Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
« Основы технологии машиностроения»
для студентов направлений

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
15.03.02 «Технологические машины и оборудование»

Энгельс 2024

ПОНЯТИЕ О ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

При обработке деталей на металлорежущем оборудовании очень большое влияние на погрешность обработки оказывает упругая система (УС), деформация которой в процессе обработки вызывает погрешность, как размеров, так и геометрической формы обрабатываемых деталей.

Деформации, возникающие в УС под действием сил резания, можно разделить на два вида:

1) деформации отдельных деталей станка, приспособления, обрабатываемой детали и инструмента; величины этих деформаций можно рассчитать с достаточной точностью, пользуясь методами сопротивления материала;
2) деформации в местах соединений деталей и узлов ТС, являющейся результатом неровности стыковых соединений, зазоров и упругих отжатий в стыках. В связи с этим при механической обработке деталей изменяется взаимное расположение частей станка и всей ТС, что оказывает большое влияние на точность обработки.

При обработке деталей типа «гладкий вал» в патроне без поджатия центром и использования люнета на токарном станке в начальный момент времени, когда резец находится у правого конца вала, вся величина нормальной составляющей усилия резания P_y передается на вал, вызывая его упругую деформацию в направлении «от рабочего», что влечет за собой увеличение расстояния от вершины резца до оси вращения детали на величину $У_{дет}$.

Кроме этого, под действием радиальной составляющей усилия резания P_y возникает крутящий момент, стремящийся развернуть переднюю бабку станка на величину $У_{пбд}$, которая зависит от расстояния между точкой приложения силы и центра поворота заготовки. При этом также происходит сдвиг передней бабки на величину $У_{пбс}$.

В связи со сдвигом в начальный момент диаметр обработанной поверхности фактически оказывается больше установленного при настройке на величину

$$\Delta = 2\,(У_{дет} + У_{инстр} + У_{пбр} + У_{пбс}).$$

При дальнейшей обточке и перемещении резца к передней бабке разворот передней бабки уменьшается и сохраняется только сдвиг.

В некотором сечении А-А (рис. 1) фактический диаметр обработанной детали оказывается равным

$$d_{факт} = d_{настр} + 2\,(У_{дет} + У_{инстр} + У_{пбр} + У_{пбс}).$$

Таким образом, в связи с переменностью упругих отжатий элементов станка и обрабатываемой детали (кроме отжатия суппорта и инструмента $У_{инстр}$) изменяется диаметр детали по длине обработки и ее форме.

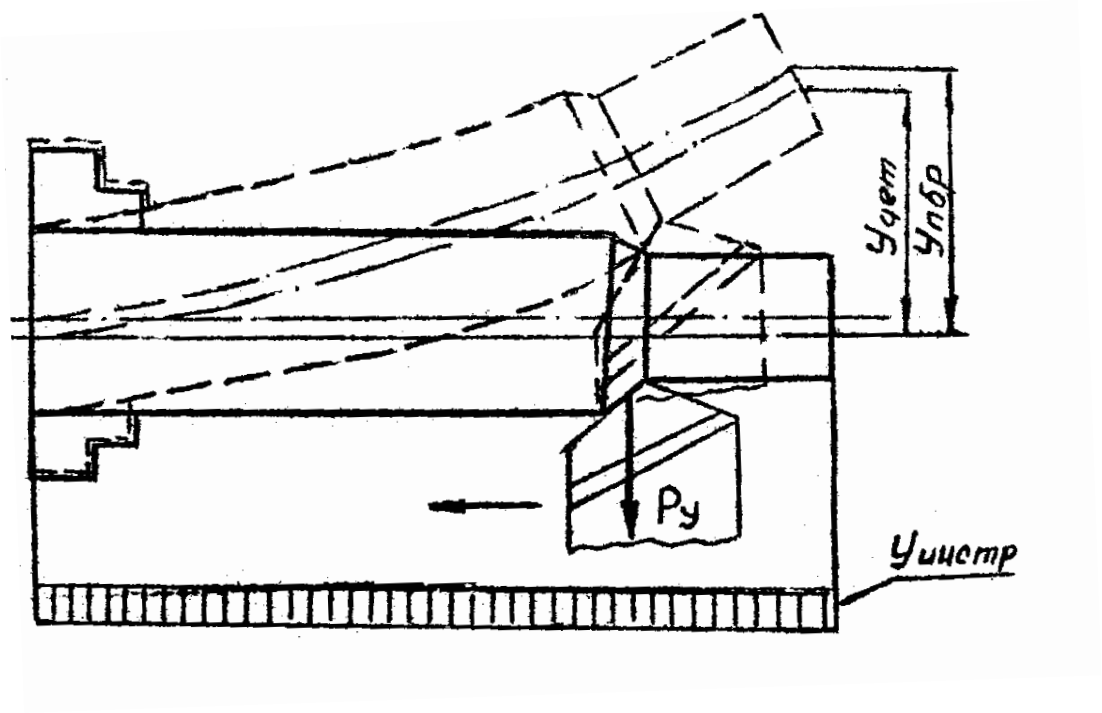

Рис. 1. Фактический диаметр обработанной детали в сечении А-А

Погрешность размера и формы детали в данном случае (рис.1) равняется сумме упругих отжатий в ТС. Величина упругих отжатий У определяется величиной действующих в направлении этих отжатий усилий и жесткостью ТС.

Лабораторная работа 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ МЕТОДОМ

Цель работы: освоить методику определения жесткости станка произ-водственным методом, исследовать жесткость токарного станка 1П611.

Основные понятия

Жесткостью технологической системы называется способность этой системы оказывать сопротивление деформирующих ее сил.

Погрешность обработки от упругих отжатий ТС зависит от жесткости этой системы. А.П. Соколовский предложил жесткость упругой системы выражать отношением составляющей усилия резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, к смещению лезвия инструмента в том же направлении у:

$$i = \frac{P_y}{y}, \text{ кН/м (кг/мм)},$$

где i – жесткость упругой системы, кН/м; P_y – радиальная составляющая усилия резания, кН (кг); y – суммарное смещение лезвия режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности детали, измеренное в направлении нормали к этой поверхности, м (мм).

Перемещение лезвия инструмента относительно обрабатываемой поверхности по нормали к ней выразится уравнением:

$$y = y_{станка} + y_{присп.} + y_{инстр.} + y_{дет.}$$

Податливостью технологической системы называется способность этой системы упруго деформироваться под действием внешних сил:

$$\omega = \frac{y}{P_y} \quad \text{или} \quad \omega = \frac{1}{i}, \quad \text{м/ кН.}$$

Так как сумма деформаций отдельных звеньев упругой системы, приведенных к точке и направлению, принятым при измерении жесткости, равна суммарной деформации системы:

$$y_c = y_1 + y_2 + \ldots + y_n.$$

Суммарная податливость системы равна:

$$\omega c = \omega_1 + \omega_2 + \ldots + \omega_n.$$

Тогда суммарную жесткость системы можно найти из уравнения:

$$\frac{1}{i_c} = \frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} + \ldots + \frac{1}{i_n}.$$

Например, если обработку ведут на токарном станке в центрах, то жесткость станка может быть найдена из соотношения:

$$\frac{1}{i_{ст}} = \frac{1}{i_{суп}} + \frac{1}{4}\left(\frac{1}{i_{пб}} + \frac{1}{i_{зб}}\right).$$

Механизм влияния жесткости и податливости упругой системы на точность размеров и форм обрабатываемых деталей может быть понятен из рис. 2.

Когда настраивается станок, установка резца производится у положения, при котором должна осуществляться обточка заготовки на радиус $r_{теор}$.

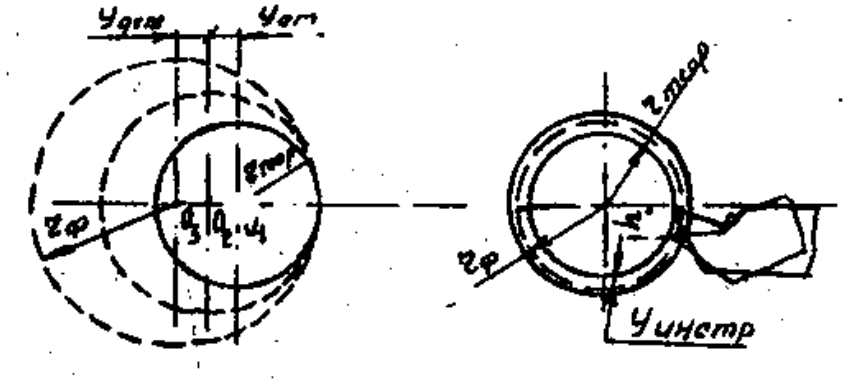

Рис. 2. Влияние жесткости системы на точность обработки

Но при этом в результате упругого отжатия заготовки ось вращения детали смещается из первоначального положения 0_1 в положение 0_3, а это приводит к увеличению фактического расстояния вершины до центра вращения заготовки, то есть возрастает на величину $У_{инст}$:

$$У_{инст} = h^2 / r_{теор},$$

где h – величина отклонения вершины резца, мм; $r_{теор}$ – теоретический радиус детали, мм.

Отвод резца от детали, связанный с его прогибом под действием силы P_y, на величину h слабо влияет на изменение радиуса обработки $r_ф$.

Если величина прогиба резца h составляет несколько десятых долей миллиметра, величина радиального отжатия резца $У_{инст}$ измеряется десятитысячными долями миллиметра и практически может не приниматься во внимание.

Погрешность обработки, связанная с отжатием детали, зависит от метода установки и закрепления детали на станке и может быть подсчитана из соотношений, получаемых из теоретических расчетов сопротивления материалов. Так, при обтачивании гладкого вала в центрах величину его прогиба определяют как прогиб балки, свободно лежащей на двух опорах. Ниабольший прогиб вала будет в его середине и определится:

$$y_{дет} = \frac{P_e L^3}{48EJ},$$

где E – модуль упругости, Па; J – момент инерции детали (для круглого вала), $м^4$:

$$J = 0{,}05D^4,$$

Жесткость вала при этом равна:

$$i = \frac{48EJ}{L^3}.$$

В случае гладкого вала, консольно закрепленного в патроне:

$$y_{дет} = \frac{P_e L^3}{3EJ}.$$

Жесткость

$$i = \frac{3EJ}{L^3}.$$

Таким образом, как следствие упругих отжатий в технологической системе происходит увеличение фактического радиуса обработки до

$$r_{факт}=r_{теор} + y_{ст} + y_{инстр} + y_{дет}.$$

При этом фактическая глубина резания уменьшится до

$$t_{факт} = t_{теор} – (y_{ст} + y_{инстр} + y_{дет}).$$

Диаметр обточки увеличивается по сравнению с его теоретическим настроечным размером на величину

$$\Delta D = 2\ (r_{факт} – r_{теор}) = 2\ (y_{ст} + y_{инстр} + y_{дет}),$$

или

$$\Delta D = 2\ y = 2\ P_y/i.$$

Жесткость станка можно определить статистическим методом, т.е. нагружением узлов неработающего станка, и производственным методом путем испытаний на жесткость работающего станка.

Статистический метод заключается в постепенном нагружении узлов станка силами, соответствующими тем, которые будут в процессе работы станка и производят замеры деформаций.

При производственном методе испытаний на жесткость замеры деформаций производят в процессе обработки заготовки с разной глубиной резания и неизменными остальными режимами резания. Обработку ведут на коротких участках, после чего измеряют высоту участка на обработанной поверхности. Разница величины уступов является следствием различного отжатия заготовки, обусловленного глубиной резания. Чем меньше отжатие детали, тем меньше погрешность и тем выше жесткость станка или жесткость технологической системы (деформацией заготовки при испытании пренебрегают).

Задание

1. Обточить три валика из стали 20 как чисто на длине 10-12 мм.
2. Измерить диаметры заготовок микрометром ($d_{зад}$), ∅ 22 мм.
3. Приточить три валика с глубиной t=3 мм на длине 5-10 мм.
4. Измерить полученный диаметр заготовки микрометром ($d_{факт}$), определить фактическую глубину резания ($t_{факт}$).
5. Подсчитав P_y, найти жесткость станка.

Методика эксперимента

1. При обточке каждого валика на длине 10-12 мм закрепить заготовку в патроне и поджать центром. Для обеспечения жесткости задней бабки пиноль не выдвигать. Резец в этом случае должен иметь

наименьший вылет. Рекомендуется принимать режимы резания:

n = 750 об/мин; S = 0,2 – 0,3 мм/об.

Сдвинув суппорт в сторону, по лимбу установить инструмент на заданную глубину (t=2 мм) и, выключив подачу, проточить валик на l_0 = 5–10 мм.

2. Определить фактическую глубину резания:

$$t_{факт} = \frac{(d_{зад} - d_{факт})}{2}.$$

3. Для каждого валика определить величину упругого отжатия:

$$y = t_{зад} - t_{факт}.$$

Результаты занести в табл. 1.

Таблица 1

№ опыта	n	S	$d_{зад}$	$d_{факт}$	$t_{зад}$	$t_{факт}$	y	$y_{ср}$
1								
2								

Обработка результатов эксперимента

На основании проведенных экспериментов определить жесткость станка по формуле:

$$i = \frac{P_y}{y}, \text{ кг/мм},$$

его податливость:

$$\omega = \frac{1000}{i}, \text{ мм/кг},$$

где $y_{ср}$ – из табл. 1; P_y – по формуле :

$$P_y = C_{Py} t^{Xpy} S^{Ype} V^{npy} K_{Py}; \qquad K_{Py} = \left(\frac{\sigma_в}{75}\right)^{mp}.$$

Значения коэффициентов и показателей степени приведены в табл. П1 и П2. Сравнить полученную расчетом жесткость и податливость станка с приведенными данными по табл. П3.

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Эскиз наладки станка.
3. Данные для выполнения работы.
4. Расчеты, связанные с выполнением работы.
5. Выводы по работе.

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЕФОРМАЦИИ ЗАГОТОВОК ОТ ДЛИНЫ И УСИЛИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

Цель работы: Исследовать зависимость деформации заготовки от усилий резания, возникающих в процессе обработки, и длины заготовок аналитическим и экспериментальным методами.

При обработке деталей на металлорежущих станках силы резания, зажима и другие воздействуют на детали станка, обрабатываемую деталь и режущий инструмент, вследствие чего происходят деформация, изменение положения режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой детали (отжим). В результате этого размеры обрабатываемой детали изменяются, появляются отклонения от правильной геометрической формы конусность (рис. 3а), бочкообразность (рис. 3б), седлообразность (рис. 3в).

а б в

Рис. 3. Отклонения от правильной геометрической формы

Погрешность обработки, связанная с отжатием детали, зависит от метода установки и закрепления детали на станке и может быть подсчитана из соотношений, получаемых из теоретических расчетов сопротивления материалов. Так, при обтачивании гладкого вала в центрах можно определить величину прогиба балки, свободно лежащей на двух опорах. Наибольший прогиб будет в его середине:

$$y_{дет} = \frac{P_e L^3}{48EJ},$$

где E – модуль упругости, Па; J – момент инерции детали (для круглого вала) м^4,

$$J = 0{,}05D^4.$$

Жесткость вала при этом равна:

$$i = \frac{48EJ}{L^3}.$$

В случае гладкого вала, консольно закрепленного в патроне, прогиб

будет равен:

$$y_{дет} = \frac{P_e L^3}{3EJ},$$

и жесткость:

$$i = \frac{3EJ}{L^3}.$$

Задание

1. Обточить четыре валика из стали (марку уточнить у преподавателя) по прилагаемым эскизам (рис. 4,5) с режимами резания, данными в табл. 2.

2. Каждый валик после обточки по наружному диаметру отрезать на длину. Отрезку вести отрезным резцом из стали Р18 на режиме: S – ручная; n – 330 об/мин.

3. Замер валиков вести в сечениях А-А, В-В.

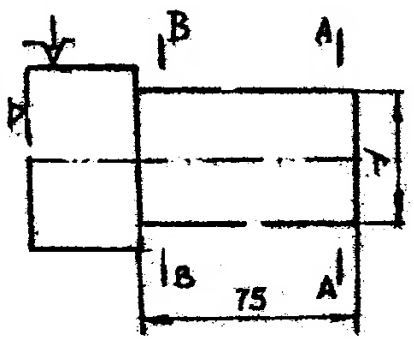

Рис. 5. Валик L=75 мм

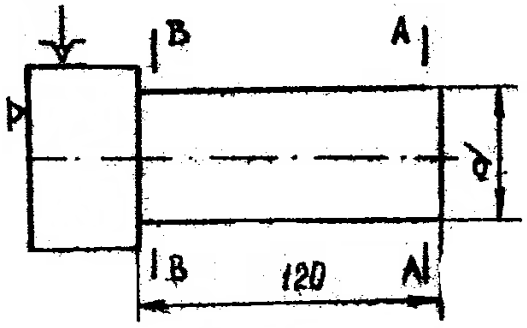

Рис. 6. Валик L=120 мм

Таблица 2

№ вала	Режимы обработки			Диаметр валика, мм	Длина валика, мм
	t, мм	S, мм/об	n, об/мин		
	0,25	0,1	630	15	75
	0,25	0,1	630	15	120
	0,5	0,15	630	15	75
	0,5	0,15	630	15	120

Методика эксперимента

1. Диаметр валика выбирать исходя из соотношения l/d = 5–8. В случае отсутствия заготовки нужного диаметра перед проведением эксперимента каждый валик проточить до диаметра d. Диаметр 15 мм и

длина L = 75 и 120 мм, приведенные в табл. 2 не являются обязательными; необходимы только соотношение l/d = 5 для валиков 1 и 3, и соотношение l/d = 8 для валиков 2 и 4.

2. Определить разность диаметров гладких валиков в сечениях В-В и А-А после обточки их на длину L.

3. Измерение диаметров валиков производить после их охлаждения микрометром или индикатором.

4. Рассматривая заготовку как балку, заделанную одним концом, исключая влияние износа резца, неравномерность припуска, твердости заготовки, неточности заготовки, неточность станка, найти прогиб каждого валика y_p в сечении А-А под действием радиальной составляющей силы резания P_y:

$$Y_p = \frac{P_y L^3}{3EJ}$$

где E – модуль упругости стали: E = 2,1 10^4 кг/мм^2 ; J – момент инерции поперечного сечения заготовки:

$$J = \frac{\pi d^4}{64} \approx 0{,}05 \cdot d^4,$$

где d = 15 мм – диаметр заготовки.

P_y = (0,3-0,4) P_z, кг; P_z - тангенциальная составляющая силы резания.

Для наружного продольного точения

$$P_z = C_{Pz} t^{Xpz} S^{Ypz} V^{nz} K_{Pz}.$$

Здесь C_{pz}, X_{pz}, Y_{pz}, n_z - коэффициенты, зависящие от обрабатываемого материала, вида обработки, материала режущей части, инструмента, его геометрических параметров. Для данной работы C_{pz} = 300; X_{pz} =1; Y_{pz} = 0,75; n_z = 0. K_{pz} – поправочный коэффициент на качество обрабатываемого материала:

$$K_{Pz} = \left(\frac{\sigma}{75}\right)^{0,75}.$$

Результаты расчета занести в табл. 3.

Таблица 3

№ валика	Результаты обработки				Результаты аналитических расчетов			Погрешность опыта, %
	$d_{ср}^{А-А}$	$d_{ср}^{В-В}$	Δd	$Y_{экс}$	P_y	J	Y_p	
1								
2								
3								
4								

Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Исходные данные.
3. Эскизы обработки.
4. Результаты обработки экспериментальных данных.
5. Расчеты, связанные с выполнением работы.
6. Расчет погрешностей опыта.
7. Таблицы с данными обработки.
8. Графики зависимостей деформации от длины валика и деформации от усилий резания.
9. Выводы по работе.

Литература

1. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения / В.С. Корсаков. М.: Высшая школа, 1974. 335 с.

2. Маталин А.А. Технология машиностроения / А.А. Маталин. Л.: Машиностроение, 1985. 496 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица П1

Механические свойства сталей

Марка стали	10	15	20	25	30	35	45	50	60
$\sigma_в$, кг/мм	34	37	41	44	48	52	60	63	65

Таблица П2

Показатели степеней и коэффициенты в формуле силы резания

Обрабатываемый материал	Матер. реж. части ин-та	Коэффициенты и показатели степени				
		C_{py}	X_{py}	$У_{py}$	n_{py}	m_{py}
Сталь конструкционная	Тв. сплав	243	0,9	0,6	-0,3	1,35
	Быстрореж. сталь	125	0,9	0,75	0	2,0

Таблица П3

Жесткость и податливость токарных станков, находящихся в эксплуатации

Высота центров, мм	200	250	300	400	500
i, кг/мм	2000	2500	3000	4000	5000
ω, мм/кг	0,5	0,4	0,33	0,25	0,2
Средняя жесткость узлов $i_{ср}$, кг/мм	4000	5000	6000	8000	10000
Средняя податливость узлов $\omega_{ср}$, мм/кг	0,25	0,2	0,17	0,12	0,1

Примечание. Значения жесткости указаны при работе в центрах и положении резца около бабок.