

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Регистр.№368 от 15.12.2009г.

УТВЕРЖДАЮ

Декан МСФ

Доцент к. т. н.

_____ Р.И. Дедюх
« ____ » _____ 2009 г.

ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ФОРМЫ ВАЛА

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для студентов, обучающихся по направлению 150900
«Технология, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств» специальности 151002
«Металлообрабатывающие станки и комплексы»

Составители **А.Н. Гаврилин, Б.Б. Мойзес, А.И. Черкасов**

Издательство
Томского политехнического университета
2009

УДК 539.37(076.5)

ББК 22.251+30.121я73

Влияние упругих деформаций технологической системы на точность формы вала: методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов, обучающихся по направлению 150900 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», специальности 151002 «Металлообрабатывающие станки и комплексы» / сост. А.Н. Гаврилин, А.И. Черкасов. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 12 с.

УДК 539.37(076.5)

ББК 22.251+30.121я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
автоматизации и роботизации в машиностроении МСФ
«__»_____ 2009 г.

Зав. кафедрой АРМ
кандидат технических наук

_____ *С.Е. Буханченко*

Председатель учебно-методической
комиссии

_____ *М.Г. Гольдшмидт*

Рецензент

к.т.н, доцент каф. АРМ *А.Б. Пушкаренко*

© Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б., Черкасов А.И.,
составление 2009

© Составление. Томский политехнический
университет, 2009

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания подготовлены для выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Надежность и диагностика технологических систем», «Исследование и испытание станочных систем и комплексов промышленного оборудования» V курса с целью изучения способов диагностики и «Металлорежущие станки» для студентов IV курса с целью изучения причин возникновения погрешностей обработки.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

На станке 1К62 подготовить образцы для проведения опытов.

Проверить влияние геометрических погрешностей станка на погрешности подготовленных образцов по форме.

Произвести обработку образцов на заданных режимах резания.

Измерить форму и размеры обработанного образца (вала).

Рассчитать теоретическую величину изменения формы образцов для заданных схем установки, проанализировать причины расхождения теоретических и опытных результатов.

Определить экспериментальную и теоретическую погрешности обработки.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Крепление вала в центрах

Установленный в центрах вал можно рассматривать как балку, шарнирно закрепленную своими концами на упругих опорах [1], рис. 1.

На точность обработки вала в центрах, наибольшее влияние оказывают следующие факторы:

1. Изгиб оси вала y_1 под действием радиальной составляющей силы резания P_y .
2. Смещение линии центров y_2 под действием силы P_y .
3. Отжатие суппорта y_3 , вызванное действием силы P_y .
4. Смещение линии центров y_2 , под действием момента M_x .
5. Изгиб оси вала y_5 под действием момента M_x .
6. Смещение оси вала y_6 , вызванное продольными деформациями от P_x, P_z (см. рис. 1).

Таким образом, общая величина деформации вала рассматриваемом сечении может быть представлена

$$y = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6. \quad (1)$$

Деформациями в направлении главной силы резания P_z можно пренебречь в связи с тем, что их влияние на точность обработки при точении в центрах незначительно.

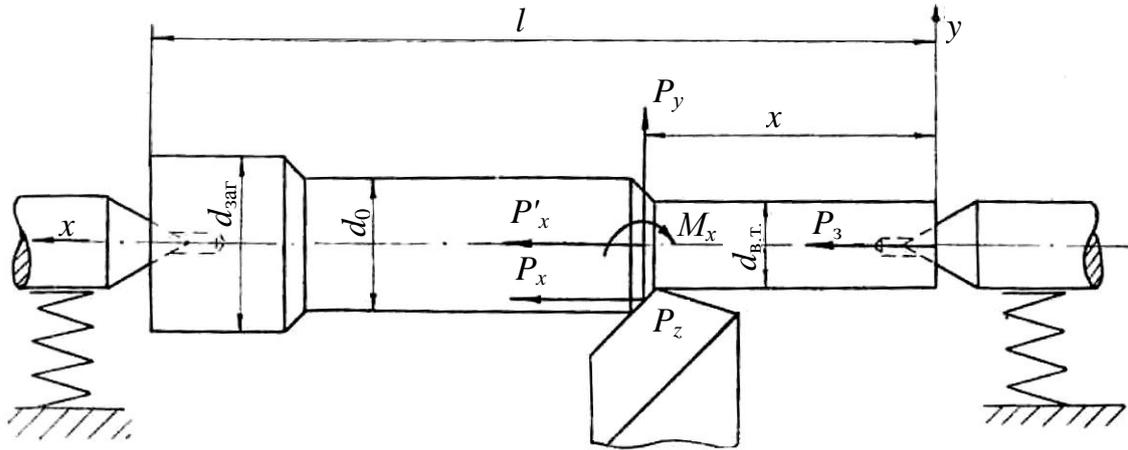


Рис. 1. Схема крепления вала в центрах

Влияние смещения линии центров под действием M_x существенно сказывается лишь для валов, диаметр которых $d < 20$ мм, и $\frac{1}{d} \geq 15$. В

рассматриваемой лабораторной работе $\frac{1}{d} \leq 10$ и $d > 20$ мм, поэтому этой величиной можно пренебречь. Смещение оси вала, вызванное осевым отжатием бабок (так называемое «сползание» вала с заднего центра) под действием силы P_x , имеет место в случае, если усилие предварительной затяжки заднего центра P_3 меньше силы P_x .

Во избежание ослабления заднего центра обеспечивают его предварительную затяжку на величину P_3 , которая может быть принята равной силе подачи [2], т. е.

$$P_3 = P_x. \quad (2)$$

Величина P_x рассчитывается по нормативам [3], а P_3 измеряется с помощью осевого динамометра, установленного на станке 1К62.

При отсутствии вибраций, в процессе обработки нежестких валов с большими усилиями резания остальными погрешностями можно пренебречь. Влияние неточностей станка, колебания неоднородности материала, перераспределения остаточных напряжений, погрешностей установки заготовки, установки и износа резца, влияние температурных деформаций технологической системы учитываются при построении графиков теоретической и фактической формы вала.

Таким образом, используя принцип независимого Действия сил, можно окончательно представить общую Деформацию вала в рассматриваемом сечении в виде

$$y = y_1 + y_2 + y_3. \quad (3)$$

Принимая узлы станка абсолютно жесткими, находим из рис. 2

$$y_1 = P_y \frac{x^2(l-x)^2}{3EJ \cdot l} = \frac{P_y}{j_d} = P_y \cdot \varepsilon_1,$$

где $\varepsilon_1 = \frac{1}{j_d}$ – податливость вала в рассматриваемом сечении, т. е. прогиб его, вызванный действием силы P равной 1 кг; l – общая длина вала (мм); E – модуль 1 рода, для стальных валов $E = 20\,000$ кг/мм²; J – полярный момент инерции $J \approx 0,05d_0^4$ мм⁴; d_0 – диаметр вала перед проведением опыта; x – расстояние по оси от конца вала, опирающегося на задний центр до рассматриваемого сечения в мм.

Сила резания при проведении опыта не является постоянной, т. к. глубина резания меняется.

Однако, учитывая, что изменение глубины резания незначительно, пренебрежём изменением силы резания. Расчет ее следует производить по наибольшей величине глубины резания.

Рассматривая поведение вала, обрабатываемого на упругих (отжимающихся) центрах, считают, что вал, абсолютно жесткий и под действием силы P_y не изгибается. Исключают также отжатие резца, считая суппорт неподатливым.

В этом случае упругие отжатия бабок вызывают непрерывное изменение положения оси вала, что ведет к образованию корсетности. Графическое определение величины корсетности, проведенное В. Г. Подпоркиным [1], стр. 76–79, показывает, что эта корсетность может быть описана уравнением простой параболы

$$y_2 = P_y \left[\left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \cdot \frac{1}{j_{зб}} + \left(\frac{x}{l}\right)^2 \frac{1}{j_{пб}} \right] = P_y \cdot \varepsilon_2 = \frac{P_y}{j_6}, \quad (4)$$

где $\varepsilon_2 = \frac{1}{j_6}$ – суммарная податливость технологической системы передняя бабка – изделие – задняя бабка в точке приложения силы.

Как показывают специально проведенные исследования, податливость суппорта, в случае его надлежащей сборки и исправного состояния, для каждого станка может быть принята постоянной.

В этом случае

$$y_3 = P_y \cdot \frac{1}{j_c} = P_y \cdot \varepsilon_3; \quad (5)$$

$\varepsilon_3 = \frac{1}{j_c}$ – общая податливость суппорта.

Величины податливости узлов станка следует взять из работы №4 «Определение жесткости станка производственным методом».

Подставляя найденные значения в выражение (3) имеем

$$y = P_y \left\{ \frac{x^2(l-x)^2}{3EI} + \left[\left(1 + \frac{x}{l}\right)^2 \cdot \frac{1}{J_{зб}} + \left(\frac{x}{l}\right)^2 \cdot \frac{1}{J_{пб}} \right] + \frac{1}{J_c} \right\}. \quad (6)$$

Для некоторого упрощения формулы (6) обозначим

$$\frac{l}{d_0} = k \quad \text{и} \quad \frac{x}{l} = i. \quad (7)$$

Анализ уравнения (6) показывает, что прогибы и податливость системы имеют значительные изменения в различных точках приложения нагрузки. Следует заметить также, что податливость системы, как и величина прогибов, оказывают существенное влияние на возникновение вибраций. С уменьшением податливости (увеличением жесткости) виброустойчивость системы растет.

Величину теоретической погрешности диаметра вала в рассматриваемом сечении можно выразить как

$$\Delta_T = d_{в.т.} - d_T = 2y, \quad (8)$$

Δ_T – величина теоретической погрешности в рассматриваемом сечении; $d_{в.т.}$ – диаметр вала после обработки с учетом величины прогиба, рассчитанного теоретически; d_T – заданный диаметр вала; y – общая теоретическая величина деформации в рассматриваемой точке.

$$d_{в.т.} = d_T + 2y,$$

Величину действительной погрешности диаметра вала в рассматриваемом сечении можно определить из выражения

$$\Delta_э = d_{в.э.} - d_T = 2y_э, \quad (9)$$

$\Delta_э$ – экспериментальная погрешность в данном сечении; $d_{в.э.}$ – экспериментально полученный после обработки диаметр вала – $d_{в.э.} = d_T + 2y_э$; d_T – заданный диаметр вала; $y_э$ – экспериментально полученный прогиб вала.

Максимальная теоретическая погрешность может быть представлена как

$$\Delta_{T \max} = 2(y_{\max} - y_{\min}), \quad (10)$$

y_{\max} – максимальный прогиб вала; y_{\min} – минимальный прогиб вала.

Для определения y_{\max} и y_{\min} определим $\frac{dy}{di}$ и $\frac{d^2y}{di^2}$ из выражения (7)

$$\frac{dy}{di} = 2P_y \left[\frac{k^3}{3d_0} (2i^3 - 3i^2 + i) + (i-1) \cdot \varepsilon_{3\delta} + i\varepsilon_{пб} \right]. \quad (11)$$

$$\frac{d^2y}{di^2} = 2P_y \left[\frac{k^3}{3d_0} (6i^2 - 6i + 1) + \varepsilon_{3\delta} + i\varepsilon_{пб} \right]. \quad (12)$$

Приравнивая первую производную нулю, имеем

$$\frac{k^3}{3d_0} (2i^3 - 3i^2 + i) + \varepsilon_{3\delta} (i-1) + i\varepsilon_{пб} = 0. \quad (13)$$

Подставляя в уравнение (13) частные значения $k, d, l, \varepsilon_{3\delta}, \varepsilon_{пб}$, можно определить положение сечений, прогибы в которых имеют наибольшие и наименьшие значения.

Как известно, для найденного значения i

при $\frac{d^2y}{di^2} > 0 \quad y = y_{\min}, \quad (14)$

при $\frac{d^2y}{di^2} < 0 \quad y = y_{\max}.$

2. Крепление вала в патроне

В случае крепления вала в патроне (рис. 2), суммарная деформация системы СПИД может быть выражена суммой четырех величин

$$y = y_1 + y_2 + y_3 + y_4, \quad (15)$$

где y_1 – прогиб вала; y_2 – угловое смещение вала, обусловленное поворотом кулачков (опоры) за счет зазоров и упругих деформаций; y_3 – отжатие кулачков; y_4 – отжатие суппорта.

Используя принцип независимого действия сил, рассмотрим каждую составляющую уравнения (15).

Полагая с некоторым приближением, что изгиба вала в кулачках патрона не происходит, принимаем $l_0 = l$, тогда в соответствии с рис. 2

$$y_1 = \frac{P_y (l_0 - x)^3}{3EJ}. \quad (16)$$

Принимая $J = 0,05d_0^4$ и $E = 20\,000$ кг/мм² (для стали), где d_0 – диаметр образца до проведения опыта, имеем

$$y_1 = \frac{P_y(l_0 - x)^3}{3000d_0^4} \text{ мм.} \quad (17)$$

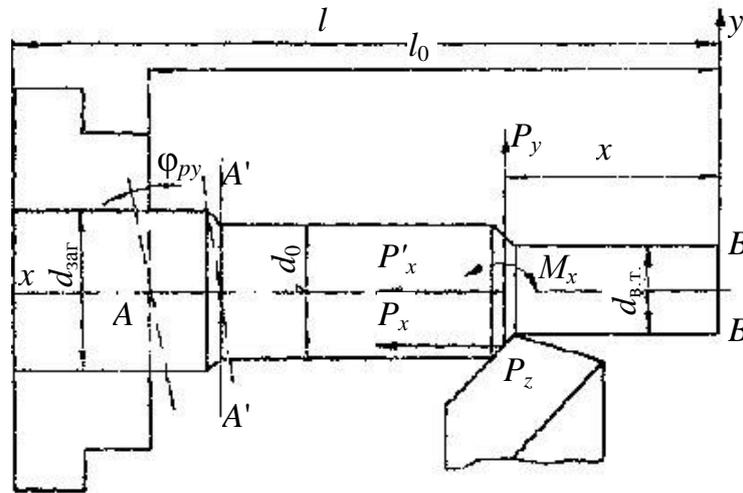


Рис. 2. Схема крепления вала в патроне

Под действием силы P_y , приложенной к валу на расстоянии $(l_0 - x)$ от кулачков патрона, кулачки повернутся на угол (рис. 2) вокруг точки поворота A , причем рассматриваемое сечение вала переместится на величину

$$y_2 = tg\varphi_{py}(l_0 - x), \quad (18)$$

где l_0 – длина вала от конца (сечение BB) до кулачков патрона (мм); φ_{py} – угол поворота опорного сечения в радианах.

Так как φ_{py} пропорционально моменту, вызывающему поворот опорного сечения, то

$$\varphi_{py} = Mp_y \cdot \varepsilon_{ky} = P_y(l_0 - x)\varepsilon_{ky}, \quad (19)$$

где ε_{ky} – угловая податливость, т. е. такой угол, на который повернутся кулачки под действием момента, равного единице (рад/кг·мм).

Величина ε_{ky} характеризует суммарную угловую податливость всех деталей стыковых поверхностей, имеющих в соединении патрон-шпиндель. Она зависит от жесткости всех деталей патрона, качества их соединительных поверхностей, наличия зазоров, способа крепления патрона на шпинделе и т. д. ε_{ky} – определяется экспериментально по методике, приведенной в [1].

Для данного станка 1К62 $\varepsilon_{ky} = 11,5 \cdot 10^{-8}$ рад/кг·мм.

Таким образом,

$$y_2 = tg(P_y(l_0 - x) \cdot \varepsilon_{ky}) \cdot l_0 - x, \text{ мм} \quad (20)$$

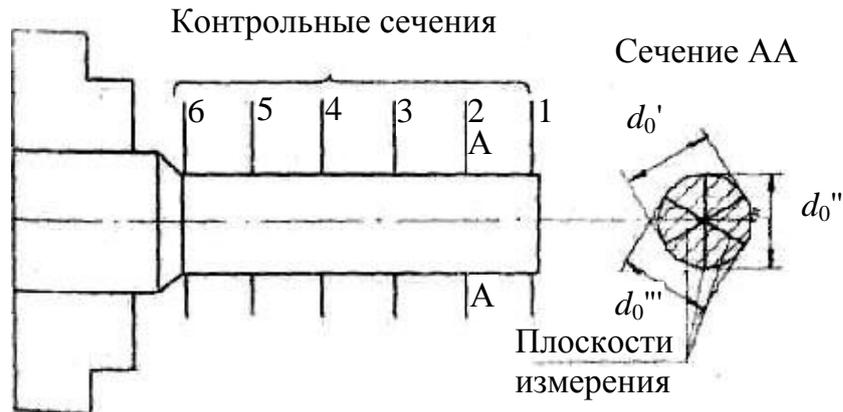


Рис. 3. Схема измерения размеров для определения влияния упругих деформаций на точность обработки вала

Под влиянием приложенной нагрузки происходит не только поворот, но и отжатие кулачков в направлении силы P_y . При резании упруго деформируются кулачки, корпус патрона, шпиндель, подшипник шпинделя, корпуса передней бабки, все крепежные детали. Сумма всех этих деформаций и принимается за величину упругого отжатия кулачков, непосредственно воспринимающих нагрузку и служащих опорой обрабатываемого вала. При отсутствии явно недопустимых зазоров в соединениях, несущих детали передней бабки, суммарное отжатие кулачков можно считать пропорциональным прикладываемой нагрузке

$$y_3 = P_y \cdot \varepsilon_k, \quad (21)$$

ε_k – податливость кулачков, т. е. их упругое отжатие под действием нагрузки, равной единице (мм/кг).

Для данного станка 1К62 – $\varepsilon_k = 0,5 \cdot 10^{-3}$ мм/кг.

По аналогии со схемой закрепления в центрах

$$y_4 = P_y \cdot \varepsilon_c. \quad (22)$$

Подставляя все найденные значения в выражение (16), имеем

$$y = P_y \left[\frac{(l_0 - x)^3}{3000d^4} + \text{tg}\varphi_{py}(l_0 - x) + \varepsilon_k + \varepsilon_c \right]. \quad (23)$$

Выражение (23) не учитывает деформации вала от момента M_x и силы P_z в связи с их малостью.

Погрешность формы для случая закрепления в патроне, определяется по формулам (8) и (9). Минимальная погрешность диаметра в этом случае находится в сечении А'А'. Максимальная погрешность – в сечении ВВ (рис. 2).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Обработка вала в центрах

1. Настроить станок на обработку вала в центрах (установить планшайбу, центры, резец, закрепить хомутик на заготовке, установить заготовку в центры).

2. Подготовить образец к выполнению опыта.

Выполняя этот этап работы, следует обточить заготовку начерно и начисто в 2–3 прохода для того, чтобы удалить с ее поверхности дефектный слой и уменьшить погрешности от предшествующей обработки. Режим обработки задается преподавателем.

3. В сечениях, расположенных по длине полученного образца, замерить диаметры образца в трех плоскостях, лежащих под углом 60° друг к другу (рис. 3). Измерения проводятся микрометром, не снимая детали со станка. Для уменьшения погрешности измерения и влияния погрешностей формы в поперечном сечении для расчетов следует принимать среднеарифметическое значение диаметра из трех измерений

$$d_{0_i} = \frac{d'_0 + d''_0 + d'''_0}{3},$$

где d_{0_i} – диаметр образца в рассматриваемом сечении.

Фактическое положение максимальной и минимальной погрешности определяется измерением микрометром.

Разметка положения контрольных сечений по длине производится по лимбу продольных перемещений станка. После проведения замеров определить характер влияния геометрических погрешностей станка на точность формы образца.

Разметка углового положения плоскостей измерений осуществляется карандашом или мелом.

4. На заданных преподавателем режимах резания произвести обработку образца.

5. Замерить обработанный образец в тех же сечениях, что и до обработки.

6. Вычислить действительную и теоретическую величину погрешности формы вала.

7. Построить график, характеризующий форму образца до обработки и после обработки, величину отклонения теоретической и экспериментальной формы, погрешность обработки в продольном направлении.

2. Обработка в патроне

1. Настроить станок на обработку образца в патроне (снять планшайбу, установить патрон, закрепить заготовку в патроне). После закрепления заготовки зацентрировать ее и поджать задним центром.
2. Обточить заготовку начерно и начисто в 2-3 прохода.
3. Замерить форму полученного образца и определить характер влияния на нее геометрических погрешностей станка.
4. На заданных преподавателем режимах резания произвести обработку образца.
5. Замерить форму обработанного образца.
6. Вычислить действительную и теоретическую форму вала.
7. Построить график, аналогичный графику для обработки в центрах.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель и содержание работы.
2. Краткое теоретическое обоснование работы.
3. Методика выполнения работы.
4. Данные проведенных опытов.
5. Обработка результатов. Графики, отображающие расчетную и фактическую форму образующей образца и обточенного вала при закреплении в центрах и патроне.
6. Выводы.

СПИСОК ПРИНАДЛЕЖНОСТЕЙ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Режущий инструмент: резец проходной, оснащенный пластинкой Т5К10, имеющий следующие геометрические параметры: $\gamma = 10 \div 12^\circ$; $\varphi = 60^\circ$; $\phi = 6 \div 8^\circ$; $\alpha = \alpha = 10^\circ$; $A = 0,5$ мм; $H = 25$ мм.
2. Заготовка: пруток ϕ 30 мм.
3. Вспомогательный инструмент: ключ $S = 30$; ключ торцовый $S = 17$ (квадрат).
4. Приспособления: планшайба, самоцентрирующий трехкулачковый патрон, хомутик для вращения заготовки, центры.
5. Измерительный инструмент: микрометр 25÷50 мм, динамометр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. Г. Подпорки и обработка нежестких деталей. Машгиз, 1959 г.
2. А. П. Соколовский. Научные основы технологии машиностроения. Машгиз, 1955 г.
3. Режимы резания черных металлов инструментом, оснащенным твердым сплавом. Машгиз, 1958 г.

Учебное издание

ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ФОРМЫ ВАЛА

Методические указания к выполнению лабораторных работ
для студентов, обучающихся по направлению 1500900
«Технология, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств» специальности 151002
«Металлообрабатывающие станки и комплексы»

Составители

ГАВРИЛИН Алексей Николаевич
МОЙЗЕС Борис Борисович
ЧЕРКАСОВ Александр Иванович

Научный редактор
кандидат технических наук,
доцент

А.Б. Пушкаренко

Редактор

И.О. Фамилия

Верстка

И.О. Фамилия

Дизайн обложки

И.О. Фамилия

Подписано к печати 00.00.2008. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать Хероx. Усл. печ. л. 000. Уч.-изд. л. 000.
Заказ ХХХ. Тираж ХХХ экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.