любой перестановке. Очевидно, что минимальное время выполнения всех n переходов равно

$$\min_{1 \leq i \leq n} f(i, 1, 2, \dots, i-1, i, i+1, \dots, n),$$

а $f(i, j) = d_{ij}$. Для решения задачи вводим рекуррентное соотношение, позволяющее выразить значение f с $(k+1)$ аргументами через значения этой функции с k аргументами и компонентами матрицы d_{ij} при наличии ограничений 1, 2 и 3. В нашем случае соотношение имеет вид:

$$f(i, i_1, \dots, i_k) = \min_{1 \leq i_2 \leq k} \{ d_{i i_2} + f(i_2, i_1, \dots, i_{2-1}, i_{2+1}, \dots, i_k) \}.$$

Алгоритм решения задачи может быть представлен так (рис. 12): на первом этапе составляется таблица $\{i, j\}$ — совпадающая с матрицей затрат табл. 7. Матрица затрат заполняется студентом по данным карт наладки, составленных для конкретной детали, следующим образом. Пусть необходимо найти оптимальную последовательность обработки поверхностей детали (рис. 13), имеющей N плоскостей и точных отверстий. При этом необходимо выполнить n переходов. Переходы, соответствующие поверхностям, нумеруются в произвольном порядке. Так, переходы 2, 4, 8, ... (см. рис. 11) соответствуют чистовой, а 1, 3, 7, ... — черновой обработке плоскостей I, II, III, ... Переходы 6, 10 соответствуют чистовой, а 5, 9 — черновой обработке отверстий 1, 2 и т.д. Переходы № 2 и 8, 6 и 2 взаимосвязаны по расположению требованиями чертежа. Матрица $\{t_{i,j}\}$ имеет вид табл. 7. Заполнение матрицы производится с конца по правилу:

- 1) взаимосвязанные переходы;
- 2) чистовые невязанные;
- 3) чистовые взаимосвязанные;
- 4) в любом порядке оставшиеся черновые.

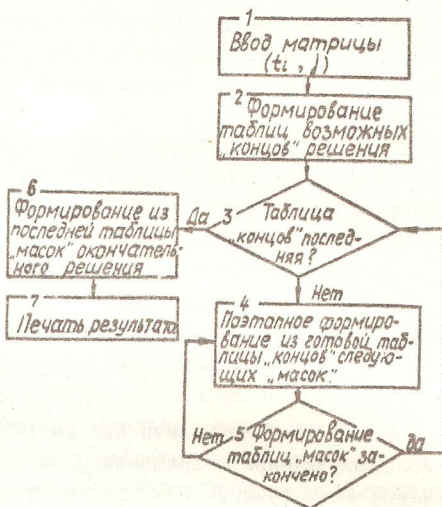


Рис. 12

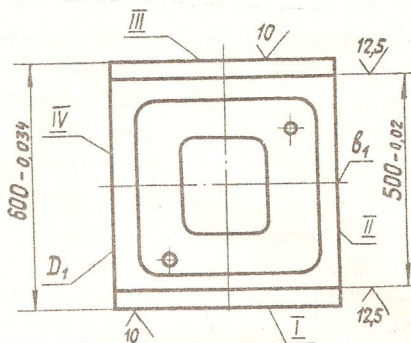
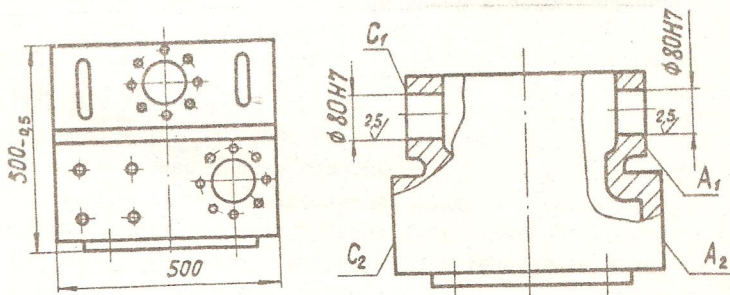


Рис. 13

Таблица 7

i \ j	Черновые переходы							Взаимосвязанные переходы			
	3	п-1	5	1	7	4	п	2	6	2	8
3	∞	t _{3(n-1)}	t ₃₅	t ₃₁	t ₃₇	t ₃₄	∞	t ₃₂	t ₃₆	t ₃₂	t ₃₈
п-1	t _{(n-1)3}	∞	t _{(n-1)5}	t _{(n-1)1}	t _{(n-1)7}	t _{(n-1)4}	t _{(n-1)п}	t _{(n-1)2}	t _{(n-1)6}	t _{(n-1)2}	t _{(n-1)8}
5	t ₅₃	t _{5(n-1)}	∞	t ₅₁	t ₅₇	t ₅₄	t _{5п}	t ₅₂	t ₅₆	t ₅₂	t ₅₈
1	t ₁₃	t _{1(n-1)}	t ₁₅	∞	t ₁₇	t ₁₄	t _{1п}	t ₁₂	t ₁₆	t ₁₂	t ₁₈
7	t ₇₃	t _{7(n-1)}	t ₇₅	t ₇₁	∞	t ₇₄	t _{7п}	t ₇₂	t ₇₆	t ₇₂	t ₇₈
4	∞	t _{4(n-1)}	t ₄₅	t ₄₁	t ₄₇	∞	t _{4п}	t ₄₂	t ₄₆	t ₄₂	t ₄₈
п	t _{п3}	∞	t _{п5}	t _{п1}	t _{п7}	t _{п4}	∞	t _{п2}	t _{п6}	t _{п2}	t _{п8}
2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	t ₂₆	∞	t ₂₈
6	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	t ₆₂	∞	t ₆₂	∞
2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	t ₂₆	∞	t ₂₈	∞
8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	t ₂₈	∞	t ₈₂	∞

Если отсутствуют взаимосвязанные, то:

- 1) чистовые переходы;
- 2) соответствующие им черновые.

Элементы матрицы — время, затраченное на переход от обработки поверхности i к j .

С учетом технологических правил, регламентирующих последовательность обработки поверхностей, в структуре матрицы $\{t_{ij}\}$ заложена возможность разрешать или запрещать переходы от i к j . Знак "∞" обозначает запрет на переход от поверхности i к j (см. табл. 7).

Время позиционирования детали и инструмента вычисляется по упрощенной формуле

$$t_{ij} = \frac{1}{V_{\text{поз}}} (\sqrt{(L_{ij}^x)^2 + (L_{ij}^y)^2 + (L_{ij}^z)^2} + \delta A_{\text{max}}) + \delta t'_{\text{cu}}, \quad (7)$$

где $V_{\text{поз}}$ — скорость позиционирования детали и инструмента;
 $L_{ij}^x, L_{ij}^y, L_{ij}^z$ — соответственно расстояние по осям x, y, z между поверхностями с переходами i и j ;

A_{max} — максимальный габарит детали, определяющий зону смены инструмента и углового позиционирования;

$\delta = \begin{cases} 1, & \text{если есть смена инструмента;} \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$

t'_{cu} — время смены инструмента манипулятором.

Редактор Ю.Н.Хлебинский

Корректор Л.И.Малютина

Заказ/59 Объем I,75п.л.+2вкл. (I,9 уч.-изд.л.) Тираж 500 экз.
Бесплатно Подписано к печати 2.02.1979 г. План 1979 г., № 6

Ротапринт МВТУ. IO7005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.