

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам по курсу «Технология машиностроения»
на тему **«Формирование точности деталей при
механической обработке»**
для студентов специальностей
1-36 01 01 «Технология машиностроения» и
1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного
производства»

Брест 2010

УДК 621.91.002

В методических указаниях приведены основные теоретические сведения по теме «Формирование точности деталей при механической обработке», приведены подробные рекомендации по выполнению лабораторных работ на данную тему, а также требования к содержанию и оформлению отчета. Методические указания предназначены для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» и 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

Составители: Н.С. Ялковский, ст. преподаватель;
В.А. Сокол, ассистент.

Рецензент: А.В. Андросюк, зам. главного конструктора СП
ОАО «Брестгазоаппарат»

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При механической обработке заготовок на предварительно настроенном станке суммарная погрешность обработки определяется по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_y^2 + \Delta_{II}^2 + 3\Delta_{II}^2 + 3\Delta_T^2} + \Sigma\Delta_\Phi, \quad (1)$$

где Δ_y – погрешность размера в результате непостоянства упругих отжятий звеньев

технологической системы (станка, приспособления, инструмента, заготовки);

ε – погрешность установки заготовки в приспособление;

Δ_{II} – погрешность размера, возникающая при настройке станка;

Δ_{II} – погрешность размера в результате износа режущего инструмента;

Δ_T – погрешность размера, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы;

Δ_Φ – суммарная погрешность формы обрабатываемой поверхности.

В указанной формуле учтено, что распределение погрешностей Δ_y , ε и Δ_{II} близко к нормальному (закону Гаусса), распределение Δ_{II} подчиняется закону равной вероятности, а распределение Δ_T мало изучено и также приближенно подчиняется закону равной вероятности.

Рассмотрим составляющую Δ_y суммарной погрешности обработки.

При обработке заготовок на настроенном станке под действием сил резания возникают упругие отжятия технологической системы. Они приводят к увеличению (уменьшению) фактически получаемого размера по сравнению с размером, на который произведена настройка станка.

Под упругим отжатием понимают суммарное смещение лезвия режущего инструмента относительно заготовки по нормали к обрабатываемой поверхности. Его величину можно определить по формуле:

$$y = P_y / j, \quad (2)$$

где P_y – составляющая силы резания, перпендикулярная обрабатываемой поверхности;

j – жесткость технологической системы.

Жесткостью технологической системы (j) называется ее способность сопротивляться появлению упругих отжятий под действием деформирующих сил. Жесткость определяется по формуле:

$$j = P_y / y. \quad (3)$$

Упругое отжатие возникает в результате упругих деформаций деталей технологической системы, а также в результате контактных деформаций в соприкосновениях (стыках) деталей, при этом контактные деформации составляют до 80 % от величины y .

Величина, обратная жесткости, называется податливостью (w). Под податливостью технологической системы понимают способность этой системы упруго деформироваться под действием внешних сил.

$$w = y / P_y, \quad (4)$$

Жесткость станка или технологической системы определяются экспериментально, при этом используются производственный и статический методы.

При обработке заготовок на настроенном станке сила резания P_y непостоянна, поскольку непостоянны глубина резания и твердость материала обрабатываемых заготовок.

Глубина резания непостоянна из-за неточности методов получения заготовок (литья, штамповки, проката), а также вследствие погрешностей обработки на предыдущих операциях технологического процесса. Колебание глубины резания равно допуску на исходную заготовку или предыдущую операцию обработки.

Твердость заготовок также непостоянна, ее колебание достигает 30...40 % от среднего значения.

Поэтому при обработке каждой заготовки из партии упругое отжатие будет иметь конкретное, отличное от других значение. В этом случае можно говорить о погрешности получаемого размера (Δ_y), связанной с непостоянством упругих отжатий технологической системы.

$$\Delta_y = \omega P_y / j, \quad (5)$$

где ωP_y – колебание нормальной составляющей силы резания (разность максимального и минимального значений силы P_y для заготовок из рассматриваемой партии).

Жесткость в этой формуле принимается постоянной величиной.

Отклонение твердости и глубины резания зависит от большого количества разнообразных факторов, поэтому погрешность Δ_y является случайной и приводит к распределению размеров по закону Гаусса.

Погрешность Δ_y можно уменьшить следующими способами:

- 1) уменьшить колебания силы резания ωP_y :
 - а) использовать более точные заготовки или проводить их предварительную обработку;
 - б) стабилизировать твердость заготовок (дополнительная термообработка);
 - в) введение сортировки заготовок на группы по их размерам и поднастройка станка перед обработкой каждой из групп;
- 2) повышение жесткости технологической системы:
 - а) созданием жесткой конструкции и изменением размеров элементов технологической системы.

Жесткость станка в значительной степени определяется его конструкцией, типоразмером и состоянием. Крупные массивные новые станки, как правило, отличаются повышенной жесткостью и обеспечивают высокую точность обработки.

Конструкция и состояние приспособлений и инструментов, в свою очередь, оказывают большое влияние на жесткость технологической системы. Увеличение числа кулачков в зажимных патронах; уменьшение вылетов и увеличение поперечных сечений оправок и державок для крепления заготовки и

инструмента; применение зажимных устройств, создающих их плотное соприкосновение с технологическими базами заготовок; повышение жесткости инструмента; своевременный профилактический ремонт технологической оснастки, устраняющий возникающие зазоры в соединениях, уменьшают податливость технологической системы. Повышение жесткости закрепления обрабатываемой заготовки путем увеличения размеров базовых поверхностей и мест закрепления заготовок, а также применение дополнительных опор и люнетов повышают общую жесткость технологической системы;

б) сокращением общего числа звеньев технологической системы.

Сокращать следует не только число звеньев технологической системы, но и количество отдельных элементов системы (промежуточных приспособлений и державок), а также деталей станков и приспособлений. Уменьшение числа деталей достигается посредством замены нескольких мелких деталей одной сложной и массивной деталью; созданием конструкций станков, у которых корпуса шпиндельных бабок отливаются вместе со станиной, и другими способами;

в) повышением качества механической обработки деталей (особенно поверхностей стыков).

При соприкосновении отдельных поверхностей деталей во время сборки их контакт происходит не по всей поверхности, а только по отдельным выступам, размеры которых определяются шероховатостью и волнистостью поверхностей.

При увеличении внешней нагрузки происходят деформация соприкасающихся выступов и постепенное нарастание фактической поверхности контакта. Величина сближения двух поверхностей стыков при воздействии определенной внешней нагрузки характеризует жесткость стыков. С уменьшением шероховатости и волнистости поверхностей жесткость стыков возрастает.

Жесткость поверхностей стыков зависит не только от их шероховатости и волнистости, но и от механических свойств материалов соприкасающихся деталей и степени упрочнения (наклепа) металла поверхностных слоев;

г) повышением качества сборки.

Жесткость изделий значительно меняется в зависимости от качества сборки, тщательности пригонки сопрягаемых поверхностей, величины зазоров в соединениях и предварительных натягов;

д) правильным режимом эксплуатации станков.

Жесткость элементов технологической системы является переменной величиной, зависящей от ряда факторов (рабочей температуры, количества и состояния смазки, характера приложения нагрузки и др.), связанных с условиями ее эксплуатации.

Для получения наивысшей точности обработки требуются совершенно стабильные условия эксплуатации, при которых жесткость технологической системы остается постоянной и достигает наибольшей величины. С этой целью перед началом точной обработки производят предварительный прогрев всех элементов технологической системы на холостом ходу, обеспечивают непрерывную и равномерную подачу смазки в трущиеся части, постоянство зажимных усилий всех механизмов и узлов системы и др.;

е) систематическим надзором за оборудованием в процессе его эксплуатации с периодической проверкой жесткости всех элементов технологической системы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЁСТКОСТИ ТОКАРНОГО СТАНКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ МЕТОДОМ

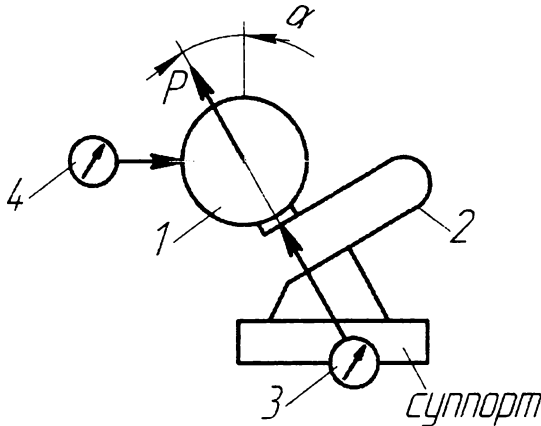
Цель работы: практическое освоение метода определения жёсткости токарного станка путем обработки на нем деталей типа колец разного диаметра.

Оборудование: оправка, набор колец, стойка, индикатор часового типа.

Основные положения

Методы определения жёсткости станков до настоящего времени сохранили эмпирический характер, так как многообразие факторов, влияющих на жёсткость технологической системы, не позволяет установить её расчётным путём.

При определении жёсткости станка **методом статического нагружения** узлы станка нагружают статическими силами (понимаются силы, создаваемые грузами, динамометрами), аналогичными по величине и направлению силам, возникающим в процессе резания, измеряют упругие отжатия индикаторными приборами и рассчитывают жёсткость (рисунок 1).



- 1 – оправка, установленная в шпиндель; 2 – динамометр (протарированная пружина);
- 3 – индикатор, измеряющий деформации пружины;
- 4 – индикатор, измеряющий упругие отжатия;
- $\alpha = \arctg P_z / P_y \approx 25 - 30^\circ$

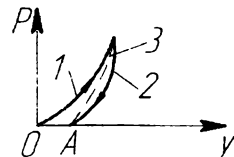
Рисунок 1 – Схема нагружения шпиндельного узла станка при определении жёсткости статическим методом

В формулу для определения жёсткости подставляется P_y , хотя согласно схеме составляющая P_z также оказывает влияние на величину упругих отжатий.

При испытании даётся ряд нагрузок, возрастающих от нуля до максимума, и по ним строится зависимость $y = f(P_y)$. Затем производят разгрузку и строят соответствующую разгрузочную кривую (рисунок 2).

- 1 – кривая первичного нагружения; 2 – кривая разгрузки;
- 3 – кривая вторичного нагружения

Рисунок 2 – График, отображающий нагружение и разгрузку узла при статическом определении жёсткости станка



Кривые 2 и 3 образуют петлю гистерезиса. Её площадь – невосполнимые потери энергии на преодоление сил трения, нагрев деталей и узлов. Отрезок ОА – это величина первоначальных зазоров в узле.

Жёсткость, определённая статическим методом, позволяет составить нормативы жёсткости для станков различных типов и размеров. По этим нормативам определяют качество станков в процессе их изготовления и сборки.

Данные статической жёсткости не учитывают толчки и вибрации, имеющие место при механической обработке. Поэтому при определении погрешности, связанной с непостоянством упругих отжатий, значение статической жёсткости использовать нельзя.

Для точностных расчётов используется значение жёсткости, полученное **производственным методом, который заключается в следующем:** на обрабатываемой поверхности заготовки создаётся уступ, величину которого принимают равной исходной погрешности $\Delta_{исх}$. За один проход инструмента обрабатывают заготовку, после чего на поверхности остаётся уступ, копирующий в уменьшенном виде погрешность исходной заготовки, принимаемый за $\Delta_{обр}$ (рисунок 3). Рассчитывают уточнение ϵ и жёсткость j .

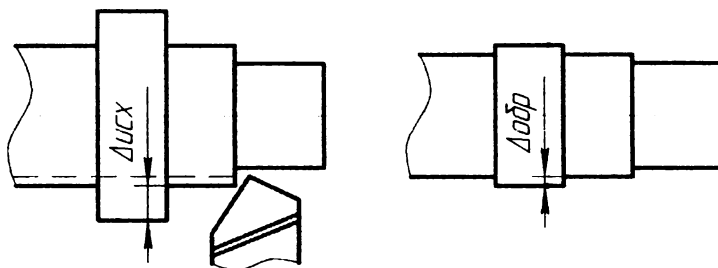


Рисунок 3 – Определение погрешностей $\Delta_{исх}$ и $\Delta_{обр}$

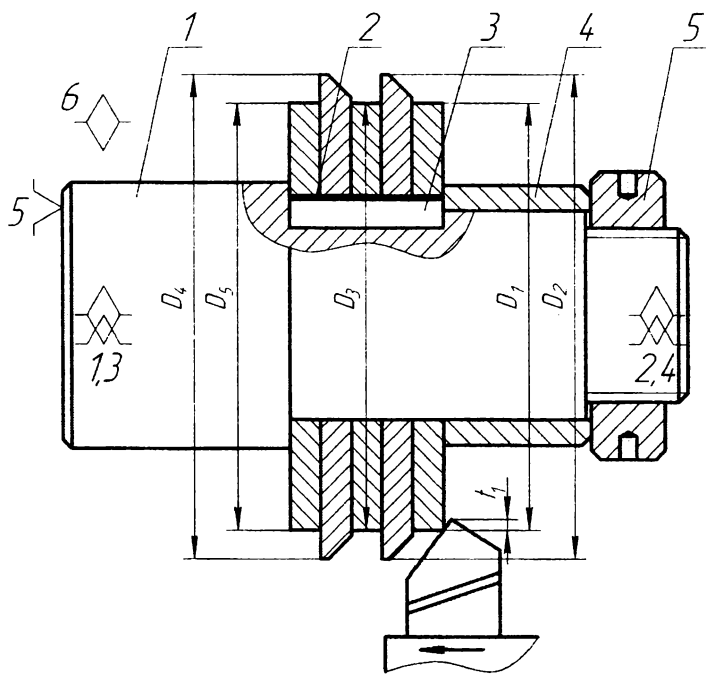
Найденная жёсткость является жёсткостью технологической системы, так как в процессе обработки участвуют все её составляющие. Если нужно определить жёсткость станка, необходимо применить заготовку, инструмент и приспособление очень высокой жёсткости.

Жёсткость станка, определённая производственным методом в 1,2 – 1,4 раза меньше жёсткости станка, определённой статическим методом.

Методические указания

При определении (жёсткости) податливости системы шпиндель – задняя бабка – суппорт токарного станка производственным методом производится обточка комплекта колец различного диаметра, установленных на достаточно жесткой центральной оправке (рисунок 4).

В работе используются кольца диаметром от 160 до 80 мм, шириной 10–15 мм. Разница в диаметрах колец при выполнении обработки 4–6 мм. Материал колец – стали марок 35, 40, 45, а также стали Ст3, Ст4, Ст5.



1 – оправка, 2 – комплект колец, 3 – шпонка, 4 – втулка, 5 – гайка

Рисунок 4 – Схема обработки при определении жесткости

Кольца закрепляются на оправке с посадочным диаметром 60 и длиной 300 мм. Кольцо, обрабатываемое первым, должно иметь наименьший диаметр. Рекомендуется многократное использование одного комплекта колец путем их последовательной переточки на меньшие диаметры.

Обработка комплекта колец производится за один проход установленно-го на один размер инструмента. Глубина при обработке каждого кольца различна, поэтому изменяется усилие резания, а, следовательно, и упругое отжати-е при переходе от каждого обработанного кольца к следующему. Таким обра-зом, диаметры колец после обработки несколько отличаются друг от друга. Произведя измерения диаметров колец до и после обточки, можно определить уточнение для каждой пары колец.

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta_i}{\delta_i}, \quad (6)$$

где Δ_i – разность диаметров соседних колец до обточки;

δ_i – разность диаметров соседних колец после обточки.

Затем определяем среднее значение уточнения.

Измерение диаметральных размеров колец до и после обработки произ-водится микрометром. Результаты измерения заносятся в таблицу 1.

Таблица 1 -- Вычисление уточнения ε

№ кольца	Диаметр кольца, мм			ε
	D_i	$D_i - D_{i-1}$	$d_i - d_{i-1}$	
1				
2				
....				

В приведенной таблице обозначение D относится к размерам колец до обработки, d – размеры после обработки.

Жесткость системы шпиндель – задняя бабка – суппорт определяется по формуле:

$$j = 10 \cdot \lambda \cdot C_p \cdot s^{0.75} \cdot \varepsilon, \text{ Н/мм}, \quad (7)$$

где λ – коэффициент, характеризующий отношение P_i / P_z и зависящий от геометрии реза, режимов резания и других факторов, принимается по приложению 1;

C_p – коэффициент, зависящий от механических свойств обрабатываемого материала, определяется по приложению 2;

s – продольная подача, мм/об.

Податливость технологической системы определяется по формуле:

$$w = 1 / j, \text{ мм/Н}. \quad (8)$$

При использовании одной и той же оправки результаты эксперимента зависят от положения задней бабки на станине станка. Расстояния от корпуса задней бабки до правого торца оправки, установленной в центрах, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Вылет пиноли задней бабки токарного станка

Наибольший диаметр обрабатываемого изделия, мм	100	125	160	200	250	320	400
Расстояние от торца корпуса задней бабки до торца оправки, мм	50	60	70	80	95	115	140

Обработка производится проходным резцом, оснащенным пластиной из твёрдого сплава Т15К6 со следующими геометрическими параметрами: передний угол $\gamma = 0^\circ$; задний угол $\alpha = 10^\circ$; угол наклона режущей кромки $\lambda = 0^\circ$; главный угол в плане $\phi = 45^\circ$; вспомогательный угол в плане $\phi_1 = 10^\circ$; радиус закругления вершины реза $r = 1$ мм.

Режимы резания выбираются с таким расчетом, чтобы после проточки колец достигалась шероховатость с высотой микронеровностей R_z не более 25 мкм. Это необходимо для точного измерения диаметров колец после обработки.

Рекомендуемые режимы резания: $t = 0,2 - 0,3$ мм (на кольце с наименьшим диаметром); $s = 0,15 - 0,35$ мм/об; $v = 60 - 80$ м/мин.

Порядок выполнения работы

1. Осуществить наладку станка по заданной схеме: установить оправку с комплектом колец, проходной резец, установить режим резания.
2. Измерить диаметры колец микрометром. Данные измерений занести в таблицу 1.
3. Проточить комплект колец за один проход с заданным режимом.
4. Измерить диаметры колец после проточки. Данные измерений занести в таблицу 1.
5. Вычислить уточнение для каждой пары колец и среднее уточнение ϵ .
6. Вычислить жесткость и податливость станка.
7. Проанализировать полученные результаты.
8. Составить отчет.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Содержание задания.
3. Эскиз обработки.
4. Режимы обработки и исходные данные для расчета.
5. Результаты измерений и вычисление уточнения (таблица 1).
6. Расчет жесткости и податливости станка.
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. По каким формулам определяется и в каких единицах измеряется жёсткость и податливость технологической системы?
2. Сущность производственного метода определения жёсткости станка.
3. Сущность статического метода определения жёсткости станка.
4. Что называется уточнением?
5. Как определить жёсткость станка, зная уточнение?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЁСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ

Цель работы: практическое освоение методики аналитического и экспериментального определения погрешностей обработки, вызываемых упругими деформациями технологической системы под влиянием силы резания.

Оборудование: гладкий вал, микрометр МК-50 (ГОСТ 6507-78).

Основные положения

Непостоянство твердости и глубины резания имеет место не только для партии заготовок, но и в пределах каждой конкретной заготовки, что вызывает погрешности геометрической формы деталей.

При определенных условиях обработки, например при точении заготовки (вала), установленного в центрах или патроне токарного станка, жесткость технологической системы непостоянна по длине обработки. В этом случае даже при постоянстве твердости и глубины резания по длине обрабатываемой заготовки возникает погрешность формы (отклонение от цилиндричности). Одним из методов уменьшения данной погрешности является использование на практике вспомогательных опор.

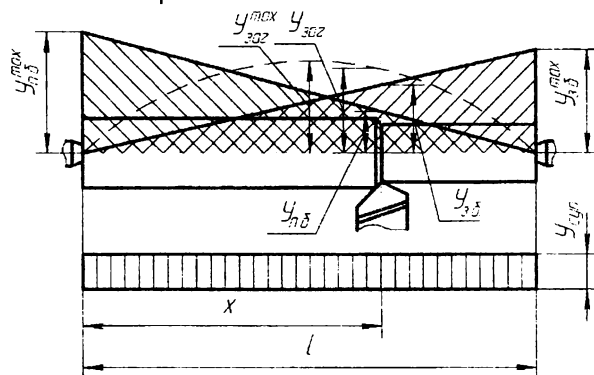


Рисунок 5 -- Упругие отжатия технологической системы

В каждом сечении суммарное упругое отжатие технологической системы будет состоять из 4 слагаемых:

$$y_{\Sigma} = y_{n\delta} + y_{3\delta} + y_{\text{зат}} + y_{\text{суп}} = \frac{P_y \cdot (l-x)}{j_{n\delta} \cdot l} + \frac{P_y \cdot x}{j_{3\delta} \cdot l} + \frac{P_y \cdot x^2 \cdot (l-x)^2}{3EI} + \frac{P_y}{j_{\text{суп}}}, \quad (9)$$

где P_y – радиальная составляющая силы резания;

$j_{n\delta}, j_{3\delta}, j_{\text{суп}}$ – жёсткости передней, задней бабки и суппорта соответственно;

I – момент инерции сечения заготовки;

E – модуль упругости.

Если жёсткость элементов станка очень велика, а жёсткость обрабатываемой заготовки мала (обточка длинного и тонкого вала на массивном станке), то отжаты $y_{п.б.}$ и $y_{з.б.}$ малы, а $y_{заг}$ значительно. В результате этого форма заготовки становится бочкообразной. Наоборот, при обработке массивной заготовки, дающей минимальный прогиб, на станке малой жёсткости ($y_{п.б.}$ и $y_{з.б.}$ значительны) форма заготовки получается седлообразной с наименьшим диаметром в середине заготовки.

Методические указания

Требуется определить погрешность формы в продольном сечении единичной заготовки гладкого вала, установленной в центрах токарного станка, возникающую при обработке вследствие упругих деформаций технологической системы.

В задании на выполнение работы указываются следующие исходные данные: диаметр, длина и характеристика материала заготовки, жесткости или податливости суппорта, передней и задней бабок станка. Рекомендуется принимать размеры заготовки в пределах: диаметр $D = 25 - 50$ мм, длина $L = 250 - 400$ мм. Исходная заготовка не должна иметь ощутимой погрешности формы в продольном сечении.

Чтобы определить опытным путем погрешность формы обтачиваемого в центрах вала, необходимо проточить заданную заготовку и измерить диаметр вала в нескольких сечениях заготовки, находящихся на различных расстояниях от ее левого торца (через $0,1L$).

Условия обработки и геометрия режущего инструмента принимаются те же, что и при определении жесткости технологической системы производственным методом (см. предыдущую работу). Заготовка приводится во вращение посредством поводкового патрона.

Режимы резания, в зависимости от заданных размеров заготовки, рекомендуется принимать в пределах:

скорость резания $v = 60 - 80$ м/мин;

подача $s = 0,15 - 0,25$ мм/об;

глубина резания $t = 1 - 4$ мм.

Отклонения от номинального размера в каждом из одиннадцати сечений вала определяются по формуле:

$$\Delta D_i = D_i - D_0, \text{ мм}, \quad (10)$$

где D_i – диаметр вала в i -том сечении,

D_0 – номинальный диаметр вала (диаметр, который получился бы при обработке в случае отсутствия упругих отжаты).

Погрешность на сторону, характеризующая отклонение образующей цилиндра от прямой линии определяется по формуле

$$y_i = \Delta D_i / 2, \text{ мм}. \quad (11)$$

Аналитический расчет погрешностей формы в продольном сечении выполняется на основе уравнения податливости технологической системы, которое для случая обработки гладкого вала в центрах токарного станка имеет вид.

$$w = w_{\text{с.п}} + w_{\text{п.с}} \cdot \left(\frac{L - x}{L} \right)^2 + w_{\text{с.с}} \cdot \left(\frac{x}{L} \right)^2 + \frac{10^9 \cdot (L - x)^2 \cdot x^2}{3 \cdot E \cdot I \cdot L}, \text{ мкм/Н}, \quad (12)$$

где x – расстояние от торца заготовки у передней бабки до точки приложения силы резания, мм;

E – модуль упругости, принимается равным $2,1 \cdot 10^{11}$ Па;

I – момент инерции сечения вала, мм⁴;

Величина I определяется по формуле:

$$I = \pi \cdot D^4 / 64 \approx 0,05 \cdot D^4, \text{ мм}^4, \quad (13)$$

где D – диаметр заготовки после обработки, мм (принимается среднее значение).

Радиальная составляющая силы резания для данного случая может быть определена по формуле:

$$P_v = 10 \cdot \lambda \cdot C_p \cdot t \cdot s^{0,75}, \text{ Н}. \quad (14)$$

Значения коэффициентов λ и C_p принимаются по данным, приведенным в приложениях 1 и 2.

Упругие деформации в каждом сечении вала:

$$y_i = P_v \cdot w_i, \text{ мкм}, \quad (15)$$

где w_i – податливость технологической системы при положении резца в i -том сечении.

Результаты эксперимента и расчета сводятся в таблицу 3, по данным которой затем строятся графики упругих деформаций, характеризующие погрешность формы обработанной детали в продольном сечении. Оба графика изображаются в одной координатной сетке.

Таблица 3 – Определение упругих деформаций

Расстояние x , мм	Результаты эксперимента		Результат расчёта	
	D_i , мм	y_i , мм	w_i , мкм/Н	y_i , мм
0				
0,1L				
0,2L				
....				

Сопоставляя размеры отклонений, для каждого сечения определяют наибольшее и наименьшее значения упругой деформации. Погрешности, вызываемые остальными причинами, считаются при этом постоянными.

Погрешность формы в продольном сечении обработанной детали определяется как максимальная погрешность по диаметру в различных поперечных сечениях детали. Эта погрешность при обработке единичной заготовки составит:

по результатам эксперимента $\Delta D = D_{\text{max}} - D_{\text{min}}$;

по результатам расчета $\Delta D = 2 \cdot (y_{\text{max}} - y_{\text{min}})$.

В зависимости от соотношения жесткости передней, задней бабок и обрабатываемой заготовки характер полученных графиков может быть различным (рисунок 6). Если преобладающей упругой деформацией при данных условиях обработки является деформация заготовки, то кривая будет иметь четко выраженный горообразный характер (кривая 1). При обработке жесткой заготовки удельное влияние упругости опор, т. е. передней и задней бабок, значительнее, и наибольшие деформации в этом случае имеют место у торцов вала (кривая 4).

Приведенные на рисунке 6 графики построены при обработке гладких валов длиной 300 мм в центрах токарного станка с высотой центров 200 мм и следующими характеристиками:

$$W_{п.б.} = 0,0334 \text{ мкм/Н}; \quad w_{з.б.} = 0,0549 \text{ мкм/Н}; \quad w_{\text{вал}} = 0,0416 \text{ мкм/Н}.$$

При сопоставлении экспериментальной и расчетной кривых погрешностей следует иметь в виду, что измеренная погрешность обработки является суммой нескольких погрешностей: неравномерной по различным сечениям заготовки погрешности от упругой деформации; постоянной при выполнении единичного опыта погрешности настройки инструмента на размер и др.

Несовпадение экспериментальной и расчетной кривых характеризует наличие остальных составляющих суммарной погрешности обработки.

При рассмотрении полученных в работе результатов следует проанализировать степень возможного влияния каждой составляющей суммарной погрешности в условиях выполнения данного опыта, выделить преобладающие погрешности, а также наметить пути увеличения точности обработки.

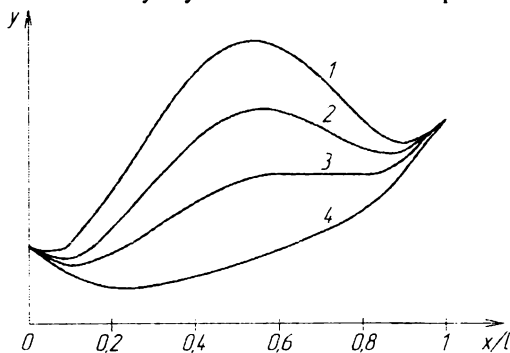


Рисунок 6 – Упругие деформации технологической системы токарного станка при следующих соотношениях l/d заготовки: 1 – 9; 2 – 8,5; 3 – 7,5; 4 – 6.

Порядок выполнения работы

1. Осуществить наладку станка по заданной схеме: установить заготовку в центрах станка, закрепить проходной резец; установить режим резания.
2. Измерить диаметр заготовки в одиннадцати сечениях через каждую 0,1 ее длины. Убедиться, что у заготовки отсутствует погрешность формы в продольном сечении.

3. Установить резец на размер и проточить заготовку по всей длине.
4. Измерить диаметр обработанного вала в тех же одиннадцати сечениях. Результаты измерений занести в таблицу 3.
5. По данным измерений построить график $y = f(x)$ и определить наибольшую погрешность по диаметру, вызываемую упругими деформациями при обработке единичной заготовки.
6. Определить расчетным путем податливость и упругие деформации системы для тех же положений режущего инструмента.
7. По результатам расчетов построить график упругих деформаций $y = f(x)$ и определить наибольшую погрешность по диаметру, вызываемую этими деформациями при обработке единичной заготовки.
8. Проанализировать полученные результаты.
9. Составить отчет.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Содержание задания.
3. Эскиз обработки.
4. Режимы обработки и исходные данные для расчёта.
5. Расчет податливости и упругих деформаций технологической системы в различных сечениях.
6. Результаты измерений погрешностей и расчёта упругих деформаций (таблица 3).
7. Экспериментальный и расчётный графики упругих деформаций.
8. Определение погрешностей формы в продольном сечении на основании экспериментальных и расчётных данных.
9. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Объясните механизм влияния податливости технологической системы на точность формы в продольном сечении при обтачивании вала.
2. Как рассчитать податливость технологической системы при обработке вала в центрах токарного станка?
3. Как рассчитать упругие деформации в различных сечениях обрабатываемого вала?
4. Какими путями можно уменьшить погрешности обработки, вызываемые упругими деформациями технологической системы?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЁСТКОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНО- ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Цель работы: практическое освоение методов определения динамической и статической жёсткости горизонтально-фрезерного станка. Определение предельного значения колебания глубины фрезерования, при котором непрямолинейность поверхности не превышает допустимую.

Оборудование: оправка, стойка, индикатор часового типа.

Методические указания

В задании на выполнение работы указывается прямолинейность поверхности, которую необходимо обеспечить при фрезеровании, а также применяемое оборудование, инструменты, размеры заготовки и режимы резания. Рекомендуется задавать прямолинейность в пределах 16–50 мкм, скорость резания 20–25 м/мин (для фрезы из быстрорежущей стали), подачу 30–40 мм/мин.

Метод определения динамической жесткости основан на фрезеровании ступенчатой заготовки в один проход. При обработке ступенчатой заготовки глубина резания последовательно увеличивается, что вызывает соответствующие изменения силы резания и упругих деформаций фрезерной оправки, опор и стола станка. Величина остаточных ступеней на заготовке после ее фрезерования принимается за упругие отжатия технологической системы.

Радиальная составляющая силы резания при фрезеровании:

$$P_y = 0,5P_z, \text{ Н}, \quad (16)$$

где P_z – окружная сила резания при фрезеровании, Н.

При фрезеровании цилиндрической фрезой:

$$P_y = 682t^{0,86} \cdot s_z^{0,72} \cdot z \cdot B \cdot D^{-0,86}, \text{ Н}, \quad (17)$$

где t – глубина фрезерования, мм;

s_z – подача фрезы, мм/зуб;

B – ширина фрезерования, мм;

D – диаметр фрезы, мм;

z – число зубьев фрезы.

При работе затупившейся фрезой значения P_z следует умножать на коэффициент $K = 1,22\text{--}1,3$.

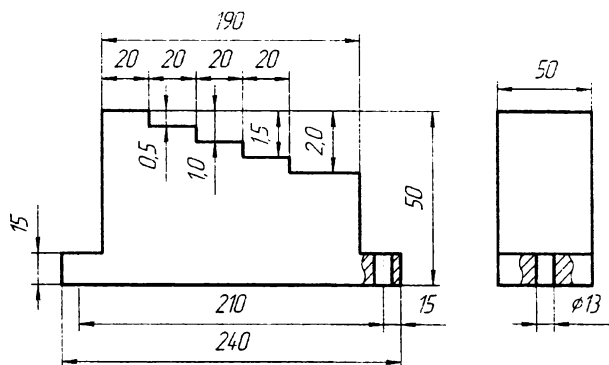
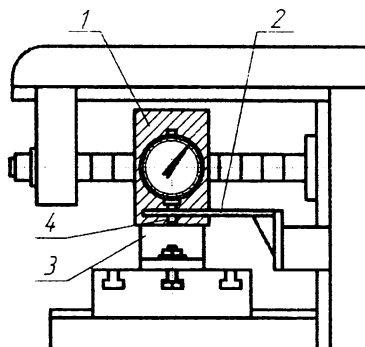


Рисунок 7 – Заготовка

На заготовке (рисунок 7) имеются четыре ступени высотой 0,5 мм каждая. При фрезеровании заготовки в направлении от первой ступени к последней соответственно увеличивается глубина фрезерования от 0,5 до 2,0 мм. Заготовка крепится на столе станка посредством двух прихватов. Наладка станка приведена на рисунке 8.

1 – фреза; 2 – рычаг; 3 – заготовка;
4 – индикатор часового типа

Рисунок 8 – Наладка станка.



Подача на зуб фрезы:

$$s_z = \frac{s_m}{z \cdot n}, \text{ мм/зуб.} \quad (18)$$

Определив для каждой ступени обрабатываемой заготовки усилие резания и упругое отжатие, можно подсчитать жёсткость технологической системы по формуле 3. Результаты измерений и расчета следует свести в таблицу 4.

Таблица 4 – Определение жёсткости и прогиба оправки горизонтально-фрезерного станка

t, мм	Р _у , Н	Прогиб оправки u _{ст} , мм	Высота остаточных ступеней u _i , мм		Среднее значение u _{ср} , мм	Жёсткость j _i , Н/мм
			Номер измерения			
			1	2		
0,5						
1,0						
1,5						
2,0						

Средняя жёсткость j_{л.ср}

Наименее жестким звеном горизонтально-фрезерного станка при работе цилиндрической фрезой является оправка. Прогиб оправки оказывает доминирующее влияние на погрешность обработки.

Статический прогиб оправки (рисунок 9) может быть определен расчетным способом:

$$y_{\text{ст}} = \frac{10^6 P_y l_0^3}{192EI}, \text{ мм}, \quad (19)$$

где l_0 – расстояние между опорами, мм;

E – модуль продольной упругости, Па;

I – момент инерции, мм⁴.

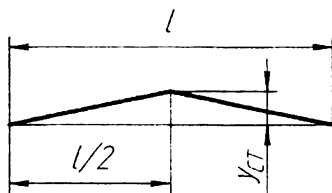


Рисунок 9 – Схема для определения прогиба оправки

Для применяемой в лабораторной работе оправки диаметром 27 мм момент инерции $I = 26087 \text{ мм}^4$. Модуль упругости можно принять равным $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$. Так как значения указанных параметров в условиях выполнения работы не меняются, то формулу для определения статического прогиба оправки можно привести к виду.

$$y_{\text{ст}} = 10^{-12} P_y l_0^3, \text{ мм}, \quad (20)$$

Значения статического прогиба оправки, рассчитанные по этой формуле, для сравнения также заносятся в таблицу 4. Сопоставление их с упругими деформациями полученными экспериментально, позволяет оценить роль оправки как наименее жесткого звена при обработке деталей на горизонтально-фрезерном станке.

Определение допустимой амплитуды колебания глубины резания, при которой выдерживается заданная непрямолинейность поверхности, производится путем ее сопоставления с упругой деформацией $y_{\text{ср}}$, полученной опытным путем для каждой ступени фрезерования, т. е. для соответствующих глубин резания.

В качестве допустимой амплитуды колебания глубины резания принимается наибольшая глубина фрезерования, при которой упругая деформация $y_{\text{ср}}$ меньше заданного значения непрямолинейности. Например, если при глубине фрезерования 1,0; 1,5 и 2,0 мм упругие деформации $y_{\text{ср}}$ оказались соответственно равными 0,02; 0,04 и 0,05 мм, то для заданной допустимой непрямолинейности 0,045 мм искомая допустимая амплитуда колебания глубины фрезерования составит 1,5 мм.

Порядок выполнения работы

1. Установить заготовку на столе станка и фрезу на оправке.
2. Установить заданные режимы фрезерования на станке.
3. Настроить станок на выдерживаемый размер по высоте нижней площадки заготовки.
4. Фрезеровать заготовку на проход.
5. Очистить обработанную поверхность заготовки.
6. Измерить с помощью индикатора высоту остаточных ступеней на заготовке.
7. Рассчитать усилие R_y при обработке каждой ступени заготовки. Результаты измерений (п. 6) и расчета занести в таблицу 4.
8. Определить динамическую жесткость технологической системы.
9. Рассчитать статическую деформацию оправки.
10. Определить максимальную амплитуду колебания глубины резания, при которой выдерживается заданная непрямолинейность поверхности.
11. Проанализировать полученные результаты.
12. Составить отчет.

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Содержание задания, необходимая оснастка, режимы резания.
3. Эскиз обрабатываемой заготовки.
4. Определение динамической жесткости и прогиба оправки станка (таблица 4).
5. Расчет статической жесткости.
6. Определение допустимой амплитуды колебания глубины фрезерования.
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. От каких факторов зависит прогиб оправки?
2. Каким образом жесткость влияет на точность получаемых размеров?
3. Какими путями можно увеличить жесткость технологической системы?
4. Как определить величину колебания глубины резания для обеспечения заданного допуска прямолинейности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НА ПЛОСКОШЛИФОВАЛЬНОМ СТАНКЕ

Цель работы: практическое освоение расчётно-аналитического и экспериментального методов определения погрешностей обработки при шлифовании плоских поверхностей деталей машин.

Оборудование: набор пластин, стойка, индикатор часового типа.

Основные положения

На точность обработки на станках оказывает влияние большое количество факторов, приводящих к возникновению как случайных, так и систематических погрешностей. В этом случае рассеивание размеров происходит по композиционным законам.

В качестве примера можно рассмотреть сочетание воздействия случайных погрешностей (закон Гаусса) и переменной систематической погрешности (как правило, износ инструмента).

Распределение величины l в этом случае будет подчиняться функции Бородачёва $a(t)$, которую можно рассматривать как результат смещения во времени кривой Гаусса со средним квадратическим отклонением σ на величину $2L$ закона равной вероятности.

Уравнение кривой имеет вид:

$$a(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(l_i - a_0 - c(t))^2}{2\sigma^2}}, \quad (21)$$

где a_0 – среднее значение размера в начальный момент времени;

$c(t)$ – сумма неслучайных погрешностей в момент времени t ;

l_i – размер.

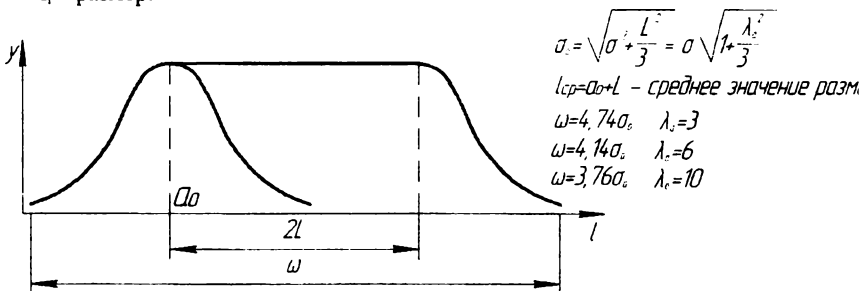


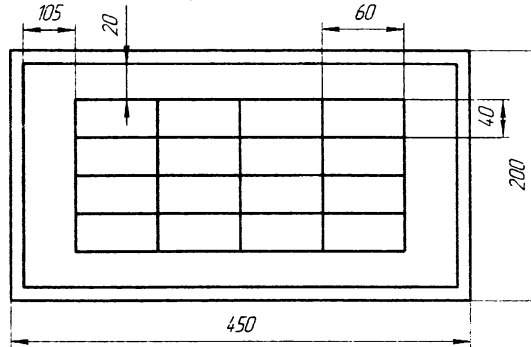
Рисунок 10 – Форма кривой распределения

Форма кривой распределения определяется параметром $\lambda_a = L/\sigma$. Чем L больше, тем кривая ближе к прямоугольнику, т.е. закону равной вероятности.

Чем L меньше, тем кривая ближе к закону Гаусса.

Методические указания

Для выполнения работы студентам выдается комплект стальных заготовок (16 штук) для обработки на шлифовальном станке с указанием режимов резания. Схема расположения заготовок на электромагнитной плите и их размеры приведены на рисунке 11. Рекомендуется назначать режим шлифования в следующих пределах: глубина шлифования 0,02–0,04 мм, скорость продольного перемещения стола 8–12 м/мин, поперечная подача за каждый ход стола 1–4 мм.



1 – электромагнитный стол; 2 – заготовка

Рисунок 11 – Схема расположения заготовок на электромагнитной плите плоскошлифовального станка

Поле рассеивания размеров деталей при обработке на шлифовальном станке:

$$W = 6S + \Delta_{\text{см}}, \text{ мкм}, \quad (22)$$

где S – среднее квадратическое отклонение деталей, зависящее от случайных факторов;

$\Delta_{\text{см}}$ – смещение уровня настройки станка вследствие влияния систематических факторов.

Смещение уровня настройки можно приравнять к погрешности, обусловленной износом шлифовального круга:

$$\Delta_{\text{см}} = \Delta_{\text{и}} = \frac{I_o l}{1000}, \text{ мкм}, \quad (23)$$

где I_o – относительный износ шлифовального круга, который можно принять равным 0,03–0,04 мкм/км;

l – путь резания, м:

$$l = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n_k \cdot B \cdot n}{1000 \cdot n_c \cdot s_n}, \text{ м}, \quad (24)$$

где D_k – диаметр шлифовального круга, мм;

n_k – частота вращения шлифовального круга, мин^{-1} ;

B – ширина заготовки, мм;

n – количество рядов деталей, установленных на плите, шт.;

n_c – число двойных ходов стола, дв. х./мин;

s_n – подача круга на один двойной ход стола, мм/дв. х.

Суммарная погрешность обработки партии пластин на плоскошлифовальном станке W , определяемая опытно-статистическим методом, представляет собой сумму величин: поля рассеивания и смещения настройки вследствие износа шлифовального круга.

При нормальном распределении фактическое поле рассеивания размеров обработанных на станке деталей:

$$W_{\phi} = 6S_{cp}, \text{ мкм}, \quad (25)$$

где S_{cp} – среднее квадратическое отклонение в выборках.

$$S_{cp} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}, \text{ мкм}, \quad (26)$$

Фактическое смещение центра настройки станка на размер:

$$\Delta_{cm} = \bar{x}_x - \bar{x}_1, \text{ мкм}, \quad (27)$$

где $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_x$ – центры группирования погрешностей контролируемого параметра, определяемые по мгновенным выборкам соответственно в начальный (1-я выборка) и конечный моменты обработки партии деталей (последняя выборка).

Сравнение значений теоретического Δ_n и практического Δ_{cm} смещений уровня настройки производится по формуле:

$$p = \frac{\Delta_n}{\Delta_{cm}} \cdot 100, \%. \quad (28)$$

Пример построения диаграммы точности обработки приведём на рисунке 12.

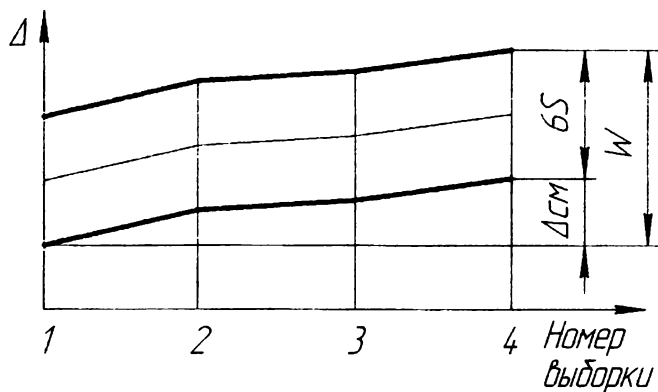


Рисунок 12 – Диаграмма точности обработки

Порядок выполнения работы

1. Определить погрешность обработки, связанную с износом шлифовального круга, расчетно-аналитическим методом:

а) рассчитать путь резания, необходимый для обработки шестнадцати пластин;

б) рассчитать погрешность обработки, обусловленную износом шлифовального круга.

2. Определить суммарную погрешность обработки опытно-статистическим методом:

а) установить на электромагнитной плите станка шестнадцать пластин;

б) настроить плоскошлифовальный станок на заданный размер по первой заготовке;

в) прошлифовать в один проход все детали на заданных режимах;

г) измерить обработанные детали по рядам: 1-й ряд – 1-я выборка; 2-й ряд – 2-я выборка и т. д.;

д) определить в каждой выборке $\bar{x}$, $S_{\text{ср}}$;

е) рассчитать поле рассеивания размеров от случайных факторов;

ж) рассчитать смещение уровня настройки;

з) определить суммарную погрешность обработки.

3. Определить соотношение между теоретическим и экспериментальным смещениями уровня настройки.

4. Построить диаграмму точности обработки.

5. Проанализировать полученные результаты.

6. Составить отчет.

Содержание отчета

1. Название работы.

2. Содержание задания и оснащение.

3. Эскиз установки заготовок на станке.

4. Режимы обработки.

5. Определение погрешности обработки расчетно-аналитическим методом.

6. Результаты измерения фактической точности обработки на плоскошлифовальном станке.

7. Определение W и $\bar{x}$ в каждой выборке.

8. Определение фактического смещения центра настройки станка.

9. Сравнение расчетных и экспериментальных данных.

10. Диаграмма точности обработки.

11. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Как определить фактическое поле рассеивания размеров при распределении их по закону Гаусса?
2. Как строится диаграмма точности?
3. В результате действия каких погрешностей происходит смещение центра настройки станка на размер?
4. В результате действия каких погрешностей возникает непостоянство размеров в каждой выборке (ряду) заготовок?

Приложение 1. Значения коэффициента λ

Скорость резания v , м/мин	Глубина резания t , мм	Подача s , мм/об			
		0,15	0,20	0,26	0,34
60	0,25	0,78	0,74	0,72	0,69
	0,5	0,73	0,69	0,67	0,64
	1,0	0,68	0,65	0,63	0,60
	1,5	0,65	0,62	0,60	0,58
	2,0	0,63	0,60	0,58	0,56
	3,0	0,61	0,58	0,56	0,54
	4,0	0,59	0,56	0,54	0,52
80	0,25	0,75	0,71	0,69	0,66
	0,5	0,70	0,66	0,64	0,61
	1,0	0,65	0,62	0,60	0,57
	1,5	0,62	0,59	0,57	0,55
	2,0	0,60	0,57	0,55	0,53
	3,0	0,58	0,56	0,54	0,52
	4,0	0,57	0,54	0,52	0,50
100	0,25	0,72	0,69	0,57	0,64
	0,5	0,68	0,64	0,62	0,59
	1,0	0,63	0,60	0,58	0,56
	1,5	0,60	0,57	0,56	0,54
	2,0	0,58	0,56	0,54	0,52
	3,0	0,57	0,54	0,52	0,50
	4,0	0,55	0,52	0,50	0,48

Приложение 2. Значение коэффициента C_p

Предел прочности σ_B , МПа	Твёрдость		C_p
	HB	HRB	
350	103	55,2	144
450	133	73,5	155
550	163	83,5	165
650	190	90,6	180
750	220	96,6	193

Учебное издание

Составители:

Николай Степанович Ялковский

Виктор Александрович Сокол

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К лабораторным работам по курсу «Технология машиностроения»

на тему «**Формирование точности деталей при**

механической обработке»

для студентов специальностей

1-36 01 01 «Технология машиностроения» и

1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства»

Ответственный за выпуск: В.А. Сокол

Редактор: Т.В. Строкач

Компьютерная верстка: Е.А. Боровикова

Корректор: Е.В. Никитчик

Подписано к печати 30.04.2010 г. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага «Снегурочка».

Усл. п. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,75. Тираж 50 экз. Заказ № 514. Отпечатано

на ризографе учреждения образования

«Брестский государственный технический университет».

224017 г. Брест, ул. Московская, 267.