

Лабораторная работа № 3

РАСЧЕТ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Цель работы – изучение технологических особенностей расчета режима резания для обработки деталей на токарных станках с ЧПУ, приобретение практических навыков в разработке операционных технологий программной обработки точением.

3.1 Последовательность обработки поверхностей детали

Токарная обработка находит широкое применение при изготовлении тел вращения сложной формы и повышенной точности из различных конструкционных материалов.

По характеру обработки различают следующие **виды точения**:

- **черновое** – удаление дефектных слоев заготовок, разрезание, отрезка и подрезка торцов заготовок, срезание поверхностной «корки» и основной (до 70 %) части припуска на обработку;

- **получистовое** – снятие от 20 до 25 % припуска; шероховатость $R_z = 40 \dots 20$, точность 10 – 11-го квалитетов; заготовка получает форму, близкую к форме детали;

- **чистовое** – шероховатость $R_z = 20 \dots 1,25$, точность 7 – 9-го квалитетов; деталь получает окончательную форму и размеры;

- **тонкое (алмазное)** – срезание очень тонкой стружки; шероховатость $R_z = 0,65 \dots 0,32$, точность 5 – 7-го квалитетов.

После ознакомления с чертежом детали и техническими условиями на ее изготовление выбирают последовательность обработки поверхностей детали и количество установов заготовки на станке.

Для каждого установа определяют:

- последовательность обработки по зонам (открытая, полуоткрытая и др.) в зависимости от конструктивных особенностей детали;

- последовательность обработки по видам (например, черновая, чистовая) в каждой зоне;

- совокупность элементов детали, обрабатываемых одним инструментом в каждой зоне.

Каждая зона токарной обработки на станках с ЧПУ соответствует одному технологическому переходу и формируется в зависимости от конфигурации чернового или чистового контура

Изучение технических характеристик токарного станка с ЧПУ модели ТПК-125ВН (см. Приложение Б) показывает, что размеры рабочего пространства и паспортная точность данного станка позволяют изготовить деталь «Опора» с требуемыми по чертежу точностью цилиндрических и сферических поверхностей, а также их взаимным расположением.

3.2 Режим резания при токарной обработке

Режим резания – совокупность значений скорости резания, подачи и глубины резания. Эти факторы зависят от материала заготовки и его свойств на данной операции обработки, материала и геометрии режущего инструмента, вида обработки.

В качестве исходных данных принимают физико-механические свойства материала заготовки, величину припуска и вид обработки (черновая или чистовая).

Далее расчет режима резания при точении выполняют в такой последовательности:

- назначают вид инструментального материала и его марку;
- выбирают геометрические элементы токарного резца;
- назначают глубину резания;
- рассчитывают подачу на оборот;
- назначают период стойкости токарного резца;
- рассчитывают скорость резания;
- рассчитывают номинальную частоту вращения шпинделя;
- рассчитывают силу и мощность резания;
- определяют основное время обработки.

3.2.1 Особенности расчета режима резания при точении на станках с ЧПУ

Режим резания при токарной обработке на станках с ЧПУ назначают на основании операционного эскиза.

На операционном эскизе программной обработки для каждого установа показывают контур детали с операционными и справочными размерами, схему базирования и закрепления заготовки, систему координат с нулевой точкой детали W (рисунок 3.2).

Нулевая точка детали (нуль детали) W – точка на детали, относительно которой заданы ее размеры. Перерасчет размеров на чертеже детали относительно нуля детали W на операционном эскизе необходим для программирования траектории перемещения инструмента в каждом из технологических переходов.

Операционные размеры, т. е. геометрические размеры и

шероховатость поверхностей детали, которые необходимо получить при обработке в данном установе, нумеруют цифрами в кружках с направлением обхода нумерации по часовой стрелке. Обработанный контур детали выделяют жирной линией.

Помимо операционного эскиза обязательным элементом операционной технологии программной обработки на металлорежущих станках с ЧПУ является кинематическая схема перемещения инструмента для каждого технологического перехода – расчетно-технологическая карта (РТК) (рисунок 3.3).

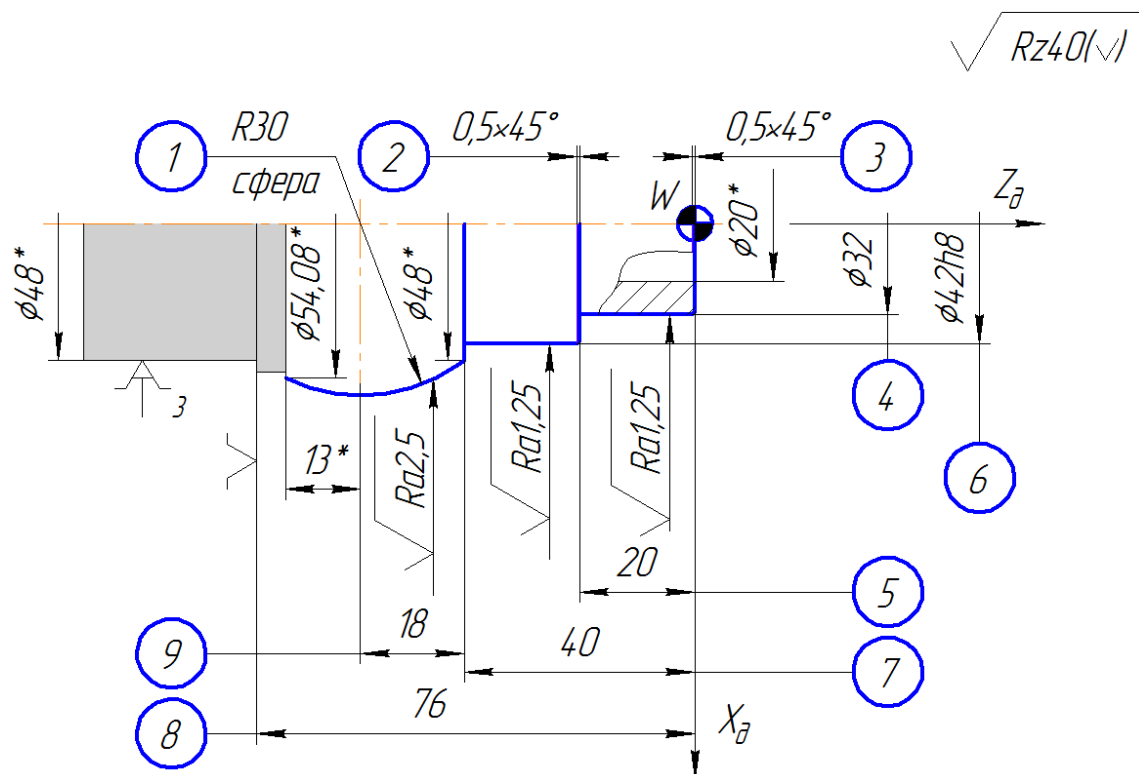


Рисунок 3.2 – Операционный эскиз детали «Опора» (первый установ, чистовое точение)

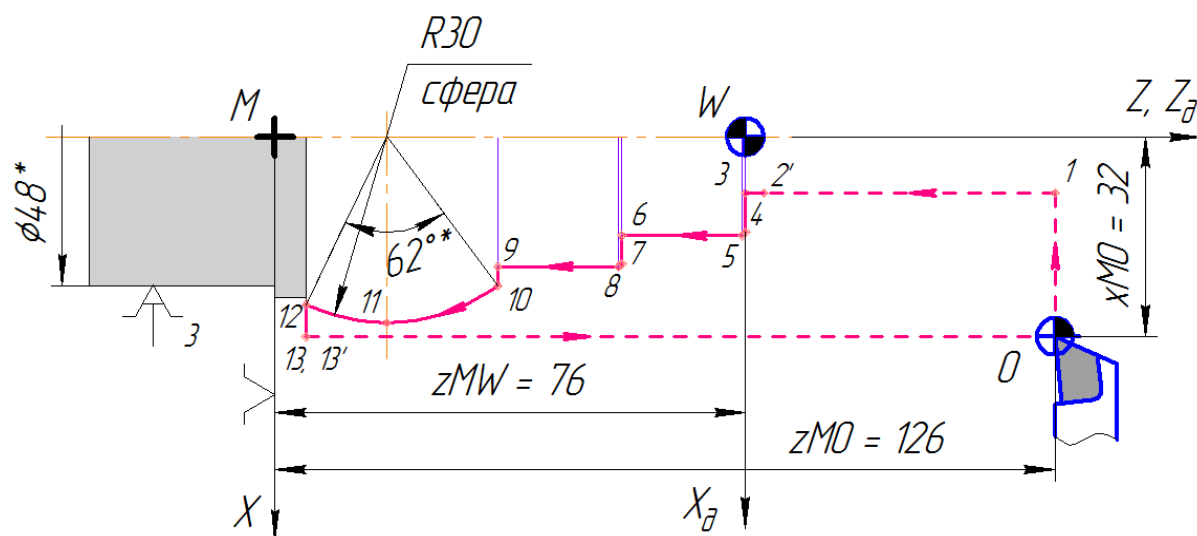


Рисунок 3.3 – РТК обработки детали «Опора» (первый установ, чистовое точение): 1, 2, ..., 13 – опорные геометрические точки; 2', 13' – опорные технологические точки

РТК должна содержать следующие данные:

- прямоугольные системы координат XMZ станка с началом отсчета в нулевой точке станка M и детали $X_{\partial}MZ_{\partial}$ с началом отсчета в нулевой точке детали W ; указание направления осей; координаты исходной точки станка O . *Нулевая точка станка (нуль станка) M* – точка, принятая за начало координат станка. *Исходная точка станка (исходная точка) O* – точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для начала работы по управляющей программе;

- контур детали, подлежащий обработке, с указанием схемы базирования и закрепления заготовки, а также справочные размеры, необходимые для программирования;

- траекторию движения вершины инструмента в системе координат станка XMZ . Началом и концом траектории является исходная точка станка O с заданными по паспорту станка координатами XMO , ZMO . На линии движения инструмента обозначают опорные точки – геометрические и технологические, в которых происходит изменение геометрии траектории либо условий обработки. Основной линией обозначают участки рабочего хода, пунктирной – вспомогательного хода. Направление обхода для наглядности задают стрелками на каждом участке траектории движения вершины инструмента.

Режим резания рассчитывают для всех операционных размеров, за исключением фасок, которые относят к предыдущим по очередности обработки поверхностям. Каждому размеру на операционном эскизе соответствует *геометрический элемент РТК* – непрерывный участок расчетной траектории или контура детали, задаваемый одним и тем же законом в одной и той же системе координат.

3.2.2 Методика расчета режима резания для токарной обработки на станках с ЧПУ

Установление вида инструментального материала и его марки

Материал режущей части инструмента выбирают по нормативным данным в зависимости от обрабатываемого материала заготовки, вида обработки (черновая, чистовая), а также от характера обработки – непрерывного или прерывистого резания согласно таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Выбор марки материала резца при различных видах точения

Вид и характер обработки	Обрабатываемый материал		
	Стали	Титановые сплавы	Алюминиевые сплавы
Черновое точение при прерывистом резании с ударами	T5K10 T5K12	BK8	BK4 BK6
Получистовое точение при прерывистом резании с ударами	T15K6 T5K10	BK4	BK4 T15K6
Чистовое точение при непрерывном резании	T30K4	BK4 BK3M	BK3 T15K6

Выбор геометрических элементов режущей части инструмента

Оптимальные значения углов режущей части токарного резца для обработки различных материалов в зависимости от материала инструмента, характера обработки определяют по нормативам через поправочный коэффициент K_p силы резания

$$K_p = K_{mp} K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p}, \quad (3.1)$$

где K_{mp} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала (таблица 3.2);

$K_{\varphi p}$, $K_{\gamma p}$, $K_{\lambda p}$ – поправочные коэффициенты, учитывающие геометрические параметры режущей части инструмента (таблица 3.3).

Таблица 3.2 – Значения поправочного коэффициента K_{mp}

Обрабатываемый материал	Предел прочности σ_b , МПа	Поправочный коэффициент
Стали	≤ 600	$(\sigma_b/750)^{0,35}$
	> 600	$(\sigma_b/750)^{0,75}$
Титановые сплавы	< 800	$(\sigma_b/750)^{0,40}$
	≥ 800	$(\sigma_b/750)^{0,70}$
Алюминиевые сплавы	< 350	2,00
	≥ 350	2,75

Таблица 3.3 – Значения поправочных коэффициентов $K_{\varphi p}$, $K_{\gamma p}$, $K_{\lambda p}$

Геометрические параметры резца		Поправочный коэффициент	
Главный угол резца в плане	75	$K_{\varphi p}$	1,08
	90		1,00

φ, град	95		0,94
Передний угол γ, град	15	$K_{\gamma p}$	1,25
	0		1,35
	-10		1,40
Угол наклона главной режущей кромки λ, град	5	$K_{\lambda p}$	1,00
	0		
	-5		

Назначение глубины резания

Глубина резания t , мм, – толщина слоя припуска, снимаемого за один рабочий ход инструмента, измеренная перпендикулярно к оси или поверхности заготовки. Глубину резания выбирают в зависимости от вида токарной обработки (черновой, получистовой, чистовой).

При обработке цилиндрических поверхностей глубина резания

$$t = 0,5(D - d), \quad (3.2)$$

где D – диаметр заготовки до обработки;

d – диаметр заготовки или детали после обработки за один рабочий ход инструмента.

Расчет подачи на оборот

Подача на оборот S_o , мм/об, – величина перемещения режущей кромки резца в направлении движения подачи за один оборот заготовки. Величину подачи на оборот для токарных операций, осуществляемых на станках с ЧПУ, рассчитывают по эмпирическим формулам, приведенным в таблицах 3.4 – 3.6. Принято соотношение $Rz = 4Ra$.

Таблица 3.4 – Подача на оборот при черновом точении

на станках с ЧПУ $S_o = Kt^x D_{max}^y D_o^z$, мм/об

Обрабатываемый материал	K	x	y	z
Стали	0,15	-0,33	0,19	0,20
Титановые сплавы	0,67	-0,35	0,22	0,20
Алюминиевые сплавы	0,29	-0,30	0,08	0,25

Примечание. K , x , y , z – коэффициенты пропорциональности и показатели степени; D_{max} , D_o – максимальный диаметр и диаметр обрабатываемой в данном переходе поверхности, мм; t – глубина резания, мм.

Таблица 3.5 – Подача на оборот при чистовом точении на станках с ЧПУ $S_o = K_1 D_{max} + K_2 Rz + b$, мм/об

Обрабатываемый материал	K_1	K_2	b
-------------------------	-------	-------	-----

Стали	0,00012	0,013	0,012
Титановые сплавы	0,00009	0,008	0,056
Алюминиевые сплавы	0,00016	0,011	0,036
<i>Примечание.</i> D_{max} – наибольший диаметр обрабатываемой поверхности детали, мм; R_z – параметр шероховатости, мкм; K_1 , K_2 , b – коэффициенты пропорциональности.			

Таблица 3.6 – Подача на оборот при чистовом точении фасонных поверхностей на станках с ЧПУ $S_o = KD_{max}^x R_z^y F^z$, мм/об

Обрабатываемый материал	Группа подач	K	x	y	z
Стали	II	0,017	0,27	0,40	-0,45
Титановые сплавы	II	0,010	0,28	0,73	-0,56
Алюминиевые сплавы	II	0,011	0,33	0,60	-0,34
<i>Примечания:</i>					
1. K , x , y , z – коэффициент пропорциональности и показатели степени; D_{max} – наибольший диаметр обрабатываемой поверхности детали, мм; R_z – параметр шероховатости фасонной поверхности, мкм; F – угол наклона образующей обрабатываемого фасонного контура, град.					
2. Группа подач: II – интерполятор с импульсным умножением, привод подач с ценой импульсов $\Delta x = 0,001$ мм, $\Delta z = 0,002$ мм.					

Назначение периода стойкости токарного резца

Период стойкости T , мин, – это время резания новым или восстановленным режущим инструментом от начала резания до достижения допустимой величины затупления, после чего необходима переточка инструмента. На выбор периода стойкости режущего инструмента влияют вид обработки и характер резания.

По нормативам среднее значение периода стойкости токарных резцов составляет от 30 до 60 мин.

Расчет скорости резания

Скорость резания v , м/мин, при токарной обработке является окружной скоростью точки, взятой на наибольшем диаметре заготовки.

Величину скорости резания для токарной обработки на станках с ЧПУ рассчитывают по эмпирической формуле, приведенной в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Расчетная скорость резания для точения на станках с ЧПУ $v_{расч} = C_v K_v / T^m t^x S_o^y$, м/мин

Обрабатываемый материал	Подача S_o , мм/об	C_v	K_v	x	y	m
-------------------------	----------------------	-------	-------	-----	-----	-----

Стали	$\leq 0,3$	420	1,1	0,15	0,20	0,2
	$> 0,3$	350	0,8		0,35	
Титановые сплавы	$\leq 0,3$	400	0,8	0,14	0,16	0,18
	$> 0,3$	410	0,7		0,20	
Алюминиевые сплавы	$\leq 0,2$	485	0,5	0,12	0,25	0,28
	$> 0,2$	328	0,4		0,50	

Примечание. C_v, K_v – коэффициенты пропорциональности; m, x, y – показатели степени; T – период стойкости токарного резца, мин; t – глубина резания, мм; S_o – подача на оборот, мм/об.

Расчет номинальной частоты вращения шпинделя

Номинальную частоту вращения шпинделя $n_{расч}$, 1/мин, рассчитывают для наружных торцовых, цилиндрических и сферических поверхностей детали по формуле

$$n_{расч} = 1000v_{расч} / \pi D, \quad (3.3)$$

где D – диаметр обрабатываемой поверхности, мм.

Для каждого применяемого токарного резца (т. е. технологического перехода) частота вращения шпинделя должна быть неизменной. Ее выбирают из нормализованного ряда частоты вращения шпинделя конкретного станка с ЧПУ, подходящего по техническим характеристикам для обработки данной детали (см. Приложение Б).

Принятая частота вращения $n_{прин}$ должна быть меньше каждой из расчетной номинальной частоты вращения для наиболее ответственных по точности и шероховатости поверхностей детали.

Значение $n_{прин}$ выставляют на пульте управления станком с ЧПУ заранее до начала программной обработки.

По принятому значению $n_{прин}$ уточняют скорость резания v^* для всех участков обработки детали на технологическом переходе каждого из установов заготовки по формуле

$$v^* = \pi D n_{прин} / 1000, \quad (3.4)$$

где v^* – принятая скорость резания, м/мин.

Расчет силы и мощности резания

Главная составляющая силы резания P_z направлена по касательной к поверхности резания и совпадает по направлению с вектором скорости вращения заготовки.

Силу резания P_z для токарных операций на станках с ЧПУ рассчитывают по эмпирической формуле, приведенной в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Сила резания для токарной обработки на станках с ЧПУ

$$P_z = 10C_p t^x S_o^y v^n K_p, \text{ Н}$$

Вид токарной обработки	Обрабатываемый материал	C_p	x	y	n
Наружное продольное и поперечное точение	Стали	300	1	0,75	-0,15
	Титановые сплавы	280			-0,14
	Алюминиевые сплавы	40			0

Примечание. C_p – коэффициент пропорциональности; K_p – поправочный коэффициент, учитывающий изменение условий работы и геометрию токарного резца; x , y , n – показатели степени.

Величину мощности резания при токарной обработке N , кВт, определяют по формуле

$$N = P_z v / 61200. \quad (3.5)$$

По принятому значению частоты вращения шпинделя корректируют скорость резания и мощность резания, при этом должно удовлетворяться условие

$$N \leq N_{np}\eta, \quad (3.6)$$

где N – расчетная мощность резания, кВт;

N_{np} – мощность электродвигателя привода главного рабочего движения станка, кВт (см. Приложение Б);

η – КПД станка ($\eta = 0,8 \dots 0,85$).

Определение основного времени обработки

Основное (технологическое, машинное) время T_o , мин, представляет собой время, в течение которого осуществляется изменение размеров и формы заготовки, шероховатости поверхности.

Для всех станочных работ основное время T_o определяется отношением величины пути, пройденного обрабатывающим инструментом, к его минутной подаче.

Основное время автоматической работы станка T_{oa} , мин, вычисляют по формуле

$$T_{oa} = \sum_{i=1}^m (L_i / S_{mi}), \quad (3.7)$$

где L_i – длина пути, проходимого инструментом в направлении подачи при обработке i -го геометрического элемента согласно РТК, мм;

S_{mi} – минутная подача на отдельном геометрическом элементе РТК, мм/мин;

m – количество геометрических элементов РТК, которые задают перемещение токарного резца на рабочих ходах.

Минутная подача S_m , мм/мин, связана с подачей на оборот S_o , мм/об, соотношением

$$S_m = S_o n_{прин}, \quad (3.8)$$

где $n_{прин}$ – частота вращения шпинделя, принятая для программной обработки в данном технологическом переходе, 1/мин.

Расчетные минутные подачи для продольных и поперечных перемещений токарного резца по траектории РТК не должны превышать диапазон рабочих подач токарного станка с ЧПУ, выбранного для обработки (см. Приложение Б).

3.3 Комплектование лабораторной работы

1. Чертеж детали "Опора" и технические условия ее изготовления. Вид заготовки – прокат круглого сечения, материал – алюминиевый сплав марки Д16АТ, $\sigma_{\epsilon} = 370$ МПа. Варианты материалов заготовки для расчета режима резания:

- титановый сплав марки ВТ20, $\sigma_{\epsilon} = 950$ МПа;
- сталь марки 30ХГСА, $\sigma_{\epsilon} = 1100$ МПа.

При чистовой обработке припуск подлежит удалению по поверхностям: торцевым – 1 мм, диаметральный – 2 мм.

2. Станок токарный с ЧПУ модели ТПК-125ВН, система ЧПУ Н22.

3. Резец проходной 2142-0019 Т15К6 согласно ГОСТ 9795–84 (геометрические параметры резца: $\phi = 95^{\circ}$, $\gamma = 15^{\circ}$, $\lambda = -5^{\circ}$).

3.4 Порядок проведения экспериментальных исследований

1. Ознакомиться с чертежом детали «Опора» (см. рисунок 3.1) и технологической последовательностью ее обработки, изучить технические характеристики станка (см. Приложение Б).

2. Выполнить операционный эскиз для обработки заданных поверхностей детали «Опора».

3. Разработать кинематическую схему перемещения инструмента – РТК для заданного установа и технологического перехода.

4. Рассчитать режим резания при точении заданных поверхностей детали «Опора» из заданного материала.

5. Заполнить сводную таблицу результатов расчета режима резания по форме таблицы 3.9 на шесть поверхностей.

6. Ответить на контрольные вопросы.

7. Оформить отчет о работе.

Таблица 3.9 – Режим резания для обрабатываемых поверхностей

Поверхность	t , мм	S_o , мм/об	$v_{расч}$, м/мин	v^* , м/мин	P_z , Н	N , кВт	S_m , мм/мин	T_{oa} , МИН

3.5 Содержание отчета

1. Краткий конспект о порядке расчета режима резания для токарной обработки на станках с ЧПУ.

2. Операционный эскиз для обработки заданных поверхностей детали «Опора».

3. Кинематическая схема перемещения инструмента – РТК для заданного установа и технологического перехода.

4. Сводная таблица результатов расчета режима резания для обрабатываемых поверхностей.

5. Выводы по лабораторной работе.

3.6 Контрольные вопросы

1. Назовите элементы технологического перехода и зоны токарной обработки детали «Опора».

2. В какой последовательности выполняют расчет режима резания для токарной обработки?

3. Что изображают на операционном эскизе детали для каждого установа?

4. Какие данные содержит кинематическая схема перемещения инструмента – РТК?

5. По каким критериям выбирают модель станка с ЧПУ и геометрические параметры токарного резца?

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Основные технические характеристики токарного станка с ЧПУ модели ТПК-125ВН

- | | |
|--|----------------------|
| 1. Диаметр обрабатываемого изделия над суппортом, мм – | 200 |
| 2. Наибольшая длина устанавливаемого изделия, мм – | 550 |
| 3. Наибольшая длина обработки, мм – | 200 |
| 4. Биение оси шпинделя, мм – | не более $\pm 0,002$ |

5. Количество управляемых координат –	2
6. Нормализованный ряд частоты вращения шпинделя, 1/мин –	50, 130, 335, 630, 900, 1250, 1500, 1700, 2500, 3300, 4000
7. Диапазон рабочих подач суппорта, мм/мин:	
продольного –	от 6 до 180
поперечного –	от 3 до 90
8. Скорость вспомогательных ходов, мм/мин	400
9. Число позиций револьверной головки –	6
10. Дискретность перемещений, мм:	
продольных –	0,002
поперечных –	0,001
11. Мощность электродвигателя привода главного рабочего движения, кВт –	1,75
12. Тип устройства ЧПУ –	H22-1M

Основные данные устройства ЧПУ H22-1M

1. Тип устройства – с импульсным умножением.
2. Система отсчёта координат – абсолютная и относительная.
3. Вид интерполяции – линейная и круговая.
4. Система задания размеров – метрическая.
5. Количество управляемых координат – две.
6. Дискретность задания размеров в направлении, мм:
 продольном (ось Z) – 0,002,
 поперечном (ось X) – 0,001.
7. Точность интерполяции, мм – $\pm 0,01$.