



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Конструирование и производство приборов»

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Лабораторный практикум

**Минск
БНТУ
2017**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Конструирование и производство приборов»

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Лабораторный практикум
для студентов специальности
1-54 01 01 «Метрология, стандартизация
и сертификация»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области обеспечения качества*

Минск
БНТУ
2017

УДК 681.2.002.(076.5)

ББК 34.9

Т38

Составители:

М. Г. Киселев, В. Л. Габец, Д. А. Шишурин

Рецензенты:

А. В. Миранович, С. И. Мадвейко

Т38 **Технология** приборостроения : лабораторный практикум для студентов специальности 1-54 01 01 «Метрология, стандартизация и сертификация» / сост.: М. Г. Киселев, В. Л. Габец, Д. А. Шишурин. – Минск: БНТУ, 2017. – 192 с.
ISBN 978-985-583-094-9.

Издание предназначено для студентов специальности 1-54 01 01 «Метрология, стандартизация и сертификация».

Лабораторные работы, приведенные в практикуме, включают следующие разделы: цель работы, материалы, инструменты и принадлежности к работе, основные положения, где приводятся краткие теоретические сведения, необходимые для выполнения лабораторной работы, порядок выполнения работы, содержание отчета, литература и контрольные вопросы.

УДК 681.2.002.(076.5)

ББК 34.9

ISBN 978-985-583-094-9

© Белорусский национальный
технический университет, 2017

Содержание

Лабораторная работа № 1 СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, ОБРАБОТАННЫХ НА НАСТРОЕННОМ СТАНКЕ.	4
Лабораторная работа № 2 СТАТИСТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.....	29
Лабораторная работа № 3 ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПРИ СБОРКЕ.....	52
Лабораторная работа № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ.....	73
Лабораторная работа № 5 ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА.....	97
Лабораторная работа № 6 ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ШЛИФОВАНИЕМ.....	124
Лабораторная работа № 7 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ	144
Лабораторная работа № 8 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ, ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ И УЛЬТРАЗВУКОВАЯ РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ.....	166

Лабораторная работа № 1

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, ОБРАБОТАННЫХ НА НАСТРОЕННОМ СТАНКЕ

Цель работы

1. Овладеть методикой построения экспериментальной и теоретической кривых распределения размеров деталей, обработанных на настроенном станке.
2. Определить вероятное количество годных и бракованных деталей.

Задачи работы

1. Усвоить последовательность построения гистограммы и полигона распределения размеров деталей в партии.
2. Ознакомиться с законами распределения размеров обрабатываемых заготовок и свойствами кривой Гаусса.
3. Построить теоретическую кривую распределения размеров деталей в партии.
4. Определить вероятный процент брака генеральной совокупности деталей по результатам измерений выборки.
5. Дать оценки точности обработки и настройки станка на размер.

Инструмент, материалы и принадлежности

1. Партия обработанных деталей (80–90 шт.), рис. 1.1.



Рис. 1.1. Фотография партии деталей

2. Головка рычажно-зубчатая ИИГ, ГОСТ 18833–73 (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Фотография рычажно-зубчатой головки

3. Стойка С-III ГОСТ 10197–70 (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Фотография стойки С-III

4. Чертеж детали (рис. 1.4).

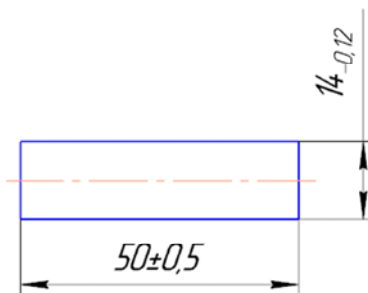


Рис. 1.4. Чертеж детали

Теоретическая часть

Гистограмма и полигон распределения случайной величины

Все погрешности, возникающие при механической обработке, могут быть сведены к трем видам:

- 1) систематические постоянные;
- 2) систематические переменные;
- 3) случайные.

Систематические постоянные погрешности – это такие, величина которых остается постоянной у каждой детали партии. Причиной возникновения таких погрешностей являются, например, неточность настройки станка на заданный размер, износ станка и другие.

Систематические переменные погрешности также имеются у каждой детали партии, но их величина меняется по какой-либо закономерности. Источниками возникновения этих погрешностей могут быть, например, размерный износ инструмента, температурные деформации системы СПИД и др.

Случайные погрешности появляются в результате действия одного или нескольких факторов, которые сами подвержены колебаниям случайного характера. Источниками случайных погрешностей могут быть, например, колебания твердости и припусков у деталей данной партии.

С помощью методов математической статистики и теории вероятностей можно по результатам измерений части деталей (выборки) определить закон распределения размеров деталей сколь угодно большой партии (генеральной совокупности), обработанной на данном станке. Этот закон распределения будет учитывать величину и вероятность возникновения случайных погрешностей.

Многочисленными исследованиями показано, что в большинстве случаев распределение размеров деталей при обработке их на настроенном станке происходит по закону нормального распределения случайных величин (закон Гаусса). Кривая нормального распределения описывается уравнением, которое будет приведено ниже. Анализ параметров этого уравнения позволяет оценивать точность обработки деталей, правильность настройки станка на размер, прогнозировать ожидаемую точность и возможный процент брака большого количества деталей по результатам измерений выборочной партии. Покажем это на примере.

У детали задан наружный диаметр $D = 30_{-0,12}$ ($D_{\max} = 30,00$; $D_{\min} = 29,88$; $D_{\text{ср}} = 29,94$; $IT = 0,12$).

Случайная выборка из партии в количестве $n = 24$ шт. была измерена. Результаты измерений показали, что детали имеют минимальный размер, равный 29,86 мм, и максимальный размер, равный 30,00 мм.

Разница между максимальным и минимальным размерами называется размахом:

$$\omega = 30,00 - 29,88 = 0,14 \text{ мм.}$$

Разобьем величину размаха на несколько интервалов (примем число интервалов равным 7). Тогда размер интервала Δx будет равен 0,02 мм.

Количество деталей, попадающих в данный интервал размеров, называется частотой K .

Внесем полученные данные в таблицу.

Предположим, что частоты K оказались следующими (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Результаты измерений партии деталей

Номер интервала	Интервал	Середина интервала x_i	Частота K_i (количество деталей в интервале)
1	29,86–29,88	29,87	2
2	Св. 29,88–29,90	29,89	4
3	Св. 29,90–29,92	29,91	5
4	Св. 29,92–29,94	29,93	6
5	Св. 29,94–29,96	29,95	4
6	Св. 29,96–29,98	29,97	2
7	Св. 29,98–30,00	29,99	1
			$n = \sum K_i = 24$

По полученным значениям можно найти среднее арифметическое значение размера \bar{X} (средний размер деталей в партии):

$$\bar{X} = \sum x_i \frac{K_i}{n} = \frac{1}{n} \sum x_i K_i = \frac{1}{24} (29,87 \cdot 2 + 29,89 \cdot 4 + 29,91 \cdot 5 +$$

$$+ 29,93 \cdot 6 + 29,95 \cdot 4 + 29,97 \cdot 2 + 29,99 \cdot 1) = 29,923 \text{ мм.} \quad (1.1)$$

Следует учесть, что средний размер деталей в партии отличается от среднего значения размера, найденного по размаху. И действительно, это значение будет

$$B_{\text{cp}} = D_{\text{min}} + \frac{1}{2} \omega = 29,86 + 0,07 = 29,93 \text{ мм.}$$

Имеем $\bar{X} \neq B_{\text{cp}}$.

В данном примере эта разница невелика, но в других случаях она может быть и значительной.

Для наглядности по найденным результатам построим эмпирическую кривую распределения (рис. 1.5).

В координатной сетке по оси абсцисс отложим значения интервалов размера x , а по оси ординат – частоты K_i , то есть количество деталей, попадающих в тот или иной интервал (данные из табл. 1.1). В результате построения получим фигуру, состоящую из вертикальных столбиков, которая называется *гистограммой распределения*. Проведя ломаную через середины вершин столбиков, получим ломаную, называемую полигоном распределения случайной величины x .

На график нанесем все значения: D_{max} , D_{cp} , D_{min} , IT – заданные значения величин; ω , $1/2\omega$, B_{cp} , \bar{X} – найденные значения.

Из сравнения нанесенных величин видно, что в данной выборке имеются детали, лежащие вне заданных значений $D = 30_{-0,12}$. Это детали первого интервала с размерами от 29,86 до 29,88 в количестве 2 шт. ($K = 2$). Так как размер этих деталей менее нижнего предела, следовательно, брак неисправный. Определим процент брака:

$$\frac{K_i \cdot 100}{n} = \frac{2 \cdot 100}{24} \approx 8,3 \%$$

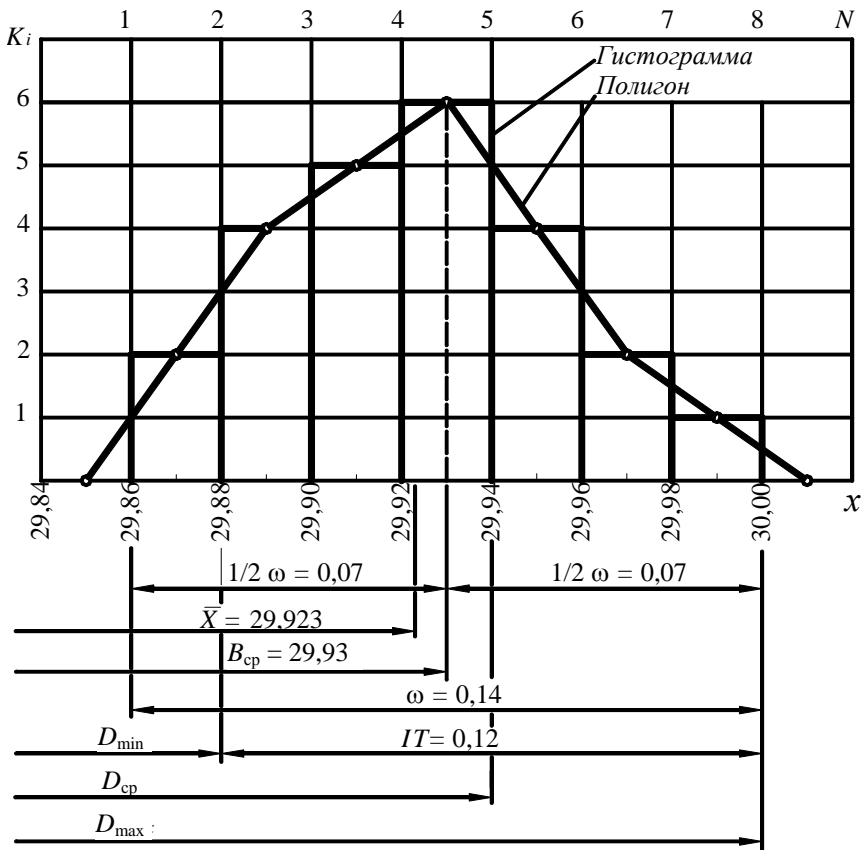


Рис. 1.5. График распределения случайной величины

Из рис. 1.5 видно, что площади гистограммы и полигона равны и соответствуют величине

$$S = (\Delta x K_1 + \Delta x K_2 + \dots + \Delta x K_i) = \Delta x (K_1 + K_2 + \dots + K_i) = \Delta x n.$$

Если в формуле, определяющей процент брака, числитель и знаменатель умножить на Δx , получим

$$\frac{\Delta x K_i \cdot 100}{\Delta x n} = \frac{S_1 \cdot 100}{S} \approx 8,3 \%,$$

где S_1 – площадь полигона, выходящая за пределы допуска;

S – площадь всего полигона.

Следовательно, процент брака мог быть найден как отношение площади полигона (гистограммы), выходящей за пределы допуска IT , ко всей площади полигона.

Гистограммы распределения партии деталей из n штук могут иметь различную форму. На рис. 1.6 представлены для примера две возможные формы гистограмм.

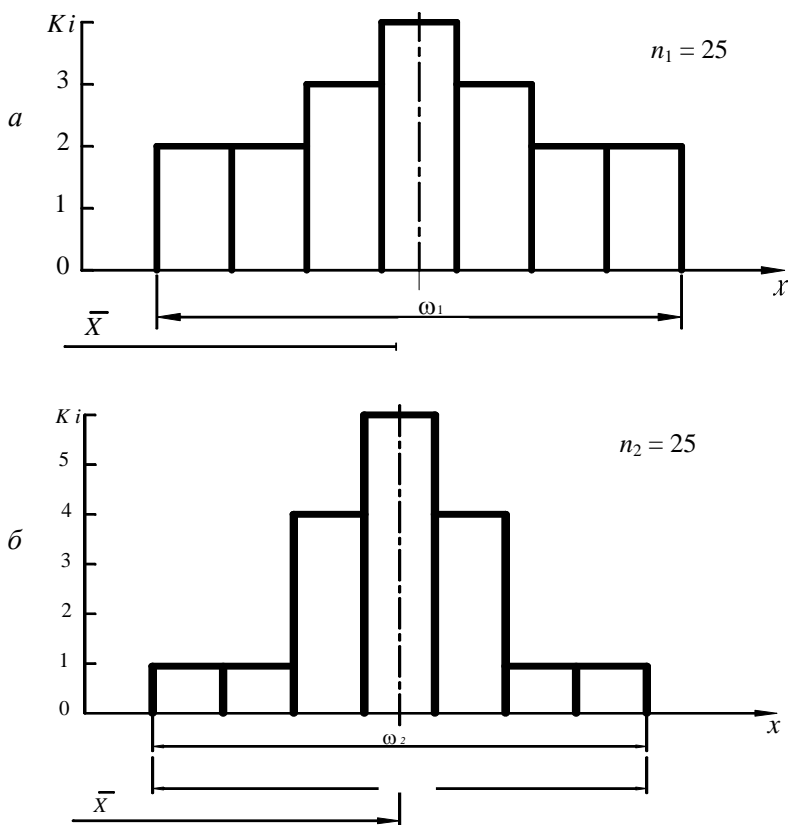


Рис. 1.6. Возможные графики распределения случайной величины

Несмотря на то, что в обеих партиях число деталей одинаково, а следовательно, и площади одинаковы, несмотря на равенство

размахов ω_1 и ω_2 и равенство \bar{X} , эти партии не равноценны по точности. У первой партии большое количество деталей находится у крайних пределов и возможен выход этих деталей из поля допуска, у второй партии, наоборот, детали тесно группируются у размера \bar{X} (центра группирования), и выход за пределы допуска маловероятен. Технологический процесс, по которому была обработана вторая партия деталей, более надежен и брак будет менее вероятным.

Рассмотренные ранее характеристики \bar{X} , ω не дают возможности оценить плотность группирования размеров деталей около значения \bar{X} , что очень важно для оценки качества технологического процесса и вероятности возникновения брака. Характеристикой, которая может дать такую оценку, является среднеквадратическое отклонение от среднего значения σ , которое вычисляется по следующей формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{X})^2 K_i}{n}}. \quad (1.2)$$

Величина среднеквадратического отклонения σ оценивает форму кривой распределения и фактически дает характеристику того, какие количества величин x и на каких расстояниях отстоят от величины \bar{X} . Так, например, для показанной на рис. 1.6, *а* кривой распределения, величина σ , подсчитанная по формуле (1.2), дает значение

$$\sigma = 0,038 \text{ мм},$$

а для кривой распределения на рис. 1.6, *б*

$$\sigma = 0,025 \text{ мм}.$$

Размерность σ совпадает с размерностью случайной величины x (в нашем примере мм).

Для оценки генеральной совокупности по результатам оценки выборочной партии необходимо эмпирическую кривую распределения заменить теоретической кривой.

**Закон нормального распределения.
Построение теоретической кривой распределения размеров
деталей в партии**

Случайные величины в большинстве случаев имеют распределение, соответствующее закону Гаусса (рис. 1.7).

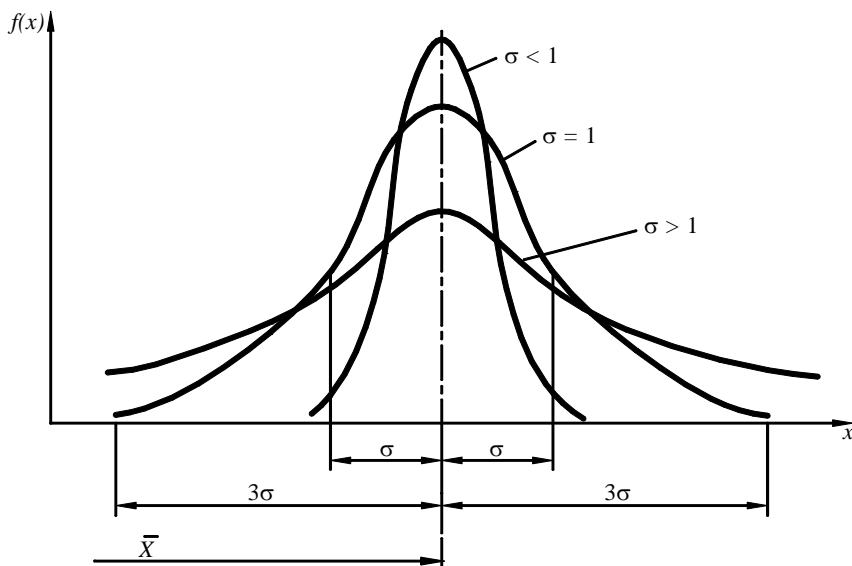


Рис. 1.7. Теоретическая кривая нормального распределения

Кривая Гаусса строится в координатах x и y , где x – значение случайной величины, y – плотность вероятности возникновения той или иной величины. В эмпирическом законе распределения взамен плотности вероятности $y = f(x)$ используется частота K_i . По смыслу эти понятия одинаковы, но K_i используется для оценки выборки, а $y = f(x)$ – для оценки генеральной совокупности.

Уравнение кривой Гаусса

$$y = f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.3)$$

где x – переменная случайная величина;

$y = f(x)$ – плотность вероятности;

σ – среднеквадратическое отклонение величин x от \bar{X} .

Кривая Гаусса обладает рядом свойств. Отметим главные из них.

1. Ветви кривой асимптотически приближаются к оси абсцисс, сливаясь с ней в бесконечности, то есть зона рассеивания случайной величины x лежит в пределах $\pm\infty$.

2. Максимальное значение величины y будет при $x = \bar{X}$ и соответственно составит

$$y_{\max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma}.$$

3. Значение величины y для значений $x = \sigma$ составляет

$$y_{\sigma} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi e}} \approx \frac{0,24}{\sigma}.$$

4. Кривая имеет перегибы, отстоящие на расстоянии 6σ от среднего значения \bar{X} .

5. При увеличении σ кривая «сплющивается», а при уменьшении – «вытягивается» вверх (рис. 1.7).

6. Площадь под кривой нормального распределения может быть найдена путем интегрирования уравнения (1.3) и характеризует собой вероятность того, что случайная величина будет располагаться внутри интервала $\pm\infty$. Совершенно очевидно, что в пределы $\pm\infty$ попадут полностью все значения x . Поэтому вероятность попадания в этот интервал равна единице:

$$F(-\infty < x < \infty) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} dx = 1.$$

7. Для практики достаточными являются пределы, равные не $\pm\infty$, а $\pm 3\sigma$ от значения \bar{X} , так как в эти пределы попадает 99,73 % всех значений случайной величины x . Практически считают

$$F(\bar{X} - 3\sigma < x < \bar{X} + 3\sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{(\bar{X}-3\sigma)}^{(\bar{X}+3\sigma)} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} dx = 0,9973 \approx 1.$$

Вероятность значений величины x в любом другом интервале может быть найдена по аналогичной формуле:

$$F(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (1.4)$$

Произведя замену переменной x путем подстановки

$$\frac{x - \bar{X}}{\sigma} = t, \quad (1.5)$$

получим
$$F(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Интеграл $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ носит название нормированной функции

Лапласа, и его значения для различных $t = \frac{x - \bar{X}}{\sigma}$ приведены в табл. 1.2. Там же приведены и удвоенные значения $2\Phi(t)$. Значение $\Phi(t)$ выражает отношение площади, соответствующее заданному интервалу $[0, t]$ ко всей площади под кривой, которая равна единице.

Таблица 1.2

Значения нормированной функции Лапласа

t	$\Phi(t)$	$2\Phi(t)$	T	$\Phi(t)$	$2\Phi(t)$
0,0	0,0000	0,0000	1,8	0,4641	0,9281
0,1	0,0398	0,0797	1,9	0,4713	0,9426
0,2	0,0793	0,1585	2,0	0,4772	0,9545
0,3	0,1179	0,2358	2,1	0,4821	0,9643

t	$\Phi(t)$	$2\Phi(t)$	T	$\Phi(t)$	$2\Phi(t)$
0,4	0,1554	0,3108	2,2	0,4861	0,9722
0,5	0,1915	0,3829	2,3	0,4893	0,9886
0,6	0,2257	0,4515	2,4	0,4918	0,9836
0,7	0,2580	0,5161	2,5	0,4938	0,9876
0,8	0,2881	0,5763	2,6	0,4953	0,9907
0,9	0,3159	0,6319	2,7	0,4965	0,9931
1,0	0,3413	0,6827	2,8	0,4974	0,9949
1,1	0,3643	0,7287	2,9	0,4981	0,9963
1,2	0,3849	0,7699	3,0	0,49865	0,99730
1,3	0,4032	0,8064	3,1	0,49903	0,99806
1,4	0,4192	0,8385	3,2	0,49931	0,99862
1,5	0,4332	0,8664	3,3	0,49952	0,99903
1,6	0,4452	0,8904	3,4	0,49966	0,99933
1,7	0,4554	0,9109	3,5	0,49977	0,99953

Введением переменной t начало отсчета величин x переносится в точку, соответствующую \bar{X} .

Ранее при рассмотрении полигонов распределения было показано, что отношением площадей может быть найден процент годных и бракованных деталей. Следовательно, этот процент может быть найден и через значения $\Phi(t)$. По полигону распределения (рис. 1.8) был найден процент брака для выборки из $n = 24$, который равнялся 8,3 %. Для определения процента брака для генеральной совокупности необходимо заменить полигон теоретической кривой распределения с теми же характеристиками \bar{X} и σ и найти значения $\Phi(t)$ в диапазоне значений x , выходящих за пределы допуска.

Определим вероятный процент брака генеральной совокупности по выборке, представленной на рис. 1.8. Прежде всего, определим σ по формуле (1.2).

Для подсчета σ удобно воспользоваться табл. 1.1 и, несколько увеличив количество интервалов, продолжить ее, как это показано в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Последовательность вычислений параметров
теоретической кривой распределения

Номер интервала	Интервал	Середина интервала x_i	Частота K_i	$x_i - \bar{X}$	$(x_i - \bar{X})^2$	$(x_i - \bar{X})^2 K_i$
1	2	3	4	5	6	7
1	29,824 429,84	29,83	0	-0,093	-	0
2	29,844 429,86	29,85	0	-0,073	-	0
3	29,864 429,88	29,87	2	-0,053	0,002810	0,005620
4	29,884 429,90	29,89	4	-0,033	0,001090	0,004360
5	29,904 429,92	29,91	5	-0,013	0,000169	0,000845
6	29,924 429,94	29,93	6	0,007	0,000049	0,000294
7	29,944 429,96	29,95	4	0,027	0,000729	0,002920
8	29,964 429,98	29,97	2	0,047	0,002210	0,004420
9	29,984 430,00	29,99	1	0,067	0,004480	0,004480
10	30,004 430,02	30,01	0	0,087	-	0
			$\Sigma K_i = 24$			$\Sigma(x_i - \bar{X})^2 K_i =$ $= 0,022939$

Построить на одном графике полигон распределения (был ранее построен на рис. 1.8) и теоретическую кривую распределения с одинаковыми характеристиками $\bar{X} = 29,923$ мм и $\sigma = \sqrt{\frac{(\sum x_i - \bar{X})^2 K_i}{n}} =$

$$= \sqrt{\frac{0,0022939}{24}} = 0,03 \text{ мм. При этом должно быть выдержано равен-}$$

ство площадей под кривыми. Для обеспечения этого требования ординаты теоретического распределения необходимо домножить на масштабный коэффициент $\Delta x n$ (площадь под эмпирической кривой).

С учетом этого ординаты теоретической кривой:

$$y_{\max} = \frac{0,4\Delta x n}{\sigma} = \frac{0,4 \cdot 0,02 \cdot 24}{0,03} \approx 6,4, \quad (1.6)$$

$$y_{\sigma} = \frac{0,24\Delta x n}{\sigma} = \frac{0,24 \cdot 0,02 \cdot 24}{0,03} \approx 3,85, \quad (1.7)$$

$$y_{3\sigma} \approx 0.$$

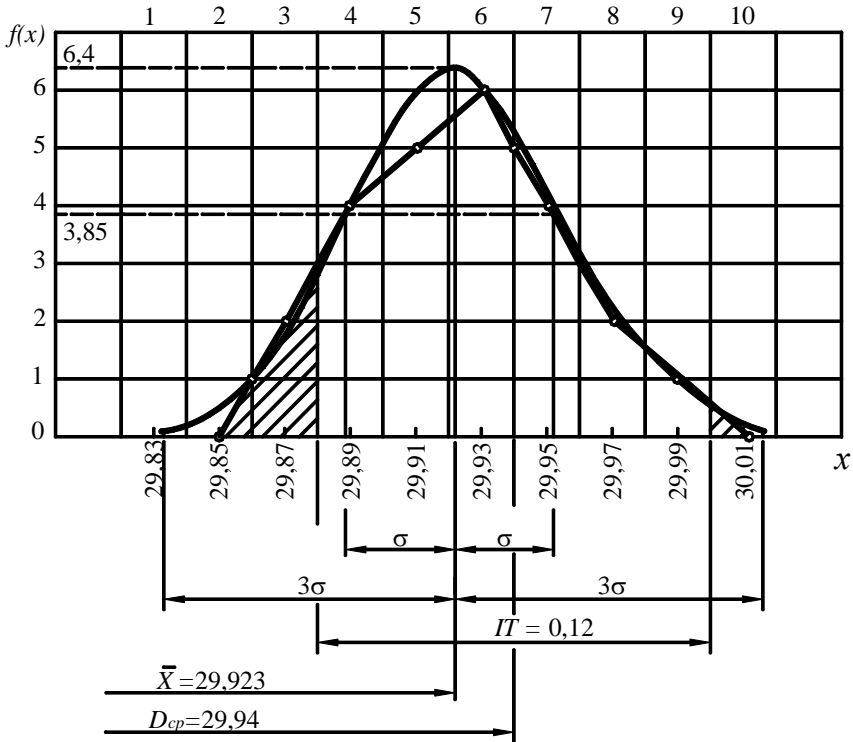


Рис. 1.8. Замена полигона распределения размеров теоретической кривой

Совмещенные кривые распределения представлены на рис. 1.8. Нанеся на график заданные размеры D_{cp} и поле допуска $IT = 0,12$ мм, видим, что часть значений размеров оказывается вне поля допуска (участки заштрихованы).

Для определения процента брака необходимо определить отношение этих площадей ко всей площади кривой. Левый заштрихованный участок справа ограничен значением $x_1 = 29,88$. Найдем t :

$$t = \frac{x_1 - \bar{X}}{\sigma} = \frac{29,88 - 29,923}{0,03} \approx 1,39.$$

Знак минус можно опустить, так как функция $\Phi(t)$ является нечетной:

$$\Phi(-t) = -\Phi(t).$$

По табл. 1.2 для $t = 1,39$ находим

$$\Phi(1,39) \approx 0,41.$$

Вероятный процент брака определятся из выражения

$$\begin{aligned} [\Phi(\infty) - \Phi(t)]100 &\approx [\Phi(3) - \Phi(1,39)]100 \approx \\ &\approx (0,5 - 0,41)100 \approx 9,0 \%. \end{aligned} \quad (1.8)$$

Размеры деталей, попавших в этот диапазон, меньше допустимого предельного значения, поэтому брак является неисправимым.

Правый заштрихованный участок

$$t_2 = \frac{x_2 - \bar{X}}{\sigma} = \frac{30,00 - 29,923}{0,03} = \frac{0,077}{0,03} \approx 2,48,$$

$$\Phi(2,48) \approx 0,4938.$$

Вероятный процент брака:

$$[\Phi(3) - \Phi(2,48)]100 = (0,5 - 0,4938)100 \approx 0,6 \%.$$

Размеры этих деталей выше верхнего предельного значения, следовательно, этот брак исправим.

Законы распределения Симпсона, равной вероятности и Релея

При различных условиях обработки заготовок рассеяние их действительных размеров может подчиняться и другим законам распределения.

Закон Симпсона (равнобедренного треугольника) применяется для описания погрешности размеров заготовок, на которых оказывает влияние один доминирующий фактор с переменным характером изменения во времени, сначала ускоренным, потом замедленным, а затем вновь ускоренным. Такие условия могут возникнуть при быстром изнашивании инструмента (рис. 1.9, а).

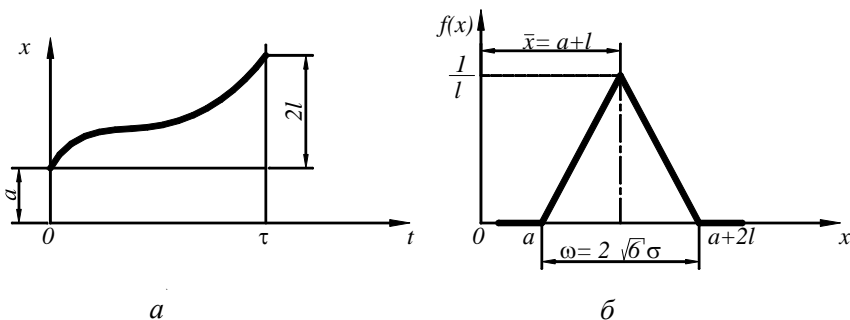


Рис. 1.9. Характер изменения доминирующего фактора (а) и кривая распределения размеров по закону Симпсона (б)

Дифференциальный закон распределения Симпсона

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{l^2} & \text{при } a < x < a+l; \\ \frac{a+2l-x}{l^2} & \text{при } a+l < x < a+2l; \\ 0 & \text{при } x < a; x > a+2l. \end{cases} \quad (1.9)$$

Кривая распределения размеров заготовок имеет вид равнобедренного треугольника (рис. 1.9, б). Средние арифметические \bar{X} и среднее арифметическое отклонение σ соответственно равны:

$$\bar{X} = a + l; \quad \sigma = \frac{l}{\sqrt{6}}.$$

Поле рассеяния $\omega = 2\sqrt{6}\sigma \approx 4,9\sigma$.

Закон Симпсона действует при обработке заготовок по 7-му, 8-му, а иногда и по 6-му качествам.

Закон равной вероятности наблюдается в том случае, если на погрешность размеров оказывает влияние один доминирующий фактор, равномерно изменяющийся во времени (равномерный износ режущего инструмента). За время τ (рис. 1.10, а) размер заготовок изменился в пределах от a до $a + 2l$. Вследствие того, что переменная систематическая погрешность изменяется по линейной зависимости $x = a + 2l(t/\tau)$, то появление каждого размера равно вероятно. Дифференциальный закон распределения равной вероятности

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{2l} & \text{при } a < x < a + 2l; \\ 0 & \text{при } x < a; \quad x > a + 2l. \end{cases} \quad (1.10)$$

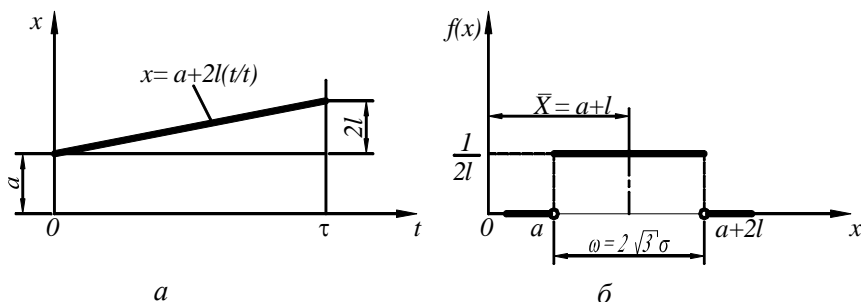


Рис. 1.10. Характер изменения доминирующего диаметра (а) и кривая распределения размеров заготовок по закону равной вероятности (б)

Графически такое распределение имеет вид прямоугольника (рис. 1.10, б). Среднее арифметическое и среднеквадратическое отклонение соответственно равны:

$$\bar{X} = a + l; \quad \sigma = \frac{l}{\sqrt{3}}.$$

Поле рассеяния $\omega = 2\sqrt{3}\sigma \approx 3,46\sigma$. Закон равной вероятности распространяется на распределение размеров деталей повышенной точности. Из-за сложности получения размеров очень высокой точности вероятность попадания размера заготовки в узкие границы допуска по среднему, наибольшему и наименьшему его значению становится одинаковой.

Если распределение по законам Симпсона и равной вероятности рассматривать как отклонение от закона нормального распределения, то можно отразить и количественную сторону этих отклонений с помощью коэффициента λ , именуемого относительным среднеквадратическим отклонением:

$$\lambda = \frac{2\sigma}{\omega}. \quad (1.11)$$

Подставив в эту формулу величины σ и ω , соответствующие трем законам распределения случайной величины, получим для каждого из них свое значение коэффициенты λ (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Значения относительного среднеквадратического отклонения

Закон распределения	σ	ω	λ
Гаусса	σ	6σ	$\frac{1}{3}$
Симпсона	$\frac{l}{\sqrt{6}}$	$2l$	$\frac{1}{\sqrt{6}}$
Равной вероятности	$\frac{l}{\sqrt{3}}$	$2l$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$

Закону Релея подчиняются случайные погрешности, принимающие только неотрицательные значения: радиальное биение цилиндрических поверхностей; отклонение от соосности; торцевое биение; отклонение от параллельности двух плоскостей; отклонение от перпендикулярности двух плоскостей; овальность; конусообразность и др.

Распределение по закону Релея формируются, в частности, когда случайная величина r представляет собой геометрическую сумму двух случайных величин x и y (рис. 1.11, а):

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}.$$

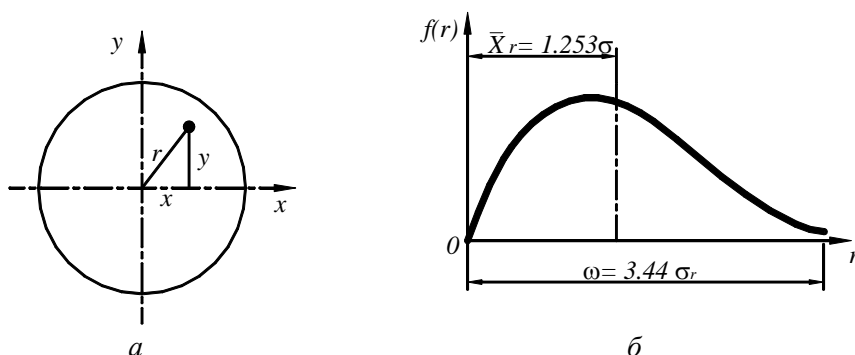


Рис. 1.11. Характер изменения доминирующего диаметра (а) и кривая распределения размеров заготовок по закону Релея (б)

Каждая из случайных величин x и y подчиняется закону Гаусса с параметрами:

$$\bar{X} = \bar{Y} = 0; \quad \sigma_x = \sigma_y = \sigma.$$

Дифференциальный закон распределения Релея

$$f(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}. \quad (1.12)$$

Кривая закона Релея (рис. 1.11, б) по внешнему виду напоминает кривую Гаусса, но ее начало совпадает с началом координат и ее вершина смещена в сторону начала координат. Среднее арифметическое значение \bar{r} , среднеквадратическое отклонение σ_r и поле рассеяния ω соответственно равны:

$$\bar{r} = 1,253\sigma; \quad \sigma_r = 0,655\sigma; \quad \omega = 3,44\sigma.$$

При обработке заготовок на настроенных станках точность их размеров одновременно зависит от разных факторов, вызывающих появление как случайных погрешностей, так и систематических постоянных и переменных погрешностей. В подобных случаях закон распределения размеров обработанных заготовок представляет собой композицию нескольких законов распределения. Например, композиционный закон Гаусса и равной вероятности наблюдается в тех случаях, когда наряду с множеством случайных факторов, дающих в совокупности нормальный закон, на погрешность размеров оказывает влияние систематический доминирующий фактор, равномерно изменяющийся во времени. Композиция законов Гаусса и равной вероятности создает симметричные кривые распределения различной формы, зависящей от степени воздействия на конечное распределение каждого из соответствующих законов. Если доминирующий систематический фактор неравномерно изменяется во времени, то форма кривой распределения становится несимметричной. Наличие переменных систематических погрешностей $\Delta_{\text{сист}}$ приводит к расширению поля ω суммарного рассеяния размеров заготовок:

$$\omega = b\sigma + \Delta_{\text{сист}}.$$

Оценка точности технологического процесса и размерной настройки

Для оценки точности процесса необходимо сравнить фактическое поле рассеяния ω с полем допуска IT на размер детали. Точность процесса считается достаточной или избыточной, если удовлетворяется неравенство $\omega \leq IT$. Для сравнительной оценки

точности операций вводится коэффициент точности $K_T = \frac{\omega}{IT}$.

При условии правильной настройки станка обработка заготовок может осуществляться без брака, если $K_T \leq 1$.

В рассмотренном выше примере, учитывая нормальный закон распределения размеров детали, коэффициент точности

$$K_T = \frac{6\sigma}{IT} = \frac{6 \cdot 0,03}{0,12} = 1,5. \quad (1.13)$$

Следовательно, точность процесса изготовления детали неудовлетворительная.

Появление брака возможно и при избыточной точности процесса, если настройка была выполнена с погрешностью, величина которой превышала допустимое значение. Для оценки точности настройки станка пользуются коэффициентом точности настройки

$$K_H = \left| \frac{\bar{X} - D_{\text{ср}}}{IT} \right| = \frac{|E|}{IT}, \quad (1.14)$$

где $D_{\text{ср}}$ – средний заданный размер детали;

E – смещение центра группирования размеров детали относительно середины поля допуска.

Основываясь на опыте, считают, что точность настройки удовлетворительная, если $K_H \leq 0,05$. В рассмотренном примере

$$K_H = \frac{|29,923 - 29,94|}{0,12} = 0,14 > 0,05.$$

Следовательно, настройка станка при обработке партии деталей была неудовлетворительной. Это видно из графика на рис. 1.8.

Из рассмотренного примера видно, что по полигону и по теоретической кривой распределения может быть достаточно полно охарактеризована точность партии деталей, соответствие технологиче-

ского процесса предъявленным точностным требованиям и оценена точность настройки станка, на котором обрабатывались детали.

При проведении точностных статистических исследований с более строгим подходом следовало бы находить доверительные интервалы для σ и \bar{X} с заданной доверительной вероятностью. Это дало бы возможность более точно оценить неравенство $K_T \leq 1$ и $K_H \leq 0,05$ для генеральной совокупности. В данной работе доверительные интервалы определяться не будут.

Оценки стабильности технологического процесса

Под *стабильностью технологического процесса* понимают постоянство во времени его точностных характеристик: среднего арифметического значения \bar{X} и эмпирического среднеквадратического отклонения σ размеров картин обработанных заготовок. Непостоянство параметра \bar{X} свидетельствует о смещении центра настройки во времени, обусловленное действием систематических факторов; непостоянство параметра σ свидетельствует об изменении рассеяния размеров заготовок вследствие действия множества случайных факторов, изменяющихся с течением времени.

Для оценки стабильности процесса обработки со станка берутся в разное время выборки заготовок, вычисляются их характеристики $\bar{X}_1; \sigma_1; \bar{X}_2; \sigma_2; \dots$ и сравниваются между собой. Если расхождение между ними случайно, несущественно, то можно сделать вывод, что центр рассеяния размеров \bar{X} не смещается и величина среднеквадратического отклонения σ не изменяется во времени, то есть процесс является стабильным. Сравнение выборочных средних арифметических проводится с помощью критерия Стьюдента, а сравнение выборочных среднеквадратических отклонений – с помощью критерия Фишера.

Вероятностно-статистический метод позволяет достоверно оценить точность различных методов обработки в условиях серийного и массового производств. Данный метод универсален. Его можно применять для определения точности обработки, сборки, контрольных и других операций. Однако он не раскрывает сущность физических явлений и факторов, определяющих точность обработки.

Практическая часть

Порядок выполнения работы

К выполнению экспериментальной части работы приступают после выполнения первых двух задач работы и получения разрешения преподавателя.

1. Ознакомиться с чертежом детали.

2. Пользуясь рычажно-зубчатой головкой, измерить партию деталей (рис. 1.12)

2.1. Подобрать блок концевых мер 4 на величину установочного размера, заданного чертежом (в данном случае 14 мм).

2.2. Открутить винт 2 и опустить кронштейн 3 по колонке стойки 6 до соприкосновения наконечника индикатора с поверхностью блока концевых мер 4 до тех пор, пока большая стрелка индикатора сделает 1–2 оборота (обычно достаточно одного оборота). В таком положении закрепить кронштейн 3 винтом 2. «Натяг» делается для того, чтобы в процессе измерений индикатор мог показывать как положительные, так и отрицательные отклонения от начального положения.

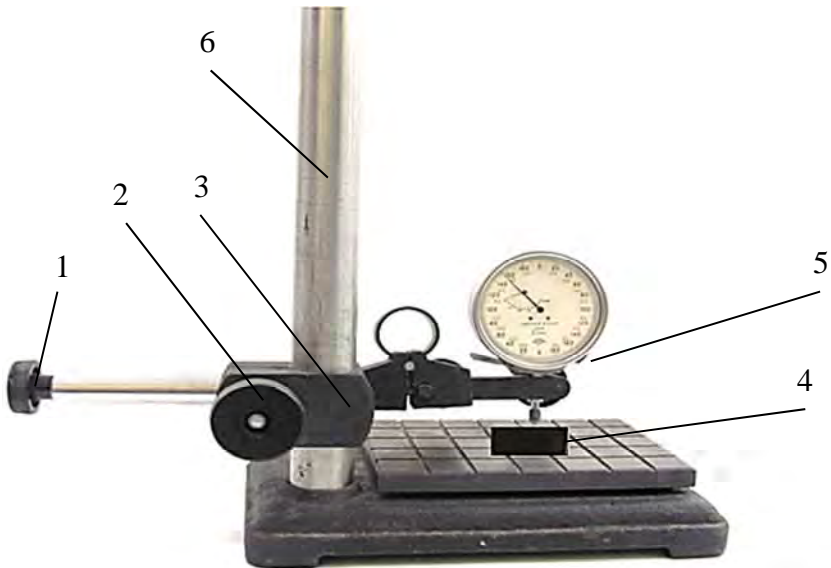


Рис. 1.12. Приспособление измерения диаметров деталей

2.3. Вращая винт 1, добиваемся максимально близкого совмещения большой стрелки индикатора с нулевым штрихом шкалы.

2.4. Точная настройка осуществляется вращением винта 5 на индикаторе.

2.5. Убрать концевые меры и произвести измерения деталей.

3. Определить величину размаха ω . Затем разбить размеры на равные интервалы (количество интервалов 8–10 шт.) и подсчитать частоты, то есть количество деталей, попадающих в каждый интервал.

4. Внести полученные данные в таблицу (графы 1, 2, 3, 4), как было показано в примере (см. табл. 1.3).

5. По данным табл. 1.3 построить гистограмму и полигон.

6. Определить значение \bar{X} по формуле (1.1) и значения σ по формуле (1.2), используя для подсчетов табл. 1.3 (графы 5, 6, 7).

7. Найти значения y_{\max} , y_{σ} с учетом масштабного коэффициента ($\Delta x/l$) по формулам (1.6) и (1.7).

8. Построить совмещенную с гистограммой теоретическую кривую распределения по координатным точкам.

x	$x = \bar{X}$	$x = \sigma$	$x = 3\sigma$
y	Y_{\max}	y_{σ}	$y = 0$

9. Нанести на график найденное значение размаха ω и заданные значения D_{\min} , D_{\max} , $D_{\text{ср}}$ и IT .

10. По гистограмме (отношению площадей) определить процент брака деталей в партии и дать заключение о возможности его исправления (исправимый или неисправимый).

11. Определить значения переменной t по формуле

$$t = \frac{x - \bar{X}}{\sigma}.$$

12. Используя табл. 1.2, определить по формуле (1.8) процент брака в генеральной совокупности.

13. Используя формулы (1.13) и (1.14), оценить точность обработки и правильность настройки станка, на котором были обработаны детали.

Содержание отчета

1. Цели и задачи работы.
2. Результаты измерений партии деталей, сведенные в таблицу для расчета среднеквадратического отклонения.
3. Экспериментальные и теоретические кривые распределения размеров деталей.
4. Результаты расчетов количества бракованных деталей в партии и генеральной совокупности, а также коэффициентов точности обработки и смещения настройки.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Виды погрешностей обработки.
2. Для чего устанавливают закон распределения размеров по данным измерений выборки деталей?
3. Как влияет погрешность настройки на точность обработки деталей?
4. Напишите формулу кривой Гаусса. Назовите все переменные и постоянные.
5. Что такое функция Лапласа и как она применяется в данной работе?
6. Куда переносится начало координат после замены переменной в уравнении кривой Гаусса?
7. Как изменяется во времени доминирующий фактор при действии законов распределения Симпсона и равной вероятности?
8. Что такое относительное квадратическое отклонение и чему оно равно для законов распределения Симпсона и равной вероятности?
9. Какие случайные погрешности подчиняются закону Релея?
10. Как определить точность настройки станка по кривой Гаусса?
11. Какие величины используют для оценки точности технологического процесса?
12. Что понимают под стабильностью технологического процесса?

Список использованной литературы

1. Колесов, И. М. Основы технологии машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов. – Москва: Высшая школа, 1999. – С. 16–35.
2. Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения : учебник для вузов / А. И. Якушев, Л. Н. Воронцов, Н. М. Федотов. – Москва: Машиностроение, 1986. – С. 60–78.
3. Технология машиностроения : учебное пособие по выполнению лабораторных работ / С. Н. Корчак [и др.]. – Челябинск: ЧГТУ, 1990. – С. 3–19.

Лабораторная работа № 2

СТАТИСТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Цель работы

1. Практически освоить методику разработки процесса статистического регулирования технологического процесса.
2. Определить необходимость корректировки технологического процесса.

Задачи работы

1. Изучить методы статистического регулирования техпроцессов с применением контрольных карт средних арифметических значений и медиан.
2. Настроить измерительный прибор и произвести измерения деталей в выборках.
3. Построить карты статистического регулирования и определить моменты наладки техпроцесса.

Инструмент, материалы и принадлежности

1. Комплект деталей в порядке их изъятия (80–90 шт.), рис. 2.1.

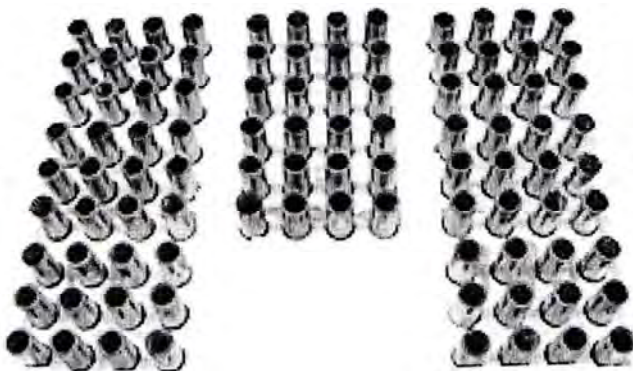


Рис. 2.1. Комплект деталей в порядке их изъятия

2. Измерительная стойка типа С-III ГОСТ 10197–70 (рис. 2.2).

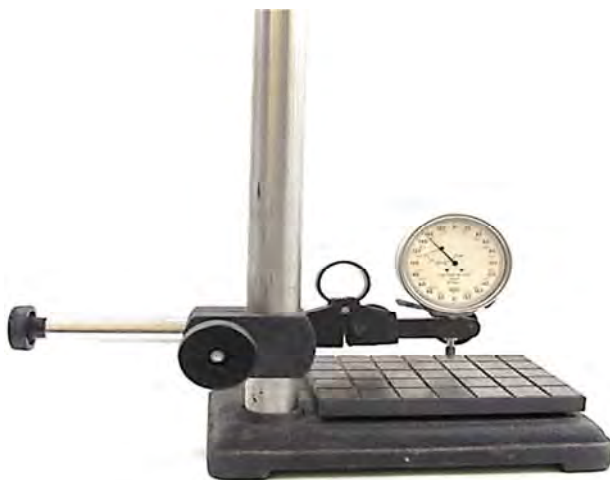


Рис. 2.2. Измерительная стойка типа С-III ГОСТ 10197–70

3. Набор концевых мер НКП № 1 кл. 2 ГОСТ 9038–73.

Теоретическая часть

Статистические методы управления качеством продукции

Статистические методы управления качеством продукции позволяют по ограниченному числу наблюдений принимать решения по состоянию качества всей контролируемой продукции.

Основные преимущества методов управления следующие:

а) осуществляется одна из форм активного контроля качества, практически исключая появление брака при обработке;

б) так как это выборочный контроль, то он менее трудоемок по сравнению со 100%-й проверкой деталей (в 1,5–1,6 раз);

в) применяется научно обоснованный способ регулирования качества, где четко определены объемы выборок и периодичность их взятия (при обычном выборочном контроле эти процедуры часто случайны и не соответствуют фактическому состоянию точности и стабильности технологических операций);

г) по сравнению с другими формами автоматического регулирования качества, которые достаточно дороги, статистические методы не требуют каких-либо значительных экономических затрат.

В зависимости от решаемых задач статистические методы управления качеством продукции включают:

а) статистический анализ состояния техпроцессов и операций (анализ точности и стабильности процессов и операций);

б) статистическое регулирование техпроцессов и операций;

в) статистический приемочный контроль качества (при входном, операционном и окончательном контроле готовой продукции).

Статистический анализ точности отдельной операции техпроцесса подразумевает сопоставление поля рассеивания интересующего нас признака (например, размера) на данной операции с заданным допуском, отвечающее некоторой вероятности. Это есть зона, лежащая между границами значений признака качества, вероятность выхода за которые пренебрежимо мала.

Если поле рассеивания (ω) не больше допуска (IT), то суммарная точность операции признается удовлетворительной (или излишней, если допуск намного больше поля рассеивания). Точность считается недостаточной, если поле рассеивания больше допуска ($\omega > IT$).

Сущность статистических методов состоит в том, чтобы по некоторым выборкам обоснованно судить обо всей совокупности контролируемых объектов, не прибегая к сплошной их проверке. Такой вид контроля называется приемочным (или последующим) статистическим контролем. Предупредительным статистическим контролем называют переход от выявления брака в уже изготовленной партии к предупреждению его возникновения на всем протяжении обработки.

Поле рассеивания строится с учетом погрешностей настройки, то есть с учетом отклонения центра рассеивания от соответствующего допускаемого значения его положения (при симметричном рассеивании допускаемые значения будут лежать в средней части поля допуска). Учитывается также и погрешность измерения, накладываемая на погрешность обработки и увеличивающая поле рассеивания размеров.

Задача статистического анализа сводится:

а) к оценке (с нужным приближением) закона распределения признака, интересующего нас;

б) к нахождению (с помощью этого закона) поля рассеивания, отвечающего достаточно близкой вероятности нахождения признака в пределах этого поля;

в) к сопоставлению полученного таким образом поля с допуском.

Текущий предупредительный статистический контроль обеспечивает переход от выявления брака в уже изготовленной партии к предупреждению его возникновения на всем протяжении обработки.

Здесь различают два вида контроля:

– контроль положения центра настройки по медиане и рассеивания по крайним значениям;

– контроль положения центра настройки по среднеарифметическому значению и рассеивания размеров по крайним значениям, размаху варьирования или среднему квадратическому.

Эти варианты осуществляются с помощью карт статистического контроля, содержащих контрольные диаграммы.

На рис. 2.3 представлены графики, поясняющие вероятность увеличения брака после смещения центра настройки и после увеличения дисперсии (рассеивания).

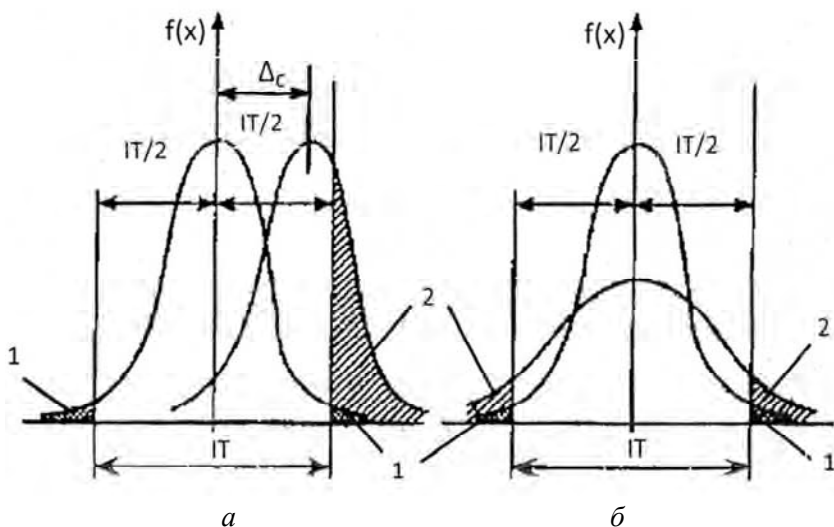


Рис. 2.3. Увеличение вероятности (риска) получения брака в результате смещения центра настройки Δ_c (а) и увеличения дисперсии (б):
 1 – начальная (малая вероятность); 2 – увеличенная вероятность (риск) получения брака

Статистическое регулирование технологических процессов с применением контрольных карт на основе средних длин серий

При механической обработке деталей наиболее часто распределение показателей качества происходит по законам нормального распределения (Гаусса) и эксцентриситета (Релея и Максвелла).

Закону нормального распределения подчиняются многие непрерывные случайные величины, на которые влияет большое число взаимно независимых случайных факторов. В условиях механической обработки ее погрешность складывается из многочисленных погрешностей элементов технологической системы «станок–приспособление–инструмент–деталь» (СПИД).

При устойчивом процессе обработки деталей на настроенных станках и при отсутствии существенного влияния изменяющихся во времени систематических погрешностей такие параметры, как размеры получаемых деталей, высота микронеровностей поверхностей, обработанных различными методами, а также погрешности измерения распределяются по закону Гаусса.

Статистическое регулирование технологических операций является одним из методов управления качеством продукции. Сущность методов статистического регулирования состоит в том, что при обработке на предварительно настроенном оборудовании через определенные промежутки времени берутся выборки из обрабатываемых деталей. Детали в каждой выборке измеряются шкальными приборами по рассматриваемому параметру. На основании полученных измерений на контрольной карте делаются отметки, которые должны располагаться в пределах заранее рассчитанных и нанесенных на контрольную карту границ. Если это условие выполняется, то технологический процесс протекает удовлетворительно. В случае выхода размеров за пределы контрольных границ необходима корректировка настройки станка или отладка технологической системы.

Статистическое регулирование целесообразно применять в тех случаях, когда в суммарной погрешности обработки имеется систематическая составляющая, изменяющаяся по известной закономерности, как, например, износ режущего инструмента. Другим условием применения статистического регулирования является достаточно большой период стойкости режущего инструмента, как, например, при токарной обработке. Если стойкость инструмента мала, например, при шлифовании (особенно при внутреннем, когда приходится часто править шлифовальный круг), то целесообразнее применять методы активного контроля.

При механической обработке партии деталей вследствие износа режущего инструмента закономерному изменению более всего подвержены диаметральные и линейные размеры, распределение случайных погрешностей которых обычно подчиняется нормальному закону.

Различают 1) *статистическое регулирование уровня наладки технологической операции* и 2) *статистическое регулирование рассеивания значений параметров качества обрабатываемой детали*. В обоих случаях применяемая в лабораторных работах методика может быть использована, если контролируемый показатель качества является случайной непрерывной величиной, подчиняющейся нормальному закону распределения.

Данный метод рекомендуется для техпроцессов серийного и массового производства при условии, что процессы отлажены и стабильны; причем контроль может осуществляться как по количественному, так и по альтернативному признакам.

Статистическое регулирование может осуществляться с применением следующих контрольных карт:

- средних арифметических значений (\bar{x} -карта);
- медиан (\tilde{x} -карта);
- средних квадратических значений (S -карта);
- размахов (R -карта) и др.;
- доли дефектов (p -карта).

Карты \bar{x} , \tilde{x} , S , R используются для контроля по количественному признаку. Контролируемым показателем качества при этом является непрерывная случайная величина, подчиняющаяся нормальному закону распределения.

Для осуществления статистического регулирования по соответствующим таблицам стандарта выбирается план контроля, исходя из заданных значений средних длин серий (СДС) налаженного L_0 и разлаженного L_1 процесса.

СДС налаженного процесса определяет среднее количество выборок до появления ложного сигнала о разладке процесса, поэтому ее величину нужно выбирать, возможно, наибольшей ($L_0 = 20-2000$). СДС разлаженного процесса определяет среднее количество выборок, необходимое для обнаружения разладки процесса, и ее величину следует выбирать возможно наименьшей ($L_1 = 1,2-10,0$).

Статистическое регулирование техпроцессов с помощью контрольных карт средних арифметических и медиан

Статистическое регулирование уровня наладки технологической операции производится с применением контрольных карт средних арифметических значений или медиан. При этом в результате предварительного анализа должно быть установлено среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра σ . Предполагается, что σ остается постоянным в течение длительного времени выполнения операции.

Указанные методы статистического регулирования применяются как для регулирования по одностороннему критерию, когда проверяется только увеличение или уменьшение контролируемого параметра, так и по двустороннему, когда возможно изменение параметра в обе стороны.

Методы средних арифметических значений и медиан применяются для *статистического регулирования технологических процессов, для которых разладка характеризуется смещением наладки инструмента*. Рассеивание контролируемого параметра при этом практически остается постоянным. Метод средних арифметических значений при одинаковых условиях требует в 1,57 раза меньше объема выборки, чем метод медиан. Однако последний проще в осуществлении, так как при определении медиан не требуется или почти не требуется выполнение вычислений.

Для осуществления этих методов контроля должны быть известны: σ – среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра x ; μ_0 – среднее значение контролируемого параметра x , при котором по данной технологии выпускается продукция наилучшего качества (чаще всего μ_0 соответствует значению середины поля допуска); μ_1 – предельно допустимое среднее значение параметра x , при котором необходима наладка процесса.

Техпроцесс считается налаженным при $\mu = \mu_0$ и разлаженным при $\mu = \mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$ или при $\mu = \mu_{-1} = \mu_0 - \delta\sigma$.

Величина $\delta = (\mu_1 - \mu_0)/\sigma$ характеризует нормированное смещение уровня наладки техпроцесса при его разладке.

Исходными данными для статистического регулирования с помощью контрольных карт средних арифметических являются выборочные средние

$$\bar{x}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{m_i}.$$

Исходными данными для статистического регулирования с применением контрольных карт медиан являются значения выборочных медиан \tilde{x} (при четном числе членов вариационного ряда медиана – среднее арифметическое двух значений, расположенных в середине ряда; при нечетном числе медианой является центральное значение вариационного ряда).

Далее выбирается план контроля, который устанавливает следующие величины:

- период отбора выборок τ ;
- объем выборки n ;

- границы регулирования K_+ и (или) K_- ;
- значения средних длин серий L_0 и L_1 ;
- нормированное смещение уровня наладки процесса при его разладке δ .

Исходными величинами для выбора плана контроля являются σ , μ_0 , μ_1 , L_0 , L_1 . Иногда величины σ , μ_0 , μ_1 , L_0 , n являются заданными, а L_1 подлежит определению.

Для контрольных карт средних арифметических для заданных L_0 , L_1 и δ по таблице стандарта устанавливаются объемы выборок n и значения $\frac{u}{\sqrt{n}}$, определяющие положение границ регулирования:

$$K_+ = \mu_0 + \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma, \quad K_- = \mu_0 - \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma.$$

Для контрольных карт медиан для тех же исходных данных по таблице определяются объемы выборок n и значения $\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{u}{\sqrt{n}}$. Границы регулирования при этом

$$K_+ = \mu_0 + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma, \quad K_- = \mu_0 - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma.$$

Статистическое регулирование техпроцессов с применением контрольных карт средних квадратических отклонений и размахов

Статистическое регулирование рассеивания значений параметров качества обрабатываемой детали производится с применением контрольных карт средних квадратических отклонений или размахов. В результате предварительного анализа должны быть установлены среднее квадратическое отклонение σ контролируемого параметра x , при котором процесс считается налаженным, и предельно допустимое значение среднего квадратического отклонения σ_1 , при котором требуется корректировка процесса.

Методы статистического регулирования по среднему квадратическому отклонению или размаху применяются для одностороннего

регулирования, так как при этом контролируется только увеличение рассеивания значений параметра. Методы средних квадратических отклонений и размахов применяются для статистического регулирования технологических процессов, *разладка которых характеризуется существенным увеличением рассеивания значений контролируемого параметра*. Метод средних квадратических отклонений при одинаковых условиях осуществления технологического процесса и одних и тех же объемах выборки позволяет более эффективно выявлять разладку процесса, чем метод размахов. Однако последний значительно проще в осуществлении, так как при определении размахов выполняемые вычисления элементарно просты.

Статистическое регулирование может выполняться по уровню наладки и рассеиванию значений контролируемого параметра. При этом может быть использовано различное сочетание перечисленных методов. Например, метод средних арифметических значений может быть применен вместе с методом средних квадратических отклонений или размахов. Метод медиан также может быть использован в сочетании с этими методами регулирования.

Измерение мгновенных выборок деталей за межнастроечный период позволяет определить показатели точности и стабильности технологической операции.

Метод выборочных средних квадратических отклонений позволяет быстрее определять разладку процесса, чем метод размахов при одинаковых объемах выборки, но метод размахов не требует сложных вычислений, необходимых для определения выборочных средних квадратических отклонений.

Метод размахов целесообразно применять при объеме выборки, не превышающем десяти единиц.

На основании предварительного анализа должны быть получены следующие данные: σ – среднее квадратическое отклонение параметра x , при котором выпускается продукция наилучшего качества, то есть процесс налажен; σ_1 – предельно допустимое значение среднего квадратического отклонения параметра x , когда требуется корректировка процесса.

Исходными данными для статистического регулирования с помощью контрольных карт средних квадратических отклонений являются выборочные средние квадратические отклонения, которые определяются по следующим формулам:

при известном среднем значении параметра x :

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - \mu_0)^2}{n}},$$

где x_{ij} – j -й результат измерения контролируемого параметра в i -й выборке;

μ_0 – среднее значение параметра x ;

при неизвестном среднем значении параметра x :

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n}},$$

где \bar{x}_i – выборочное среднее значение параметра x .

Исходными данными для статистического регулирования с применением контрольных карт размахов являются значения размаха

$$R_i = x_{i_{\max}} - x_{i_{\min}}.$$

Выбор плана статистического регулирования состоит в назначении величин τ , n , k (граница регулирования).

Исходными величинами при этом являются L_0 , L_1 и отношение σ_1/σ_0 .

Периодичность взятия выборок τ и их объем n выбираются по таблицам приложения к СТ СЭВ 2835–80. Границу регулирования устанавливают при известном и неизвестном среднем значении параметра x по формуле

$$K = Z\sigma_0.$$

Значения Z приведены в таблицах ГОСТ.

Граница регулирования для контрольных карт размахов определяется по формуле

$$K = \omega\sigma_0.$$

Значения ω приведены в таблице СТ СЭВ 2835–80.

Примеры применения стандарта

Статистическое регулирование технологических процессов с применением контрольных карт средних арифметических и медиан

Пример 2.1. Рассмотрим процесс обработки деталей на токарном станке. Процесс считается налаженным, если средний диаметр обработки деталей $\mu_0 = 52,64$ мм, и разлаженным, если $\mu_1 = 52,65$ мм и $\mu_{-1} = 52,63$ мм. Предварительным статистическим анализом установлено, что $\sigma = 0,005$ мм.

Определим план контроля и рассчитаем границу регулирования при заданных значениях $L_0 = 100$ и $L_1 = 1,25$.

Решение. Определяем нормированное смещение уровня наладки оборудования при его разладке:

$$\delta = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma} = \frac{52,65 - 52,64}{0,005} = 2,0.$$

По величинам δ , L_0 и L_1 по табл. 1 стандарта (табл. 2.1) определяем значения n и $\frac{u}{\sqrt{n}} - n = 3,0$; $\frac{u}{\sqrt{n}} = 1,465$.

Так как контролируемый параметр может как увеличиваться, так и уменьшаться, нужно строить карту с двусторонним критерием, то есть с верхней и нижней границами регулирования:

$$K_+ = \mu_0 + \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma = 52,64 + 1,465 \cdot 0,005 = 52,647 \text{ мм,}$$

$$K_- = \mu_0 - \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma = 52,64 - 1,465 \cdot 0,005 = 52,633 \text{ мм.}$$

На рис. 2.4 представлена контрольная карта для данной технологической операции с результатами контроля десяти выборок. На 10-й выборке точка выходит за нижнюю границу регулирования, что является сигналом о разладке станка и необходимости его остановить для наладки.

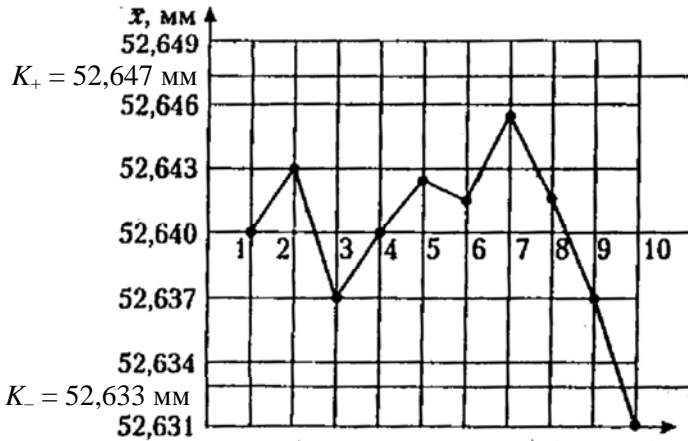


Рис. 2.4. Контрольная карта статистического регулирования методом средних арифметических (\bar{x})

Если осуществлять статистическое регулирование данного процесса с применением контрольной карты медиан, то план контроля изменяется в соответствии с табл. 2 стандарта (табл. 2.2). Для $\delta = 2,0$, $L_0 = 100$ и $L_1 = 1,25$ по этой таблице определяем объем выборки $n = 4$ и $\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{u}{\sqrt{n}} = 1,467$, которая определяет положение границ регулирования:

$$K_+ = \mu_0 + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma = 52,64 + 1,467 \cdot 0,005 = 52,648 \text{ мм,}$$

$$K_- = \mu_0 - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma = 52,64 - 1,467 \cdot 0,005 = 52,632 \text{ мм.}$$

На рис. 2.5 представлена контрольная карта медиан, на которой отмечены результаты контроля десяти последовательных выборок. На 10-й выборке точка на контрольной карте вышла за верхнюю границу регулирования, что служит сигналом о разладке станка.

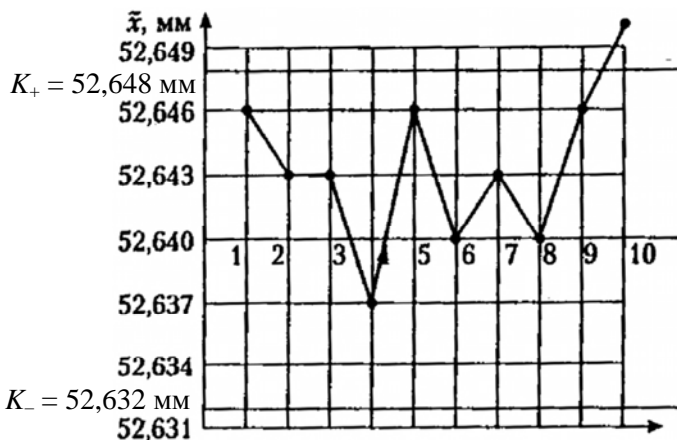


Рис. 2.5. Контрольная карта статистического регулирования методом медиан (\bar{x})

Статистическое регулирование технологических процессов с применением контрольных карт средних квадратических отклонений и размахов

Пример 2.2. Осуществляется процесс фрезерования плоскостей на горизонтально-фрезерном станке. Он считается налаженным при $\sigma_0 = 0,03$ мм и разлаженным при $\sigma_1 = 0,075$ мм.

Заданы значения $L_0 = 20$ и $L_1 = 1,053$.

Требуется определить объем выборки и границу регулирования для построения контрольной карты средних квадратических отклонений.

Решение. Определяем отношение $\frac{\sigma_1}{\sigma_0} = \frac{0,075}{0,03} = 2,5$. По этому от-

ношению и значениям L_0 и L_1 по табл. 3 стандарта (табл. 2.3) определяем объем выборки: $n = 7$ – при известном среднем значении контролируемого параметра и $n = 8$ – при неизвестном значении.

Величина $Z = 1,419$. По ней определяем положение границы регулирования

$$K_+ = 1,419 \cdot 0,03 = 0,0426 \text{ мм.}$$

На рис. 2.6 представлена контрольная карта средних квадратических отклонений с результатами S_i последовательных выборок. Как видно, 12-я точка попадает за границу регулирования, что говорит о разладке оборудования.

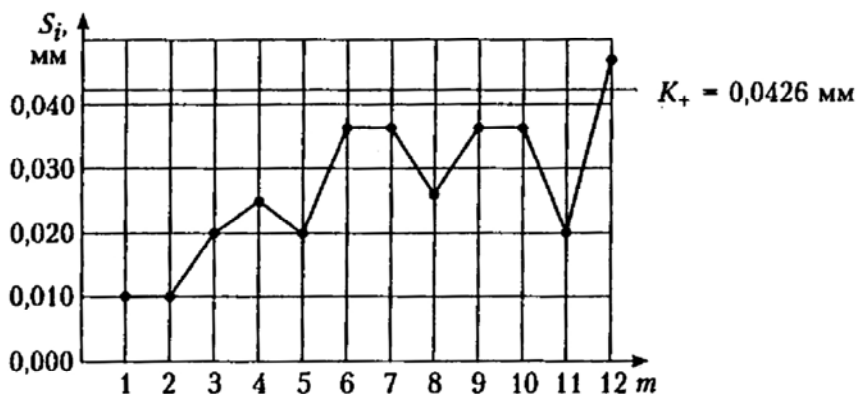


Рис. 2.6. Контрольная карта статистического регулирования методом средних квадратических (S_i)

Если статистическое регулирование данной операции осуществляется с применением контрольной карты размахов, то для выбора плана контроля нужно использовать табл. 4 стандарта (табл. 2.4). В этой таблице для значений $\sigma_1/\sigma_0 = 2,5$, $L_0 = 20$ и $L_1 = 1,053$ находим величину объема выборки $n = 9$ и $\omega = 4,387$, которые определяют положение границы регулирования:

$$K_+ = \omega \sigma_0 = 4,387 \cdot 0,03 = 1,316 \text{ мм.}$$

На рис. 2.7 представлена контрольная карта размахов с результатами R_i , полученными по десяти последовательным выборкам. Размер 10-й выборки попадает за границу регулирования, и станок требует подналадки.

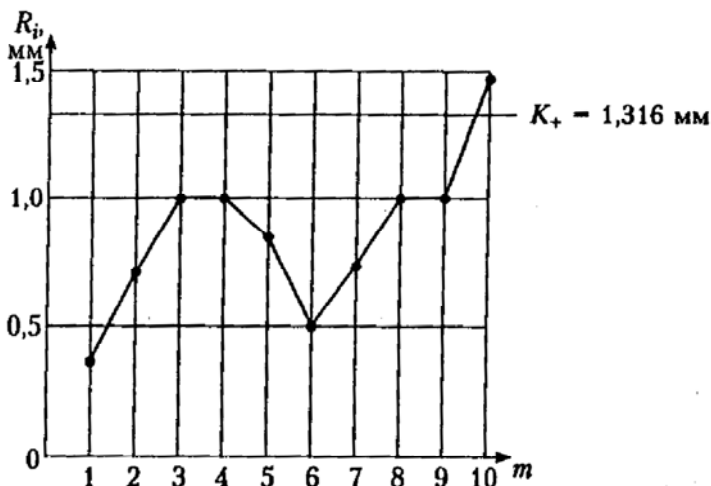


Рис. 2.7. Контрольная карта статистического регулирования методом размахов (R_i)

Практическая часть

Порядок выполнения работы

1. По исходным данным (L_0 , L_1 , σ) выбрать план статистического регулирования.
2. Произвести измерения контролируемого параметра.
3. Выполнить расчеты по определению \bar{x}_{ij} или медиан и занести результаты в контрольную карту.
4. Построить контрольную карту.
5. Проанализировать ход технологического процесса и сделать выводы.
6. Составить отчет.

Методические указания

Для выполнения лабораторной работы исходными параметрами являются:

– комплект деталей (например, втулки) диаметром 14 мм с полем допуска 0,07 мм ($\varnothing 14_{-0,07}$);

- нормы основного и штучного времени: $T_0 = 0,1$ мин; $T_{шт.} = 0,15$ мин;
- стойкость инструмента $T = 90$ мин;
- риск излишней наладки $\alpha = 0,05$; риск незамеченной разладки $\beta = 0,05 - 0,1$;
- параметр регулирования процесса – среднее арифметическое значение \bar{x} или медиана \tilde{x} ;
- варианты задания:

№ варианта	Метод регулирования	Исходные данные				
		μ_1 , мм	μ_2 , мм	L_1	L_2	σ , мкм
1	Ср. арифметич. значений	13,983	13,997	1,18	100	8,7
2	Ср. арифметич. начений	13,984	13,997	1,18	740	6,8
3	Ср. арифметич. значений	13,980	13,998	1,66	200	6,3
4	Медиан	13,990	14,003	1,18	20	5,4
5	Медиан	13,988	14,002	1,18	40	9,1
6	Медиан	13,988	13,996	1,25	100	4,1

В соответствии с ГОСТ 15893–77 (СТ СЭВ 2835–80) для выбора плана статистического регулирования с применением контрольных карт средних арифметических значений и медиан необходимо предварительно определить следующие характеристики:

а) σ – среднее квадратическое отклонение контролируемого параметра x ;

б) μ_0 – среднее значение контролируемого параметра x , которое при соблюдении заданной технологии соответствует выпуску продукции наилучшего качества (в большинстве случаев μ_0 соответствует значению середины поля допуска);

в) μ_1 , μ_{-1} – предельно допустимые средние значения контролируемого параметра x , при которых требуется корректировка процесса (эти значения соответствуют максимально допустимой доле брака):

$$\mu_1 = \mu + \delta\sigma; \quad \mu_{-1} = \mu_0 - \delta\sigma,$$

где δ – величина, характеризующая нормированное смещение наладки (установки) техпроцесса при его разладке:

$$\delta = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma} \quad \text{или} \quad \delta = \frac{\mu_0 - \mu_{-1}}{\sigma};$$

г) средняя длина серий выборок налаженного L_0 и разлаженного L_1 процессов, то есть среднее число мгновенных выборок за межнастроечный период.

Средняя длина серий, для которой составлены таблицы ГОСТ, определена по формулам:

- для налаженного процесса $L_0 = 1/\alpha$;
- для разлаженного процесса $L_1 = 1/(1 - \beta)$;

где α – риск излишней наладки;

β – риск незамеченной разладки.

В работе следует принимать:

μ_0 – равно середине поля допуска на контролируемый размер;

μ_1 – верхнее предельное отклонение размера;

μ_{-1} – нижнее предельное отклонение размера;

$\delta \leq 2$;

L_0 – удобно принять равной 20 выборкам, допуская риск излишней наладки $\alpha = 0,05$, то есть 5 %;

L_1 – принять в соответствии с индивидуальным заданием при условии, что объем мгновенной выборки $n \leq 5$.

Выбор плана статистического регулирования уровня наладки состоит в назначении:

- объема мгновенных выборок n ;
- периода их отбора τ ;
- границ регулирования K_+ , K_- .

По исходным данным L_1 , L_0 , δ в табл. 2.1–2.4 находят значения n и $\frac{u}{\sqrt{n}}$ для контрольных карт средних арифметических значений

параметра или $\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{u}{\sqrt{n}}$ – для контрольных карт медиан.

Периоды взятия выборок определить по формуле

$$\tau = \frac{T_{\text{шт}} T}{T_0 L_0}.$$

Положение границ регулирования определить по формулам:

а) для контрольных карт средних арифметических значений параметра:

$$K_+ = \mu_0 + \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma; \quad K_- = \mu_0 - \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma;$$

б) для контрольных карт медиан:

$$K_+^M = \mu_0 + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma; \quad K_-^M = \mu_0 - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma.$$

При одностороннем смещении контролируемого уровня наладки вычисляют одну из двух границ регулирования.

Выборочные средние значения параметра вычислить по формуле

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij},$$

где x_{ij} – j -й результат измерения контролируемого параметра в i -й выборке;

n – объем мгновенной выборки.

Для определения медианы в i -й выборке значения контролируемого параметра располагают в виде возрастающего вариационного ряда. При четном числе членов вариационного ряда медиану определяют как среднее арифметическое двух значений, расположенных в середине ряда. При нечетном числе членов медианой является значение параметра, находящегося в центре вариационного ряда.

После нанесения на соответствующую карту медиан или средних арифметических значений параметра надо сделать выводы о характере настройки (настроенности) процесса и приемлемости выбранного плана статистического регулирования.

Пример нахождения границы регулирования

Исходные данные.

Метод регулирования – по средним арифметическим значениям:
 $\mu_0 = 13,996$ мм; $\mu_1 = 13,990$ мм; $L_1 = 1,18$; $L_0 = 200$.

Предварительной обработкой статистических данных установлено, что $\sigma = 2,8$.

1. Находим нормальное смещение наладки процесса при его разладке, используя формулу

$$\delta = \frac{\mu_0 - \mu_1}{\sigma} = \frac{13,996 - 13,990}{0,0028} = 2,14.$$

2. По таблицам приложения определяем объем выборки и значение выражения $\frac{U}{\sqrt{n}}$.

В таблице находим $n = 5$; $\frac{U}{\sqrt{n}} = 1,425$.

3. Находим границы регулирования:

$$K_- = \mu_0 - \frac{U}{\sqrt{n}} \sigma = 13,996 - 1,425 \cdot 0,0028 = 13,992 \text{ мм};$$

$$K_+ = \mu_0 + \frac{u}{\sqrt{n}} \sigma = 13,996 + 1,425 \cdot 0,0028 = 13,999 \text{ мм}.$$

4. Выборочные средние значения параметра вычислить по формуле

$$\begin{aligned} \bar{x}_i &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} = \\ &= \frac{13,990 + 13,994 + 14,020 + 13,990 + 13,992}{5} = 13,997 \text{ мм}. \end{aligned}$$

5. Найденные значения наносим на контрольную карту (рис. 2.8).

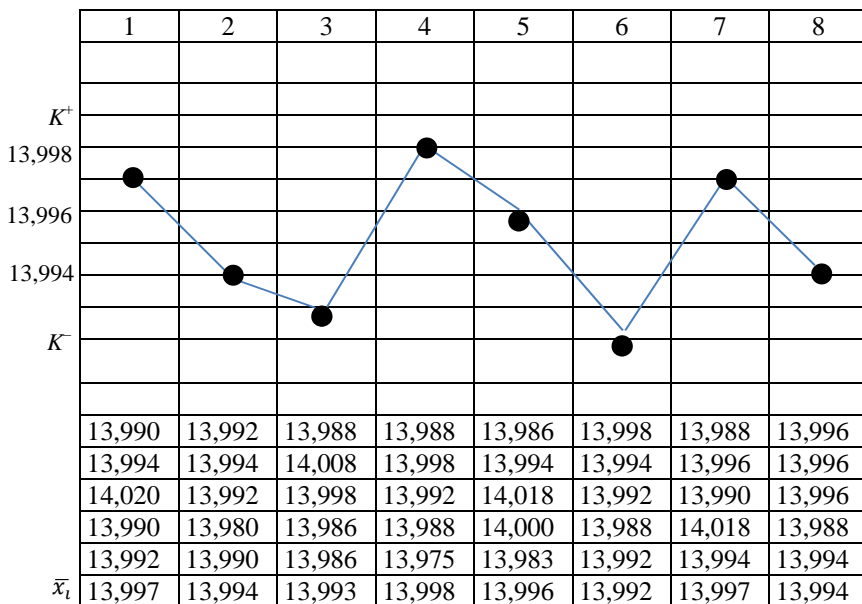


Рис. 2.8. Контрольная карта статистического регулирования методом средних арифметических значений

Справочные таблицы

Таблица 2.1

L_0	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$
	при δ									
	0,6		0,8		1,0		1,5		2,0	
2000	–	–	29	0,609	19	0,760	8	1,141	5	1,531
740	–	–	25	0,593	16	0,742	7	1,113	4	1,484
200	36	0,427	20	0,569	13	0,712	6	1,068	3	1,425
100	32	0,414	18	0,533	11	0,691	5	1,637	3	1,382
40	25	0,392	14	0,522	9	0,553	4	0,980	2	1,306
30	20	0,367	11	0,490	7	0,612	3	0,918	2	1,225

Примечание: $L_1 = 1,18$.

Таблица 2.2

L_0	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\frac{U}{\sqrt{n}}$
	при δ									
	0,6		0,8		1,0		1,5		2,0	
2000	35	0,56	20	0,743	13	0,925	6	1,392	3	1,865
740	29	0,554	16	0,738	11	0,920	5	1,385	3	1,848
200	22	0,547	12	0,429	8	0,910	4	1,320	2	1,825
100	18	0,543	10	0,724	7	0,903	3	1,360	2	1,812
40	14	0,525	8	0,710	5	0,885	2	1,330	1	1,772
20	10	0,512	6	0,692	4	0,864	1	1,295	1	1,735

Примечание: $L_1 = 1,66$.

Таблица 2.3

L_0	n	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{U}{\sqrt{n}}$
	при δ									
	0,6		0,8		1,0		1,5		2,0	
2000	–	–	–	–	30	0,760	13	1,140	8	1,520
740	–	–	40	0,583	26	0,742	11	1,112	7	1,483
200	–	–	32	0,569	21	0,712	9	1,066	6	1,423
100	–	–	28	0,553	18	0,691	8	1,030	5	1,382
40	39	0,391	22	0,522	14	0,653	7	0,978	4	1,305
20	31	0,364	18	0,490	11	0,612	5	0,918	3	1,224

Примечание: $L_1 = 1,18$.

Таблица 2.4

L_0	n	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{U}{\sqrt{n}}$	n	$\sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{U}{\sqrt{n}}$
	при δ									
	0,6		0,8		1,0		1,5		2,0	
2000	–	–	43	0,636	28	0,795	12	1,195	7	1,594
740	–	–	37	0,623	24	0,778	11	1,168	6	1,558
200	–	–	29	0,601	19	0,751	9	1,128	5	1,504
100	–	–	25	0,586	16	0,732	8	1,099	4	1,467
40	35	0,418	20	0,554	13	0,697	6	1,046	4	1,388
20	28	0,395	16	0,528	10	0,659	5	0,989	3	1,320

Примечание: $L_1 = 1,25$.

Содержание отчета

1. Задание.
2. Цель работы.
3. Эскиз детали с указанием измеряемого размера.
4. Выбор плана статистического регулирования.
5. Вычисление границ регулирования.
6. Контрольная карта статистического регулирования.
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность статистического регулирования процесса?
2. Как определяется медиана?
3. Как определяются границы статистического регулирования по среднему арифметическому значению и медиане?
4. В чем заключается выбор плана статистического регулирования?
5. Что понимается под длиной серии налаженного и разлаженного процессов и на основании чего она определяется?

Список использованной литературы

1. Международные стандарты. Управление качеством продукции : ИСО 8402, ИСО 9000-ИСО 9004. – Москва: Изд-во стандартов, 1988. – 96 с.
2. Рекомендации по применению статистических методов управления качеством продукции : РД 3.02–93. – Минск: Изд-во Госкомпрома Республики Беларусь, 1994. – 35 с.
3. Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А. И. Якушев. – Москва: Машиностроение, 1979. – 464 с.
4. Маталин, А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Ленинград: Машиностроение, 1985. – 512 с.
5. Дипломное проектирование по технологии машиностроения / под ред. В. В. Бабука. – Минск: Вышэйшая школа, 1979. – 464 с.

Лабораторная работа № 3

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПРИ СБОРКЕ

Цель работы

1. Изучить методы групповой взаимозаменяемости, пригонки и регулирования путем выполнения необходимых размерных расчетов, рассортировки деталей на группы и сборки их в сборочные единицы.
2. Осуществить процесс контроля точности механизма.

Задачи работы

1. Изучить методы достижения точности замыкающего звена, применяемые при сборке.
2. Построить схемы размерных цепей сборочных единиц.
3. Произвести размерные расчеты, необходимые для осуществления методов групповой взаимозаменяемости, пригонки и регулирования.
4. Рассортировать детали на группы.
5. Произвести сборку сборочных единиц.
6. Проконтролировать точность замыкающего звена.

Инструмент и принадлежности

1. Измерительная стойка с индикатором часового типа ИЧ-2 ГОСТ 576–78 (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Измерительная стойка с индикатором

2. Комплект сборочных единиц (50 шт.), рис. 3.2.



Рис. 3.2. Комплект деталей

3. Эскиз сборочной единицы (рис. 3.3).

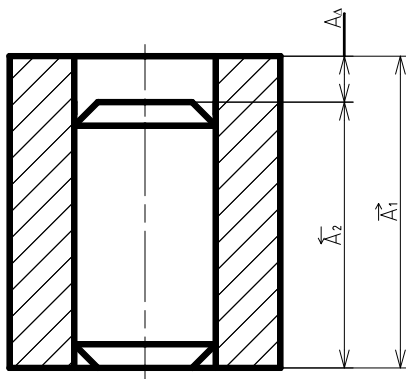


Рис. 3.3. Эскиз сборочной единицы

Теоретическая часть

Характеристика сборочных процессов

Процесс сборки является заключительным этапом изготовления приборов, в значительной степени определяющим их основные эксплуатационные качества. Условия достижения высоких эксплуатационных качеств не ограничиваются созданием удачной конструкции или применением высококачественных материалов. Не гаран-

тирует этих качеств и высокоточное изготовление деталей с обеспечением оптимального состояния поверхностных слоев, их сопряженных или рабочих поверхностей. Процесс изготовления прибора может гарантировать достижение всех требуемых эксплуатационных показателей, а также его надежности и долговечности в эксплуатации лишь при условии высококачественного проведения всех этапов сборки приборов (то есть сборки и регулировки отдельных сборочных единиц, узлов и общей сборки и испытаний изготовленного изделия в целом). Это связано с тем, что в процессе сборки вполне доброкачественных деталей по различным причинам могут возникать погрешности взаимного расположения, существенно снижающие точность и служебные качества собираемого изделия. Причинами возникновения таких погрешностей могут быть:

а) ошибки, допускаемые рабочим при ориентации и фиксации установленного положения собираемых деталей (образование зазоров между торцами втулок, монтируемых на валах, и торцами соответствующих фланцев и буртиков валов в связи с недостаточно плотным их соединением сборщиком или сдвигом втулки сверлом при засверливании штифтового отверстия «по месту»; попадание грязи и стружки между сопрягаемыми поверхностями; нарушение правильной последовательности затяжки винтовых соединений и непостоянство усилия затяжки и т. д.);

б) погрешности установки калибров и измерительных средств, применяемых при сборке; погрешности регулирования, пригонки и контроля точности детали в изделии, достигнутого при сборке, а также собственные погрешности измерительных средств;

в) относительные сдвиги деталей в промежутке времени между их установкой в требуемое положение и их фиксацией в этом положении;

г) образование задиров на сопрягаемых поверхностях деталей;

д) упругие деформации сопрягаемых деталей при их установке и фиксации и пластические деформации поверхностей сопряжения, нарушающие их точность и плотность соединений.

Выполнение сборочных работ связано с большой затратой времени, составляющей значительную долю общей трудоемкости изготовления изделия. В зависимости от типа производства затраты времени на сборочные работы составляют (в процентах от общей трудоемкости изготовления изделий):

- в массовом и крупносерийном производстве – 20–30;
- серийном производстве – 25–35;
- единичном и мелкосерийном производстве – 35–40.

Следует отметить, что основная часть (50–85 %) слесарно-сборочных работ представляет собой ручные работы, требующие больших затрат физического труда и высокой квалификации рабочих.

Виды размерных цепей

Взаимное расположение деталей сборочных соединений или расположение сборочных элементов изделий, а также отдельных поверхностей деталей определяется линейными и угловыми размерами, устанавливающими расстояния между соответствующими поверхностями или осями отдельных деталей или сборочных элементов и образующими замкнутые размерные цепи.

Размерной цепью называется совокупность размеров, расположенных по замкнутому контуру, определяющих взаимное расположение поверхностей или осей поверхностей одной детали или нескольких деталей сборочного соединения.

Различают поддетальные и сборочные размерные цепи.

Наиболее общий случай представляют пространственные размерные цепи.

Пространственной называют размерную цепь, все или часть звеньев которой параллельны одно другому и лежат в непараллельных плоскостях. Всякую пространственную размерную цепь путем проектирования на плоскость можно преобразовать в плоскую.

Плоской размерную цепь называют в том случае, если все или часть ее звеньев непараллельны, но лежат в одной или нескольких параллельных плоскостях. Путем проектирования плоских цепей на оси координат можно получить линейные размерные цепи.

Линейными размерные цепи называют в том случае, если все ее звенья номинально параллельны одно другому.

Размеры, входящие в размерную цепь, называют *звеньями*.

Звено размерной цепи, являющееся исходным при постановке задачи или получающееся последним в результате ее решения, называется *исходным* или *замыкающим* звеном. Остальные звенья цепи называются *составляющими*.

Замыкающий размер принято обозначать индексом Δ , например A_{Δ} , B_{Δ} и т. д. Его величина и точность зависят от величины и точности всех остальных размеров цепи; звено может быть положительным (зазор), отрицательным (натяг) и равным нулю. Составляющие размеры принято обозначать A_i , B_i и т. д. (рис. 3.4).

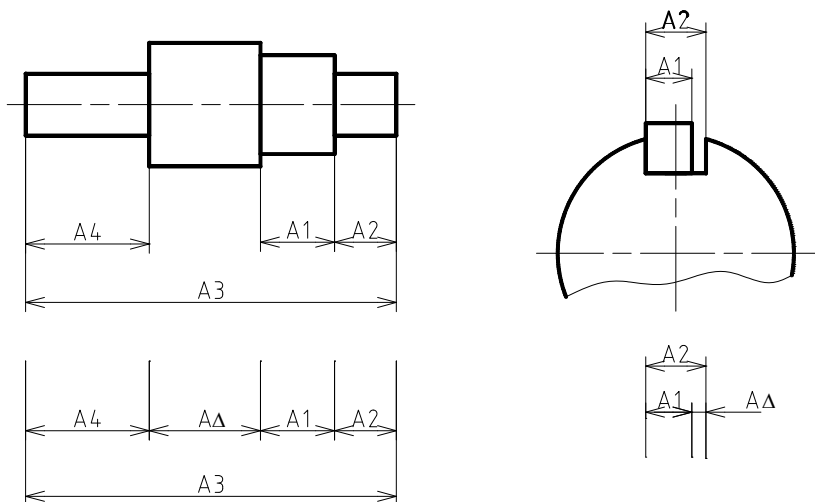


Рис. 3.4. Виды размерных цепей

Увеличивающим называют размер, при увеличении которого замыкающий размер увеличивается (обозначается $\overline{A_i}$).

Уменьшающим называют размер, при увеличении которого замыкающий размер уменьшается (обозначается $\overline{A_i}$).

Расчеты размерных цепей

В общем случае целью расчета размерных цепей является решение одной из двух существующих задач.

1. Прямая задача (проектная). По заданным параметрам замыкающего звена определяются параметры составляющих звеньев. Практически при этом по известным предельным отклонениям и допуску замыкающего звена, называемому в этом случае исходным, расцени-

тываются допуски и предельные отклонения размеров составляющих звеньев.

2. Обратная задача (проверочная). По известным параметрам составляющих звеньев определяются параметры замыкающего звена. Практически при этом по известным номинальным размерам и их предельным отклонениям, допускам и характеристикам рассеяния размеров составляющих звеньев рассчитываются: номинальный размер замыкающего звена, его допуск или поле рассеяния и предельные отклонения.

Выбор конкретного способа расчета в первую очередь зависит от принятого в его основу метода достижения требуемой точности изделия по принципу полной или неполной взаимозаменяемости.

***Методы достижения точности замыкающего звена,
применяемые при сборке***

Метод	Сущность метода	Область применения
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
1. Метод полной взаимозаменяемости	Это метод, при котором точность замыкающего звена размерной цепи достигается у всех объектов путем включения в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значения	В условиях достижения высокой точности при малом числе звеньев размерной цепи и при достаточно большом числе изделий, подлежащих сборке
2. Метод неполной взаимозаменяемости	Это метод, при котором точность замыкающего звена размерной цепи достигается у заранее обусловленной части объектов путем включения в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значения	Для достижения точности многозвенных размерных цепей; допуски на составляющие звенья при этом больше, чем в предыдущем методе, что повышает экономичность получения сборочных единиц; у части изделий погрешность замыкающего звена может быть за пределом допуска на сборку, т. е. возможен определенный риск несобираемости

1	2	3
3. Метод групповой взаимозаменяемости	Это метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к одной из групп, на которые они предварительно рассортированы	Для достижения наиболее высокой точности замыкающих звеньев мало-звенных размерных цепей; требует четкой организации сортировки деталей на размерные группы, их маркировки, хранение в специальной таре
4. Метод пригонки	Это метод, при котором точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением размера компенсирующего звена путем удаления с компенсатора определенного слоя материала	При сборке изделий с большим числом звеньев; детали могут быть изготовлены с экономичными допусками, но требуются дополнительные затраты на пригонку компенсатора; экономичность в значительной мере зависит от правильного выбора компенсирующего звена, которое не должно принадлежать нескольким связанным размерным цепям
5. Метод регулирования	Это метод, при котором точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением размера или положения компенсирующего звена без удаления материала с компенсатора	Аналогичен методу пригонки, но имеет большее преимущество в том, что при сборке не требуется выполнять дополнительные работы со снятием слоя материала; обеспечивает высокую точность и дает возможность периодически ее восстанавливать при эксплуатации машин и приборов

1	2	3
б. Метод сборки с компенсирующими материалами	Это метод, при котором точность замыкающего звена размерной цепи достигается применением компенсирующего материала, вводимого в зазор между сопрягаемыми поверхностями деталей после их установки в требуемом положении	Наиболее целесообразно для соединений и узлов, базирующихся по плоскостям; в ремонтной практике для восстановления работоспособности сборочных единиц, для изготовления оснастки

Размерные расчеты сборочных процессов

Под точностью сборки следует понимать свойство процесса сборки изделия обеспечивать соответствие значений параметров изделия, заданным в конструкторской документации. В результате сборки должно быть обеспечено такое взаимное расположение деталей и сборочных единиц, чтобы исполнительные (функциональные) поверхности или сочетание этих поверхностей в своем относительном движении, а также в стабильном состоянии не выходили за пределы установленных допусков не только в процессе сборки, но и в процессе эксплуатации изделия. Одним из средств определения рациональных допусков, обеспечивающих наиболее экономичную обработку деталей и сборку изделий, является расчет и анализ размерных цепей.

Выбор метода производится при разработке конструкции изделия, так как это связано с установлением допусков составляющих звеньев размерной цепи, а также применением в сборочных единицах определенных конструктивных элементов.

При разработке техпроцесса сборки анализируется принятое конструктором решение с точки зрения возможности рационального применения выбранного метода достижения точности замыкающего звена в данных производственных условиях.

При анализе методов достижения точности замыкающего звена при сборке пользуются ГОСТ 16319–80.

Номинальные размеры замыкающего A_{Δ} и составляющих A_i звеньев связаны между собой уравнением

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi A_i,$$

где ξ – передаточное отношение, в общем случае $\xi_i = \frac{\partial A_{\Delta}}{\partial A_i}$;

m – общее число звеньев в размерной цепи.

Для линейных размерных цепей с параллельными звеньями для увеличивающих составляющих звеньев передаточные отношения $\xi = 1$, для уменьшающих составляющих звеньев $\xi = -1$. Формула расчета допуска замыкающего звена определяется в зависимости от методов расчета.

При расчете на максимум-минимум (полная взаимозаменяемость)

$$IT_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} |\xi_i| \cdot IT_i.$$

Метод регулирования

При достижении точности по методу регулирования требуемая точность замыкающего звена достигается путем включения в размерную цепь дополнительных компенсирующих звеньев, размеры которых подбираются в процессе сборки.

При методе регулирования используются следующие формулы.

Число ступеней неподвижного компенсатора для случая, когда допуск на изготовление компенсатора пренебрежимо мал по сравнению с допуском замыкающего звена:

$$N = \frac{IT'_{\Delta}}{IT_{\Delta}} \quad \text{или} \quad N = \frac{IT_k}{IT_{\Delta}} + 1,$$

где IT'_{Δ} – возможный допуск замыкающего звена, получаемый по методу максимума-минимума при назначении экономически достижимых допусков на все составляющие звенья;

IT_{Δ} – допуск замыкающего звена, определяемый служебным назначением или поставленной задачей;

IT_k – наибольшая возможная компенсация: $IT_k = IT'_{\Delta} - IT_{\Delta}$.

Число ступеней неподвижного компенсатора с учетом погрешностей компенсаторов $IT_{\text{ком}}$

$$N = \frac{IT_{\Delta}'}{IT_{\Delta} - IT_{\text{ком}}}.$$

Координата середины расширенного поля допуска замыкающего звена

$$\Delta_{0\Delta}' = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{0i},$$

где Δ_{0i} – координата середины поля допуска i -го звена.

Поправка к координате середины поля допуска компенсирующего звена при условии совмещения нижних границ допусков IT_{Δ}' и IT_{Δ} замыкающих звеньев

$$\Delta_{\text{к}}' = \frac{IT_{\text{к}}}{2} - \Delta_{0\Delta}' + \Delta_{0\Delta},$$

где $\Delta_{0\Delta}'$ – координата середины поля допуска IT_{Δ}' замыкающего звена;

$\Delta_{0\Delta}$ – координата середины поля допуска IT_{Δ} замыкающего звена.

Степень компенсации

$$C = IT_{\Delta} - IT_{\text{ком}}.$$

Предельные отклонения размера любого звена размерной цепи:

$$\Delta_{\text{в}} = \Delta_0 + \frac{IT_i}{2};$$

$$\Delta_{\text{н}} = \Delta_0 - \frac{IT_i}{2},$$

где $\Delta_{\text{в}}$, $\Delta_{\text{н}}$ – верхние и нижние предельные отклонения звена размерной цепи;

Δ_0 – координата середины поля допуска звена;

IT_i – допуск звена.

Метод групповой взаимозаменяемости (селективная сборка)

При достижении точности по методу групповой взаимозаменяемости требуемая точность замыкающего звена достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к общей группе предварительно измеренных и рассортированных деталей.

В этом случае детали изделия обрабатываются по расширенным, а также экономически достижимым производственным допускам и сортируются по их истинным размерам на группы с таким расчетом, чтобы при соединении деталей, входящих в определенные группы, было обеспечено достижение установленного конструктором допуска замыкающего звена и гарантирована требуемая точность сборочного соединения. Метод групповой взаимозаменяемости применяется главным образом для размерных цепей, состоящих из небольшого числа звеньев, для сборочных соединений особо высокой точности, практически недостижимой методом полной взаимозаменяемости. Расчет групповых допусков сводится к определению числа групп n , на которые должны быть рассортированы сопрягаемые детали, величины групповых допусков и предельных отклонений групповых размеров. Допуск замыкающего звена соединения, изображенного на рис. 3.5 (допуск зазора), при поставленных в чертеже широких, экономически достижимых допусках составляющих звеньев $(IT)A_1$ и $(IT)A_2$ определяются выражением

$$(IT)\Delta = \Delta_{\text{max}} - \Delta_{\text{min}} = (IT)A_1 + (IT)A_2,$$

где Δ_{max} и Δ_{min} – наибольший и наименьший зазоры соединения.

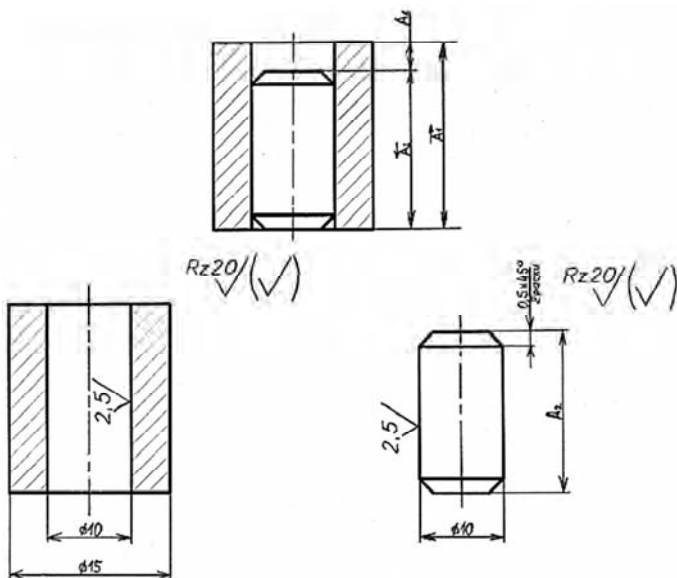
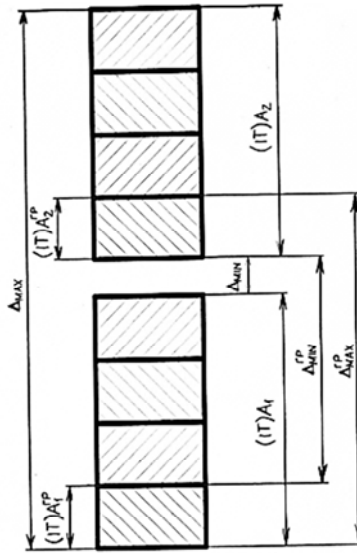


Рис. 3.5. К расчету размерной цепи в соединении

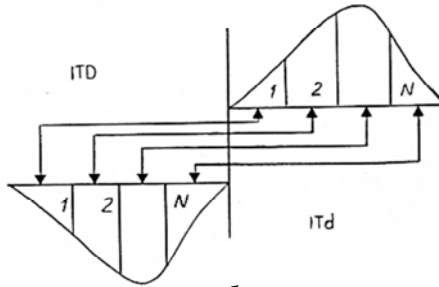
Для повышения точности без ужесточения экономически достижимых допусков на составляющие звенья $(IT)A_1$ и $(IT)A_2$ поля этих допусков делятся на n частей (групп), образуя групповые допуски $(IT)A^{гп}_1$ и $(IT)A^{гп}_2$ (рис. 3.6, а). Соответственно, все детали, изготовленные по допускам $(IT)A_1$ и $(IT)A_2$, сортируются по группам в пределах групповых допусков и поступают на сборку групповыми комплектами (комплект валов и втулок первой группы, комплект валов и втулок второй группы и т. д.). При этом соединение валов и втулок общей группы производится без всякого дополнительного подбора, то есть по принципу полной взаимозаменяемости. Если по условиям эксплуатации изделия наибольший зазор соединения Δ_{\max} должен быть уменьшен до величины $\Delta^{гп}_{\max}$, то необходимая величина группового допуска $(IT)A^{гп}_2$ может быть определена из выражения

$$(IT)A^{гп}_2 = \Delta^{гп}_{\max} - \Delta_{\min} - (IT)A_1,$$

где Δ_{\min} – наименьший зазор соединения, определяемый эксплуатационными требованиями, указанный в чертеже изделия.



a



б

Рис. 3.6. Схема сортировки деталей на группы:
схема определения групповых допусков (*a*)
и схема соответствия комплектовочных групп (*б*)

Количество необходимых групп n определяется по формуле

$$n = (IT)A_2 / (IT)A_1^{cp}.$$

Для обеспечения равномерности соединений в разных группах (постоянство предельных зазоров во всех группах) необходимо, чтобы $(IT)A_1 = (IT)A_2$, и тогда $(IT)A_1^{cp} = (IT)A_2^{cp}$. В ряде случаев сборки

высокоточных соединений метод групповой взаимозаменяемости является практически единственно возможным.

Для осуществления нормальной и ритмичной сборки необходимо ее непрерывное обеспечение достаточным количеством собираемых деталей в каждой группе. В связи с этим организация селективной сборки реально осуществима только в условиях серийного или массового производства. Практически важно, чтобы внутри каждой группы собираемых деталей на сборке было обеспечено одинаковое количество валов и втулок. Это может быть достигнуто только при условии одинаковых законов распределения размеров комплектующих деталей (рис. 3.6, б). В противном случае на сборке скапливается большое число деталей разных групп, не комплектующих друг с другом.

Порядок выполнения работы

Метод групповой взаимозаменяемости

1. Измерить линейные размеры деталей: длину втулок L и длину валов l .

1.1. Подобрать блок концевых мер 5 на величину установочного размера, заданного чертежом (в данном случае 15 мм для валов и 16 мм для втулок), рис. 3.7.

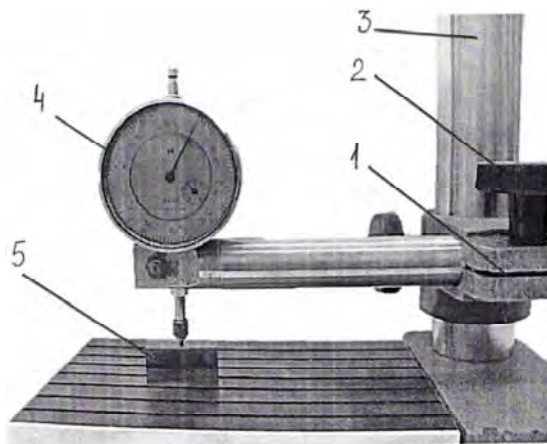


Рис. 3.7. Стойка для измерения размеров деталей

1.2. Открутить винт 2 и опустить кронштейн 1 по колонке стойки 3 до соприкосновения наконечника индикатора с поверхностью блока концевых мер 5 до тех пор, пока большая стрелка индикатора сделает 1–2 оборота (обычно достаточно одного оборота). В таком положении закрепить кронштейн 1 винтом 2. «Натяг» делается для того, чтобы в процессе измерений индикатор мог показывать как положительные, так и отрицательные отклонения от начального положения.

1.3. Поворотом ободка 4 совместить нулевой штрих большой шкалы с большой стрелкой индикатора.

1.4. Убрать концевые меры и произвести измерения деталей.

2. Вычертить эскиз сборочной единицы (см. рис. 3.3).

3. Построить размерную цепь.

5. Разделить валы и втулки на две группы. Данные занести в таблицу.

6. Определить групповые max и min зазоры.

Первая группа				
№ сборочной единицы	Размеры деталей в сборочной единице		Зазор A_{Δ} , мм	IT_{Δ} , мм
	Втулка L , мм	Вал l , мм		
1				
2				
...				
Вторая группа				
№ сборочной единицы	Размеры деталей в сборочной единице		Зазор A_{Δ} , мм	IT_{Δ} , мм
	Втулка L , мм	Вал l , мм		
1				
2				
...				

Метод регулирования

В работе производится проверка возможности обеспечения точности замыкающего звена методом регулирования, а также сборка механизмов с обеспечением точности методом регулирования с неподвижным компенсатором и определение действительной точности замыкающего звена.

Для выполнения работы выдается пять комплектов деталей, при сборке которых с помощью неподвижного компенсатора должна быть обеспечена заданная точность замыкающего звена A_{Δ} (рис. 3.8). Закон распределения действительных размеров деталей неизвестен.

П р и м е р. Для достижения точности сборки приведенного механизма (допуск на осевой зазор $IT_{\Delta} = 0,2$ мм) в качестве компенсирующего звена может быть принято звено $A_{6к}$ (рис. 3.9). В данном случае в конструкции предусмотрено применение неподвижного компенсатора с размерами $A_{6к} = 2$ мм с допуском $IT_{ком} = 0,02$ мм. Номинальные значения и допуски составляющих звеньев размерной цепи:

$$A_1 = 430^{+0,16}; \quad A_2 = 80_{-0,06}; \quad A_3 = 100_{-0,08};$$

$$A_4 = 190_{-0,1}; \quad A_5 = 58^{+0,13}_{+0,07} \text{ мм.}$$

Уравнение размерной цепи в данном случае будет следующим:

$$A_{\Delta} = A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5 - A_{6к}.$$

Допуск замыкающего звена при расчете на максимум-минимум:

$$IT'_{\Delta} = 0,16 + 0,06 + 0,08 + 0,10 + 0,06 = 0,46 \text{ мм.}$$

Число ступеней компенсатора:

$$N = \frac{0,46}{0,20 - 0,02} = 2,67 \approx 3.$$

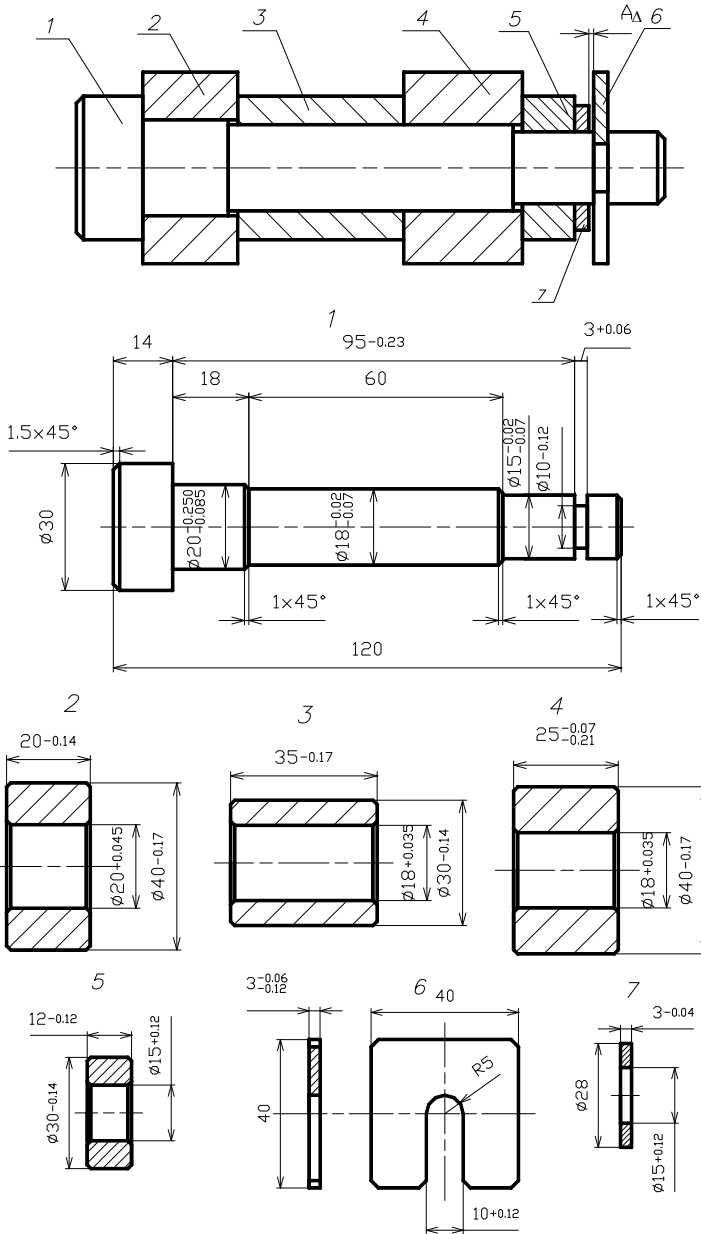


Рис. 3.8. Сборочная единица и детали для выполнения работы

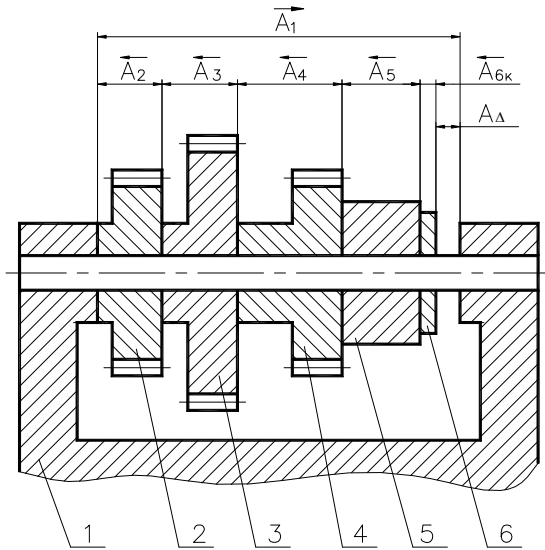


Рис. 3.9. Сборочная единица к примеру расчета

Координата середины поля допуска замыкающего звена $\Delta_{0\Delta} = +0,1$ мм. Определим координату середины расширенного поля допуска замыкающего звена. Для этого примем $\Delta_{0к} = 0$.

$$\Delta'_{0\Delta} = 0,08 - (-0,03) - (-0,04) - (-0,05) - (+0,10) - 0 = +0,1 \text{ мм.}$$

Поправка к координате середины поля допуска компенсирующего звена

$$\Delta'_к = 0,28/2 - 0,1 + 0,1 = +0,14 \text{ мм.}$$

Так как компенсирующее звено является уменьшающим, то поправку учитываем с обратным знаком. Поэтому координата середины поля допуска первой ступени компенсирующего звена

$$(\Delta'_{0к})^I = 0 - 0,14 = -0,14 \text{ мм.}$$

Координаты середины полей допусков каждой последующей ступени будут отличаться от координаты середин полей допусков каждой предшествующей ступени на ступень компенсации:

$$C = 0,2 - 0,02 = 0,18 \text{ мм},$$

тогда

$$(\Delta'_{0к})^{\text{II}} = (\Delta'_{0к})^{\text{I}} + C = -0,14 + 0,18 = +0,04 \text{ мм};$$

$$(\Delta'_{0к})^{\text{III}} = (\Delta'_{0к})^{\text{I}} + 2C = -0,14 + 2 \cdot 0,18 = +0,22 \text{ мм}.$$

Окончательно найдем предельные отклонения ступеней компенсатора:

I ступень – $2_{-0,15}^{-0,13}$ мм;

II ступень – $2_{+0,03}^{+0,05}$ мм;

III ступень – $2_{+0,21}^{+0,23}$ мм.

Соберем пять одноименных сборочных единиц в нижеприведенном порядке.

1. Предварительно собираем сборочную единицу без компенсатора.

2. Измеряем полученный зазор при помощи контрольного приспособления.

3. Ориентируясь на измеренное значение, выбираем компенсатор требуемой ступени и определяем расчетное значение замыкающего звена при использовании этой ступени компенсатора:

$$A_{\Delta p} = A_{\Delta}' - A_{6к}^N,$$

где $A_{6к}^N$ – размер N -й ступени компенсатора с указанием предельных отклонений.

Например, у сборочной единицы 1 измеренное значение зазора $A_{\Delta}' = 2,15$ мм. Выбираем ту ступень компенсатора, которая имеет ближайшее значение размера, то есть II ступень с размером

$A_{\text{БК}}^N = 2_{+0,03}^{+0,05}$. Расчетное значение замыкающего звена $A_{\Delta p} = 2,15 - 2_{+0,03}^{+0,05} = 0,10-0,12$ мм, что лежит в требуемых пределах $0-0,2$ мм.

4. Устанавливаем компенсатор и окончательно собираем сборочную единицу.

5. Измеряем замыкающее звено с помощью контрольного приспособления.

Данные измерений, расчета и выбора ступени компенсатора заносим в таблицу.

№ сборочной единицы	A_{Δ}'	Степень компенсатора	$A_{\Delta p}$	$A_{\text{Дизм}}$
1	2,15	II	0,10–0,12	0,11
2	1,91	I	0,04–0,06	0,06
3	2,38	III	0,15–0,17	0,15
4	2,22	II	0,17–0,19	0,18
5	1,99	I	0,12–0,14	1,12

Контрольные измерения зазора $A_{\text{Дизм}}$ подтверждают правильность выбора ступеней компенсатора и обеспечение требуемой точности замыкающего звена.

Практическая часть

Порядок выполнения работы

1. Построить схему размерной цепи сборочной единицы с неподвижным компенсатором.
2. Составить уравнение номинальных размеров размерной цепи.
3. Определить допуск замыкающего звена по методу максимума-минимума для сборочной единицы с неподвижным компенсатором.
4. Определить наибольшее значение компенсации и число ступеней компенсатора.
5. Определить координаты середин полей допусков и предельные отклонения всех ступеней компенсатора.
6. Собрать пять комплектов сборочных единиц, предварительно измерив зазор в сборочной единице без компенсатора и выбрав требуемый компенсатор.

7. Окончательно измерить замыкающие звенья сборочных единиц. Результаты измерений занести в таблицу.
8. Разобрать сборочные единицы.
9. Проанализировать полученные результаты.
10. Составить отчет.

Содержание отчета

1. Цели и задачи работы.
2. Эскизы сборочных единиц, результаты измерений и расчетов, сведенные в таблицы, по каждому из методов.
3. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Виды размерных цепей.
2. Задачи, решаемые при расчете размерных цепей.
3. Методы достижения точности замыкающего звена.
4. В чем заключается метод групповой взаимозаменяемости?
5. Условия, необходимые для осуществления метода групповой взаимозаменяемости.
6. Когда метод групповой взаимозаменяемости не применяется?
7. Преимущества метода групповой взаимозаменяемости.
8. В чем заключается метод регулирования?
9. Преимущества метода регулирования.

Список использованной литературы

1. Маталин, А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Ленинград: Машиностроение, 1985. – 512 с.
2. Колесов, И. М. Основы технологии машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов / И. М. Колесов. – Москва: Высшая школа, 1999. – 591 с.
3. Лабораторный практикум по технологии машиностроения / под ред. В. В. Бабука. – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – 222 с.

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ

Цель работы

1. Изучить методику расчета жесткости технологической системы и методы экспериментального определения жесткости станка.
2. Определить погрешности формы детали в продольном сечении после обработки на токарном станке.

Задачи работы

1. Установить связь точности изготовленных деталей с припусками и свойствами материала заготовки.
2. Изучить экспериментальный и расчетный методы определения жесткости элементов технологической системы.
3. Определить экспериментальным путем погрешность профиля продольного сечения консольно закрепленного нежесткого вала, и сравнить полученные данные с расчетными.
4. Определить жесткость передней и задней бабок токарного станка методом статического нагружения.
5. Определить экспериментальным путем погрешность формы профиля продольного сечения вала после обработки его в центрах и рассчитать величину упругих перемещений вала с учетом податливости передней и задней бабок.

Оборудование, инструмент и принадлежности

1. Станок токарный настольный модель Т-28.
2. Устройство нагружающее.
3. Центр передней бабки, закрепляемый в трехкулачковом патроне.
4. Ключ торцевой четырехгранный ($S = 6$ мм).
5. Индикатор часового типа ИЧ-10 ГОСТ 577–68.
6. Линейка измерительная металлическая ГОСТ 427–75.
7. Вал $d = 10$ мм, $L = 200$ мм, $E = 2,1 \cdot 10^5$ Н/мм².

Теоретическая часть

Связь точности изготовления детали с припуском и свойствами материала заготовки

Станок, приспособление, инструмент и заготовка образуют технологическую систему, элементы которой в процессе обработки должны быть замкнуты. С момента врезания режущих кромок инструмента в материал заготовки технологическая система подпадает под действие сил резания, а также периодически изменяющихся сил, вызванных дисбалансом быстровращающихся узлов станка или заготовки. Под действием этих сил, вследствие зазоров в стыках деталей технологической системы, контактного и упругого деформирования, заготовка и режущий инструмент начинают перемещаться в пространстве в направлениях, не предусмотренных кинематикой процесса обработки. Эти перемещения происходят до тех пор, пока силы сопротивления, создаваемые упругими свойствами материала деталей, не уравновесят действия внешних сил и пока в технологической системе не создастся натяг, необходимый для съема слоя материала с заготовки.

Силовые факторы, действующие в технологической системе непостоянны. Наиболее значительное влияние на силу резания оказывают глубина резания и свойства материала заготовки. Глубина резания определяется припуском на обработку, колебание значений которого в партии заготовок является причиной рассеяния размеров деталей, изготовленных из них. Неравномерный припуск на отдельной поверхности заготовки приводит к отклонениям формы этой поверхности у изготовленной детали из-за неодинакового упругого перемещения элементов технологической системы. Избыточный и неравномерный припуск вынуждает назначать дополнительные рабочие ходы, что ведет к снижению производительности процесса изготовления детали.

Различие твердости материала заготовок в обрабатываемой партии и колебание ее значений в разных частях отдельной заготовки также вызывают изменение сил резания, а следовательно, и величины деформации элементов технологической системы. В процессе обработки заготовки непрерывно идет изнашивание режущего инструмента, что приводит к увеличению силы резания, особенно на

заключительном этапе периода стойкости инструмента. В своей совокупности эти явления приводят к отклонениям формы, относительного положения и размеров обработанных поверхностей деталей. Увеличение полей рассеяния значений припусков или характеристик свойств материалов приводят к увеличению поля рассеяния сил резания.

Жесткость технологической системы

Величина упругих перемещений инструмента и заготовки кроме силы резания зависит от жесткости элементов технологической системы. Под *жесткостью* технологической системы понимают ее способность оказывать сопротивление относительно перемещению режущего инструмента и обрабатываемой заготовки в направлении действия силы, порождающей это перемещение. В общем случае связь между силой P и соответствующему ей упругому перемещению y не линейна, поэтому жесткость j следует измерять отношением приращения деформирующей силы ΔP к приращению перемещения Δy , измеренному в направлении ее действия:

$$j = \frac{\Delta P}{\Delta y}.$$

Жесткость j измеряется в килоньютонах на миллиметр (кН/мм).

Сила резания вызывает упругие отжатия (деформации) элементов технологической системы, а колебания силы резания приводят к постоянному изменению упругих отжатий. Общая картина деформирования системы показана на рис. 4.1. Режущий инструмент настроен на выполнение размера d_n . Однако как только начинается процесс резания и появляется сила P_y , технологическая система деформируется, центр O заготовки упруго перемещается в положение O_1 на расстояние y_1 , а инструмент – на расстояние y_2 . Поэтому станок будет обтачивать заготовку диаметром $d_1 = d_n + 2(y_1 + y_2)$. Такая ситуация характерна для определенного момента времени. В следующий момент силовая картина изменится, так как постоянно

меняется сила резания. Поэтому упругие перемещения y_1 и y_2 нельзя полностью компенсировать предварительной настройкой технологической системы.

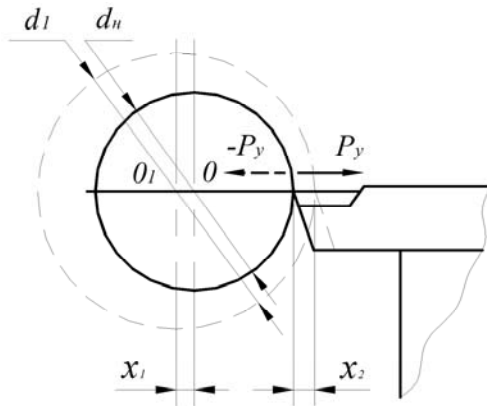


Рис. 4.1. Схема определения упругих деформаций технологической системы

При определении жесткости перемещение y измеряется в направлении, перпендикулярном к обрабатываемой поверхности, и в расчет вводится нормальная составляющая P_y силы резания. В качестве приближенной характеристики технологической системы используют среднюю жесткость j для данного диапазона изменения силы P_y :

$$j = \frac{P_y}{y}. \quad (4.1)$$

Эксперименты показывают, что жесткость зависит от направления действия силы резания, поэтому необходимо учитывать также ее составляющие P_z и P_x . В связи с этим при экспериментальном определении жесткости технологическую систему следует нагружать системой сил, близкой к эксплуатационной.

Свойство технологической системы упруго деформироваться под действием силы называется *податливостью*. Податливость

численно равна величине обратной жесткости и измеряется в миллиметрах на килоньютон (мм/кН):

$$u = \frac{1}{j} = \frac{y}{P_y}. \quad (4.2)$$

Суммарная деформация системы равна сумме деформаций отдельных элементов этой системы, приведенных к точке, и направлению, принятому при измерении жесткости:

$$y = y_1 + y_2 + \dots + y_n.$$

Аналогично можно определить суммарную податливость системы u по формуле

$$u = u_1 + u_2 + \dots + u_n.$$

Последнее выражение позволяет найти суммарную жесткость системы j через жесткости отдельных звеньев системы:

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} + \dots + \frac{1}{j_n}. \quad (4.3)$$

В случае обработки заготовки на токарном станке при положении резца на расстоянии x от передней бабки жесткость станка $j_{ст}$ в сечении, где располагается резец, определяется по формуле

$$\frac{1}{j_{ст}} = \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{п.ц}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{з.ц}} + \frac{1}{j_c} + \frac{1}{j_p}, \quad (4.4)$$

где L – длина заготовки;

$j_{п.ц}$ и $j_{з.ц}$ – жесткости задней и передней бабок, измеренные на заднем и переднем центрах соответственно;

j_c – жесткость суппорта;

j_p – жесткость резца.

При обработке нежестких валов необходимо также учитывать их деформацию, во многом зависящую от способа крепления заготовки на станке. Жесткость гладкого вала, консольно закрепленного в патроне, может быть найдена по формуле

$$j_3 = \frac{3EJ}{l^3}, \quad (4.5)$$

где l – длина выступающей из патрона части вала;

E – модуль упругости;

J – момент инерции сечения заготовки.

Жесткость гладкого вала, закрепленного в центрах, значительно выше, и ее минимальное значение при положении резца в середине вала составляет

$$j_3 = \frac{48EJ}{L^3}. \quad (4.6)$$

Жесткость вала, закрепленного в патроне и поддерживаемого задним центром, еще выше, и ее минимальное значение равно

$$j_3 = \frac{100EJ}{l^3}. \quad (4.7)$$

Момент инерции сечения вала диаметром d вычисляется по формуле

$$J = 0,05d^4. \quad (4.8)$$

Жесткость технологической системы во времени не является постоянной величиной. Значения характеристик жесткости станка в статическом состоянии и во время работы неодинаковы. В работающем станке возникают вибрации, толчки и удары, при наличии которых силы трения в стыках деталей уменьшаются, и зазоры между деталями выбираются при меньших нагрузках.

Как правило, заготовки имеют ступенчатую форму, поэтому деформации таких валов следует рассматривать как деформации

ступенчатых валов. Для упрощения расчетов пользуются приведенным диаметром $d_{пр}$. Для деталей типа валов с разносторонним расположением ступеней (рис. 4.2, а)

$$d_{пр} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i},$$

для валов с двухсторонним расположением ступеней (рис. 4.2, б)

$$d_{пр} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}},$$

где n – число ступеней.

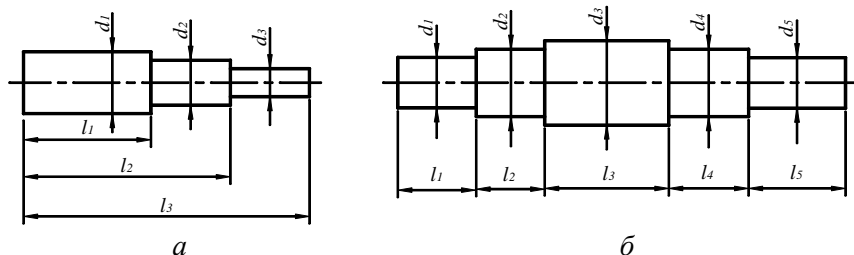


Рис. 4.2. Виды ступенчатых валов

Существенное изменение жесткости станка вызывает его нагрев. Так, например, жесткость шпиндельной бабки круглошлифовального станка, составлявшая при нормальной температуре 15,1 кН/мм, через 30 мин его работы на холостом ходу достигала 22,4 кН/мм, то есть возросла на 44 %. Жесткость шпинделей станков также неодинакова в радиальном направлении.

Учитывая, что жесткость технологической системы переменна и ее значение зависит от многих факторов, проявление которых невозможно предвидеть заранее, ее характеристику следует отнести к разряду случайных величин.

Вследствие рассеяния значений припусков и характеристик свойств материалов заготовок, например твердости, значения сил

резания будут также рассеиваться от P_{\min} до P_{\max} . Если при этом учесть, что значения жесткости технологической системы случайны и подлежат рассеянию от j_{\min} до j_{\max} , то даже при стабильном рассеянии значений силы резания, значения поля ω_y рассеяния упругих перемещений и координаты $\Delta\omega_y$ его середины не будут оставаться постоянными. Изменения характеристик рассеяния упругих перемещений в связи с изменением состояния технологической системы показаны на рис. 4.3, а. Заштрихованный участок диаграммы представляет собой поле ω_j рассеяния значений жесткости технологической системы. Постепенное увеличение жесткости технологической системы, которое может быть вызвано ее нагревом, будет сопровождаться уменьшением мгновенного поля ω_A рассеяния размеров A (рис. 4.3, б) и смещением центра группирования $M(x)_A$ к нижней границе поля допуска $IT(A)$.

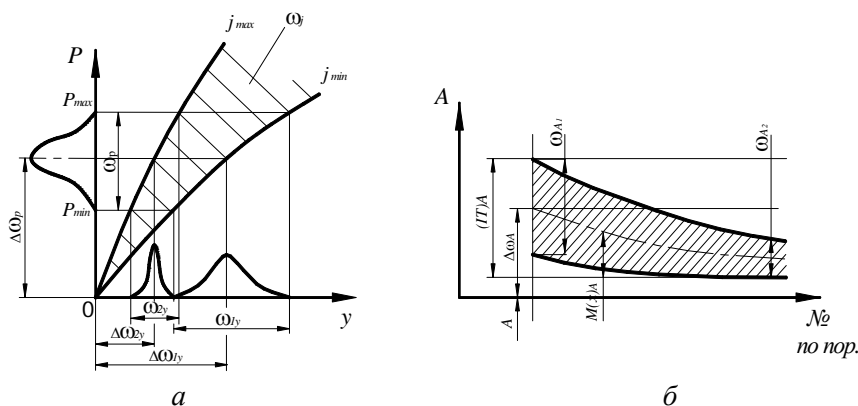


Рис. 4.3. Зависимость значения и положения поля рассеяния упругих перемещений от жесткости технологической системы

Неравномерный припуск, снимаемый с поверхности заготовки, неоднородные свойства материала в различных частях заготовки, неодинаковая жесткость технологической системы при обработке заготовки в разных ее сечениях приводят к отклонениям формы обработанной поверхности детали. Например, удаление неравномерного

припуска с поверхности заготовки (рис. 4.4) будет сопровождаться изменением силы резания. Ее изменениям будут соответствовать изменения упругих перемещений в технологической системе. Вследствие этого возникнут отклонения формы обработанной поверхности в продольном сечении детали $d_2 > d_1$, в определенной мере повторяющие форму поверхности заготовки. Произойдет так называемое копирование формы поверхности заготовки с ее уточнением.

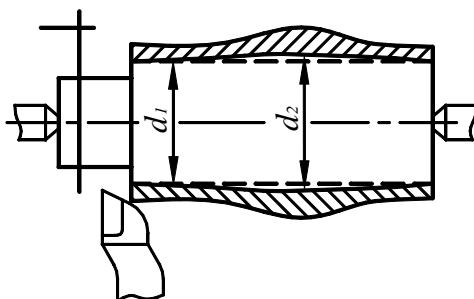


Рис. 4.4. «Копирование» формы заготовки в продольном сечении

По тем же причинам копирование формы поверхности заготовки наблюдается и в ее поперечном сечении. Если поверхность заготовки будет иметь отклонение от круглости, например эллипсность (рис. 4.5), то поверхность детали, полученная в результате обработки, будет иметь отклонение того же вида, но меньшего значения.

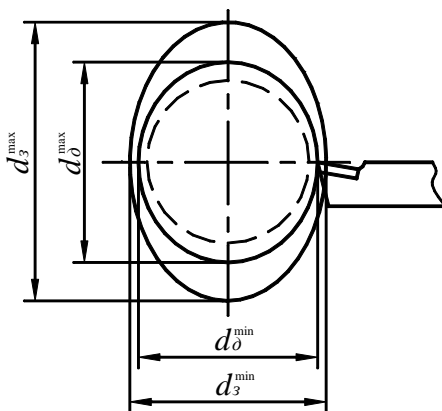


Рис. 4.5. «Копирование» формы заготовки в поперечном сечении

Отношение одноименных погрешностей заготовки Δ_3 и обрабатываемой детали Δ_d называется *уточнением*:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_3}{\Delta_d} = \frac{d_3^{\max} - d_3^{\min}}{d_d^{\max} - d_d^{\min}}. \quad (4.9)$$

Величина обратная уточнению называется *коэффициентом уменьшения погрешности*

$$K = \frac{1}{\varepsilon} = \frac{\Delta_d}{\Delta_3}. \quad (4.10)$$

При обработке заготовки вала (рис. 4.6, а), установленной в центрах (передний центр рифленый) токарного станка, причиной отклонений формы поверхности вала в продольном сечении будет являться переменная жесткость технологической системы по мере перемещения инструмента от задней к передней бабке станка.

В сечении заготовки, отстоящем от переднего центра на расстоянии x , упругое перемещение в технологической системе под воздействием силы P_y складывается из перемещений $y_{ц}$ центров станка, самой заготовки из-за ее деформации y_3 , суппорта y_c и резца y_p :

$$y = y_{ц} + y_3 + y_c + y_p.$$

По аналогии с перемещением жесткой балки на двух упругих опорах будем иметь

$$y_{ц} = \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \frac{P_y}{j_{п.ц}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{P_y}{j_{з.ц}}, \quad (4.11)$$

где $j_{п.ц}$ – жесткость передней бабки, измеренная на переднем центре;

$j_{з.ц}$ – жесткость задней бабки, измеренная на заднем центре.

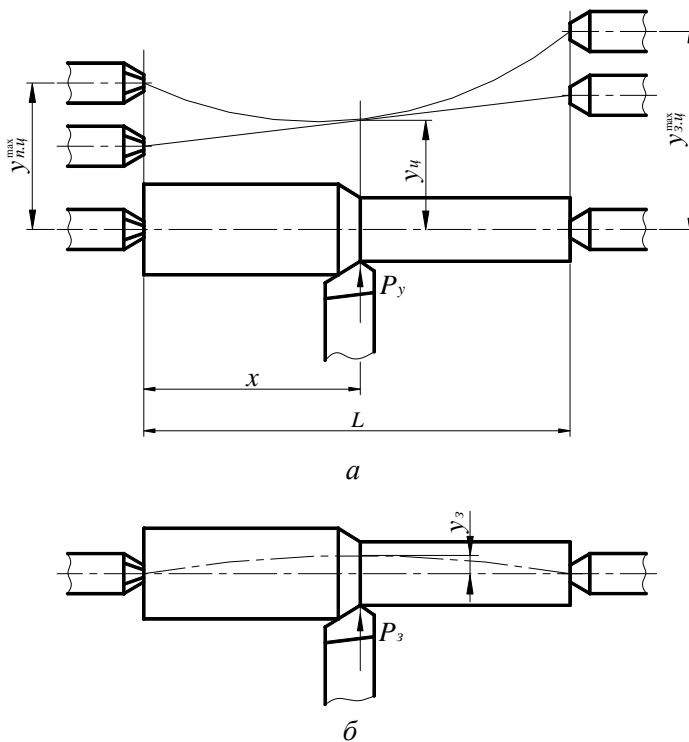


Рис. 4.6. Образование упругих перемещений в технологической системе при обработке жесткого вала

С изменением координаты x упругое перемещение центров станка будет непостоянным. Наибольшие перемещения задний и передний центры будут иметь соответственно в моменты врезания резца в заготовку и завершения процесса резания. Поэтому по мере перемещения резца от задней бабки к передней податливость центров будет изменяться, и заготовка будет поворачиваться, огибая параболическую кривую. Это приведет к погрешности формы поверхности детали.

На погрешность формы, созданную податливостью центров, наложится погрешность формы из-за нежесткости самой заготовки и ее прогиба под действием силы P_y (рис. 4.6, б). Прогиб вала в месте приложения силы P_y

$$y_3 = \frac{P_y x^2 (L-x)^2}{3EJL}, \quad (4.12)$$

где E – модуль упругости материала заготовки;

J – момент инерции сечения заготовки.

Таким образом, из-за податливости центров передней и задней бабок станка и нежесткости самой заготовки погрешность формы обрабатываемой поверхности вала является неизбежным явлением. Ее можно уменьшать, повышая жесткость технологической системы, но от нее нельзя избавиться, так как ни станок, ни заготовку нельзя сделать абсолютно жесткими.

На всей длине вала отклонения $y_{ц}$ и y_3 будут дополняться упругими перемещениями суппорта и деформациями резца. Таким образом, упругое перемещение в технологической системе на расстоянии x от передней бабки

$$y = \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \frac{P_y}{j_{п.ц}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{P_y}{j_{з.ц}} + \frac{P_y x^2 (L-x)^2}{3EJL} + \frac{P_y}{j_c} + \frac{P_y}{j_p}, \quad (4.13)$$

где j_c – жесткость суппорта;

j_p – жесткость резца.

Силу P_y определяют расчетным путем, исходя из условий обработки. Для этого используют эмпирическую формулу

$$P_y = C_{P_y} t^x S^y V^z (HB)^n, \quad (4.14)$$

где C_{P_y} – коэффициент, характеризующий условия обработки;

t – глубина резания;

S – подача;

V – скорость резания;

HB – твердость обрабатываемого материала по Бринеллю;

x, y, z, n – показатели степеней, выбираемые в соответствии с конкретными условиями резания.

Следовательно, жесткость технологической системы существенно влияет на точность изготавливаемых деталей. Вместе с тем от жесткости технологической системы зависит производительность процесса обработки. Стремясь удержать рассеяние упругих перемещений в допустимых пределах, приходится ограничивать колебания силы резания. Это может быть связано со снижением режимов обработки и увеличением числа рабочих ходов, то есть с большими затратами времени на обработку.

Повышение жесткости технологической системы

Повышение жесткости технологической системы является одним из средств увеличения точности и производительности обработки. Существуют следующие основные пути увеличения жесткости технологических систем.

1. Повышение собственной жесткости конструкции станков, приспособлений и режущего инструмента за счет сокращения числа звеньев в конструкторских размерных цепях, большей жесткости самих деталей и применения устройств, обеспечивающих предварительный натяг наиболее ответственных элементов технологической системы. Натяг может быть создан пружинными, гидравлическими и другими видами механизмов, подвешенными грузами, зажимными устройствами, фиксирующими положение перемещаемого узла.

2. Обеспечение максимально достижимой жесткости станков, приспособлений и инструментов в процессе их изготовления. Особое внимание нужно уделять контактной жесткости поверхностей стыков деталей и качеству сборки элементов технологической системы. Жесткость стыков деталей характеризуется сближением контактирующих поверхностей деталей под воздействием внешней нагрузки. С уменьшением значений параметров шероховатости и волнистости поверхностей жесткость стыков возрастает.

Жесткость станков и приспособлений во многом зависит от качества регулировки подшипников, клиньев, прижимных планок и т. п., проводимой в процессе их сборки. Для обеспечения жесткости при закреплении деталей в машинах необходимо создавать определенные предварительные натяги. В неподвижных соединениях натяг, обеспечивающий давление, не ниже 1,5 МПа, а в подвижных соединениях – от 0,1 до 0,2 МПа.

3. Сокращение числа составляющих звеньев в размерных цепях технологических систем. Такого сокращения можно достичь, применяя приспособления, исключая или уменьшающие влияние податливости станка на точность изготавливаемой детали. Например, отверстие в корпусной детали можно расточить на расточном станке при жесткой связи инструментальной оправки со шпинделем станка (рис. 4.7, *а*). Но то же отверстие можно получить, используя оправку, направляемую втулками приспособления и связанную со шпинделем станка с помощью двойного шарнира Гука (рис. 4.7, *б*). В первом случае расстояние A_{Δ} между осью отверстия и установочной базой заготовки будет получаться с помощью размерной цепи $A_{\Delta} = A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5 - A_6$. Во втором случае технологическая размерная цепь будет короче: $A_{\Delta} = A_1 - A_2$, – а следовательно, будет меньшим и суммарное упругое перемещение в технологической системе.

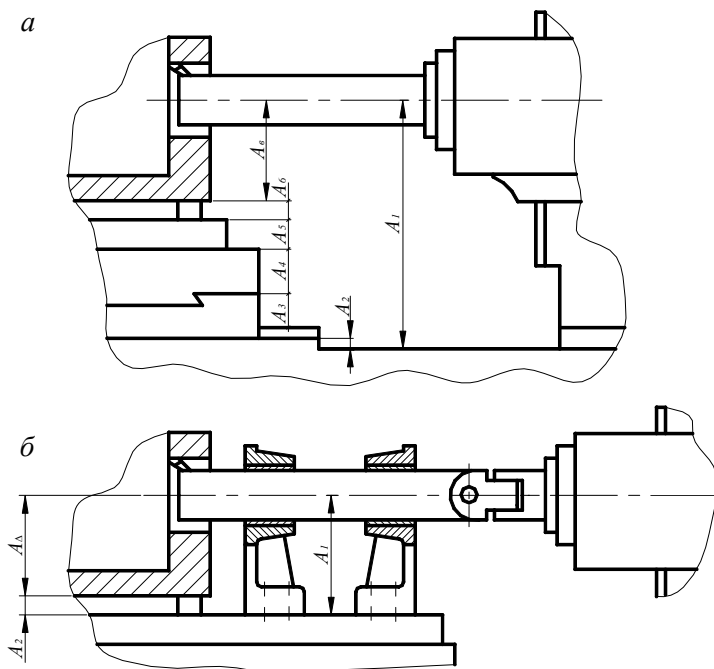


Рис. 4.7. Повышение жесткости технологической системы путем уменьшения числа составляющих звеньев в ее размерной цепи

4. Повышение жесткости заготовки путем применения дополнительных опор, в частности, люнетов.

5. Правильные условия и режимы эксплуатации технологической системы. К числу таковых относятся предварительный прогрев технологической системы на холостом ходу, непрерывная и равномерная подача смазочного материала нужной консистенции к трущимся деталям, постоянство усилий закрепления заготовки, механизмов и узлов системы и др.

6. Систематический надзор за оборудованием и восстановление его первоначальной жесткости регулированием зазоров в подвижных соединениях, шабрением трущихся и износившихся поверхностей периодический ремонт.

Методы определения жесткости технологической системы

Для нахождения величины упругих перемещений в технологической системе необходимо знать значения жесткости ее элементов. Многообразие факторов, влияющих на жесткость технологической системы, не позволяет установить ее расчетным путем, поэтому жесткость определяют эмпирическими методами.

Жесткость станка или отдельного узла может быть определена путем нагружения статическими силами, аналогичными тем силам, которые будут действовать в процессе работы. Создаваемые нагрузки увеличивают от нуля до максимума, измеряют перемещение узлов станка и строят зависимость упругих перемещений от силы. Схема определения жесткости узла шпинделя станка показана на рис. 4.8, *а*.

Величина нагружающей силы изменяется с помощью ступенчатого увеличения груза *1*, повешенного на тросе *2*. С помощью индикатора *4* измеряют перемещение конца шпинделя *3* относительно станины станка. Графики упругих перемещений от действия сил могут иметь различный вид (рис. 4.8, *б*). Зависимость *1* имеет место в случаях, когда в системе содержится слабозакрепленный элемент. После его сравнительно большого перемещения под действием малой силы зазоры выбираются и возникает контактирование рабочих поверхностей всей нагруженной цепи элементов. Часто встречается в практике линейная зависимость *2*. О жесткости можно судить по углу наклона прямой к оси абсцисс. После нагружения элементов

и затем их разгрузке (показано стрелками), технологическая система не возвращается в исходное положение, а создается некоторое остаточное перемещение y_0 . Петля гистерезиса характеризует работу, затраченную на деформирование элементов системы. В расчетах чаще всего ориентируются на зависимость 2, как наиболее типичную. График 3 показывает, что жесткость системы до определенных значений P была достаточно высокой, а затем в системе стал проявляться элемент с относительно низкой жесткостью. Следует отметить, что при разгрузке узла все зависимости будут характеризоваться петлей гистерезиса по типу графика 2.

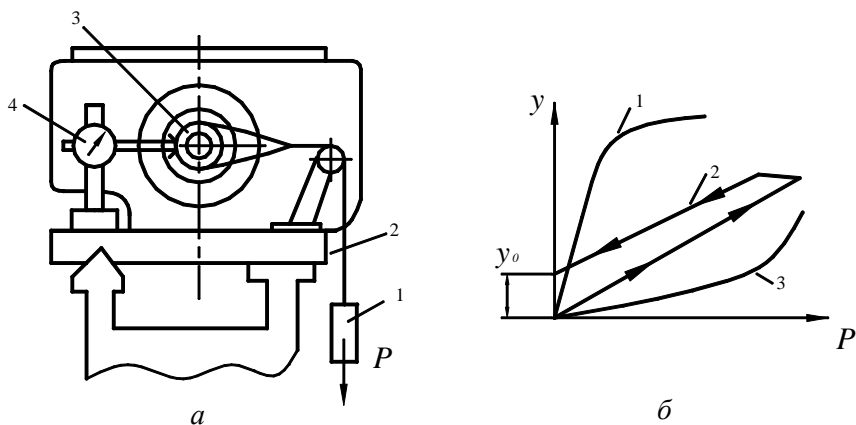


Рис. 4.8. Статическое нагружение шпинделя станка (а) и графики упругих перемещений (б)

Наиболее часто нагружающую силу создают различными динамометрическими устройствами. Схема определения жесткости элементов технологической системы показана на рис. 4.9. С целью упрощения нагрузочного устройства и учитывая, что в большинстве случаев радиальная составляющая силы резания P_y оказывает наибольшее влияние на приращение размера детали, направление нагружающей силы принято вдоль оси y .

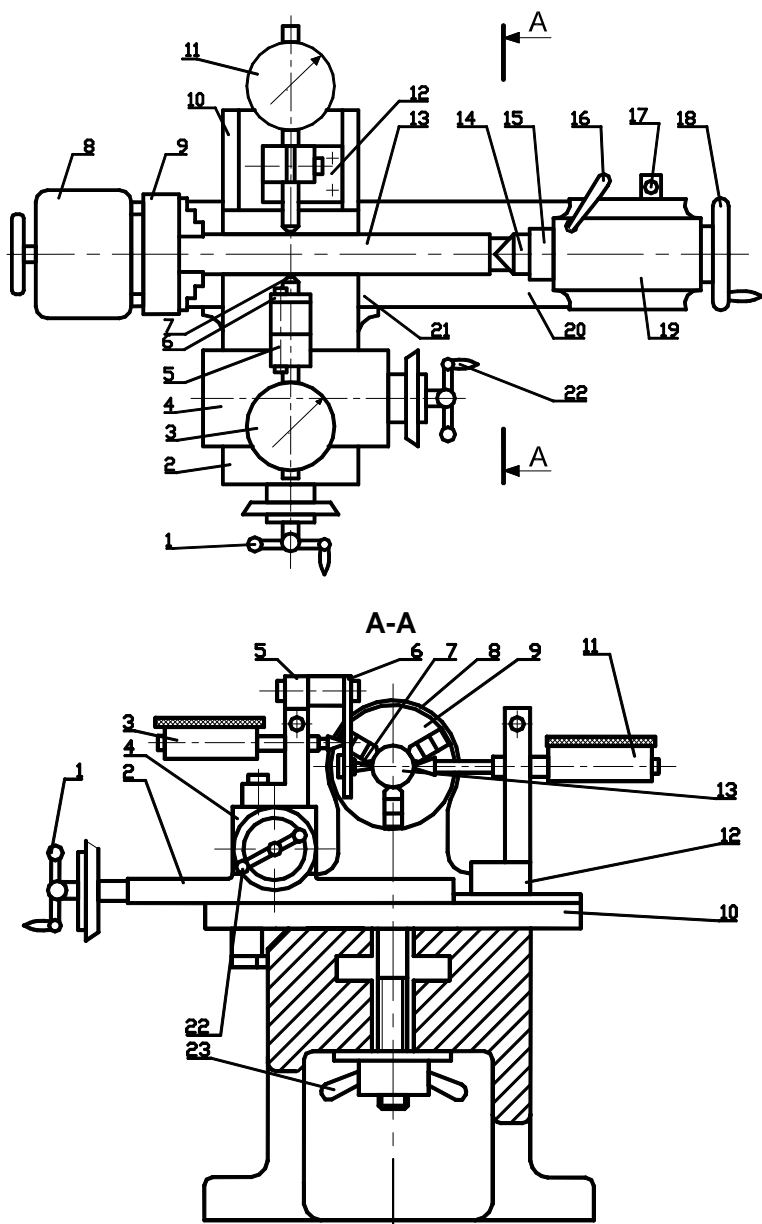


Рис. 4.9. Схема определения жесткости технологической системы

В корпусе 5 нагружающего устройства, установленного на верхних салазках 4 токарного станка, консольно закреплена упругая балка 6 с наконечником 7. Перемещение нагрузочного устройства вдоль оси y осуществляется рукояткой 1 поперечного перемещения салазок 2. Деформации тарированной упругой балки 6, пропорциональные нагружающей силе, измеряются индикатором 3, также закрепленном в корпусе 5. Горизонтальные перемещения элементов технологической системы вдоль оси y измеряются индикатором 11, установленном в стойке 12, которая закреплена на суппорте 10. Заготовка 13 устанавливается в центрах или в трехкулачковом патроне 9. При установке заготовки в центрах неподвижный центр передней бабки 8 устанавливается в трехкулачковом патроне 9, а задний центр 14 располагается в пиноли 15 задней бабки 19. Для перемещения задней бабки 19 по направляющим 20 необходимо отпустить рукоятку крепления 17, а перемещение пиноли 15 с задним центром 14 осуществляется маховиком 18 при отпущенной рукоятке 16. Перемещение суппорта 10 вдоль направляющих 20 осуществляется вручную при отпущенной гайке 23. При перемещении суппорта 10 необходимо прижимать планку 21 к боковой поверхности направляющих 20. Рукояткой 22 совмещается положение наконечника 7 с линией измерения индикатора 11.

Описанное устройство лишь приближенно имитирует нагрузки, действующие на заготовку в процессе резания, так как оно не создает вертикальной и осевой составляющих силы резания и крутящего момента.

Статическая жесткость станков обычно в 1,2–1,4 раза выше, чем работающих станков, поэтому более достоверные данные о жесткости дает производственный метод, который основан на обработке заготовки с переменным припуском и некоторых расчетах. Для испытания, например, токарного станка, берут достаточно жесткую заготовку, имеющую два пояска диаметрами D_1 и D_2 (рис. 4.10, а). Пояски обрабатываются за один рабочий ход (рис. 4.10, б) при неизменных условиях (подаче, скорости и т. д.). Уступ $\Delta_d = d_1 - d_2$, образовавшийся вследствие разных глубин резания и отжатий в технологической системе, будет меньше $\Delta_3 = D_1 - D_2$.

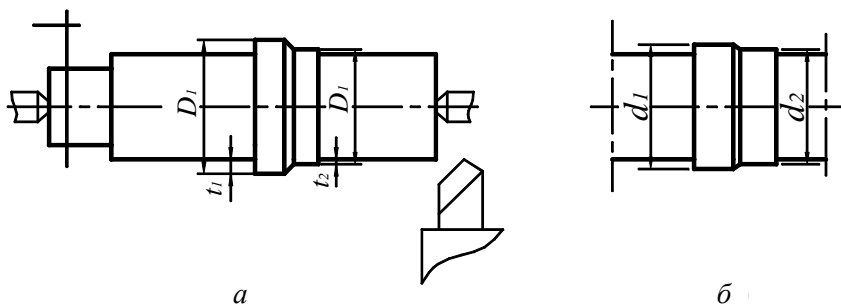


Рис. 4.10. Производственный метод определения жесткости станка

Отношение $\varepsilon = \Delta_3 / \Delta_d$, называемое уточнением, показывает во сколько раз в результате обработки уменьшилась погрешность заготовки. Уточнение характеризует жесткость технологической системы:

$$j = \lambda C_{P_z} S^{0,75} \varepsilon,$$

где $\lambda = P_y / P_z$;

C_{P_z} – постоянный коэффициент, учитывающей условия обработки;

S – подача, мм/об.

Метод пригоден для определения жесткости не только токарных, но и станков других типов. Например, жесткость фрезерного станка определяется после торцевого фрезерования ступенчатой заготовки за один рабочий ход.

Практическая часть

Порядок выполнения работы

К выполнению экспериментальной части работы приступают после выполнения первых двух задач работы и получения разрешения преподавателя.

1. Пользуясь торцевым ключом, установить вал 13 (рис. 4.11) в трехкулачковом патроне консольно. Длина зажимаемого кулачками участка вала – 20–25 мм.



Рис. 4.11. Закрепление вала в трехкулачковом патроне

2. Отпустив гайку 23, установить суппорт 10 в положение, при котором наконечник 7 находится на расстоянии 40–50 мм от торца кулачка (см. рис. 4.9). Зафиксировать суппорт 10 гайкой 23, при этом планка 21 должна быть прижата к боковой поверхности направляющих 20. В начальном положении наконечник 7 не должен касаться вала и быть на одной линии с осью индикатора 11. При их несовпадении рукояткой 22 изменить положение наконечника вдоль оси вала в нужном направлении.

3. Линейкой измерить расстояние от наконечника 7 до торца кулачка. Для удобства отсчетов по индикаторам 3 и 11 их начальные показания установить на нуль.

4. Вращением рукоятки 1 по часовой стрелке переместить нагружающее устройство к оси вала 13 до момента, когда показания индикатора 3 будут равны 0,30 мм, что соответствует значению нормальной составляющей силы резания $P_y = 30$ Н.

5. По индикатору 11 определить величину упругого перемещения вала 13 в данном сечении.

6. Вращением рукоятки 1 против часовой стрелки отвести наконечник 7 нагружающего устройства на расстояние 2–3 мм от вала 13.

7. Отпустив гайку 23, установить суппорт 10 в следующее положение (упругие перемещения вала определить еще в двух сечениях: посередине и вблизи его конца).

8. Рассчитать величину упругих перемещений вала в трех сечениях, пользуясь формулой

$$y = \frac{P_y x_i^3}{3EJ},$$

где x_i – расстояние от наконечника нагружающего устройства до торца кулачка.

9. Построить профили продольного сечения консольно закрепленного вала, используя экспериментальные и теоретические данные. Определить вид отклонения профиля продольного сечения цилиндрической поверхности и его величину Δ по формуле

$$\Delta = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} = \frac{(d_H + 2y_{\max}) - (d_H + 2y_{\min})}{2} = y_{\max} - y_{\min},$$

где d_{\max} и d_{\min} – максимальный и минимальный диаметры вала соответственно;

d_H – настроечный размер;

y_{\max} и y_{\min} – максимальное и минимальное упругие перемещения вала.

10. Закрепить в трехкулачковый патрон 9 передний центр 24 (рис. 4.12, а).

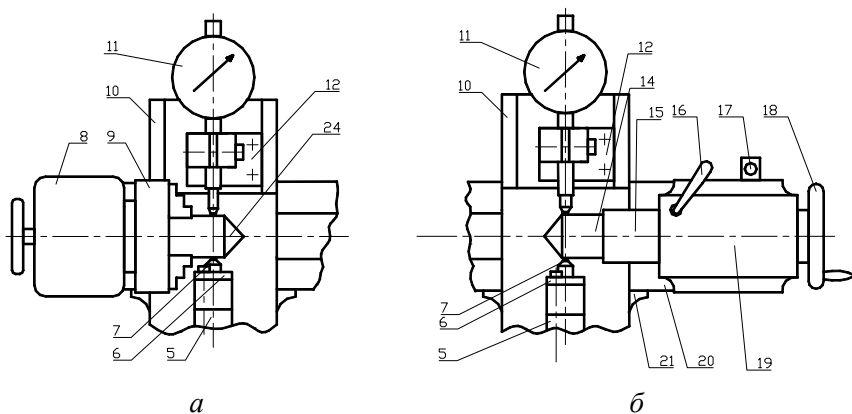


Рис. 4.12. Схемы измерения величины упругого перемещения передней (а) и задней (б) бабок

11. Переместиться суппорт 10 к передней бабке 8 и закрепить его в положении, при котором расстояние от наконечника 7 до торца кулачка составляет 5–10 мм.

12. Переместить нагружающее устройство к оси центра до момента, когда показания индикатора 3 станут равны 0,9 мм, что соответствует значению нормальной составляющей силы резания $P_y = 80$ Н.

По индикатору 11 определить величину смещения передней бабки 8 у переднего центра.

13. Рассчитать жесткость передней бабки, измеренную на переднем центре:

$$j_{п.ц} = \frac{P_y}{y_{п.ц}}.$$

14. Переместить суппорт 10 к задней бабке 19 и аналогичным образом определить величину смещения задней бабки 19 у заднего центра 14 (рис. 4.12, б).

15. Рассчитать жесткость задней бабки, измеренную на заднем центре:

$$j_{з.ц} = \frac{P_y}{y_{з.ц}}.$$

16. Установить вал в трехкулачковом патроне с поддерживающим задним центром (рис. 4.13) и измерить его упругие перемещения при $P_y = 80$ Н в трех сечениях: на расстоянии 45–50 мм от торца кулачка, посередине и на расстоянии 170–180 мм от торца кулачка.

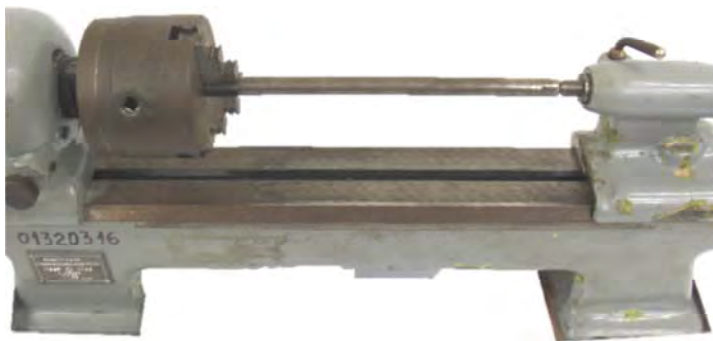


Рис. 4.13. Закрепление вала в трехкулачковом патроне с поддерживающим задним центром

17. Установить вал в центрах (рис. 4.14) и измерить его упругие перемещения при $P_y = 80$ Н в трех сечениях: на расстоянии 10–15 мм от левого торца, посередине и на расстоянии 10–15 мм от правого торца.



Рис. 4.14. Закрепление вала в центрах

18. Рассчитать величину упругих перемещений вала в трех сечениях с учетом упругих перемещений центров станка, пользуясь формулой (4.13). Деформации суппорта и резца не влияют на погрешности профиля продольного сечения, и при расчете их не учитывать.

19. Построить профили продольного сечения вала, закрепленного в центрах, используя экспериментальные и теоретические данные. Определить вид отклонения профиля продольного сечения цилиндрической поверхности и его величину.

Содержание отчета

1. Цели и задачи работы.
2. Результаты измерения величины упругих перемещений консольно закрепленного вала, вызванных силой P_y .
3. Результаты расчета величины упругих перемещений консольно закрепленного вала.
4. Профили продольного сечения консольно закрепленного вала.
5. Схемы и результаты измерения величины упругого перемещения передней и задней бабок.

6. Результаты расчета жесткости передней и задней бабок.
7. Результаты измерений и расчета величины упругих перемещений вала, установленного в центрах.
8. Профили продольного сечения вала, установленного в центрах.
9. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Каким образом неравномерный припуск и различие твердости материала заготовок влияет на точность и производительность обработки?
2. Жесткость и податливость технологической системы.
3. Объясните причины копирования формы поверхности заготовки на обработанную деталь.
4. Что такое уточнение и что оно показывает?
5. Из каких величин складывается упругое перемещение в технологической системе под воздействием силы резания?
6. Как определяется приведенный диаметр ступенчатых валов?
7. Каковы пути повышения жесткости технологической системы?
8. Назовите методы определения жесткости технологической системы и дайте им характеристику.

Список использованной литературы

1. Колесов, И. М. Основа технологии машиностроения : учебник для машиностроительных специальностей вузов. – Москва: Высшая школа, 1999. – С. 331–349.
2. Технология машиностроения : учебник для вузов : в 2 т. / В. М. Бурцев [и др.]; под ред. А. М. Дальского. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – 564 с. – Т. 1. Основы технологии машиностроения. – С. 117–127.

Лабораторная работа № 5

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА

Цель работы

1. Изучить конструкции токарных резцов, спиральных сверл, фрез и протяжек.
2. Ознакомиться с методами измерения геометрических параметров инструментов и приборами, применяемыми для этой цели.

Инструмент и принадлежности

1. Резец токарный, сверло спиральное, фреза дисковая, протяжка круглая.
2. Угломеры для контроля углов инструментов (универсальный, маятниковый, угломер Бабчиницира (ЗУРИ)).
3. Штангенциркуль.
4. Микрометр гладкий.
5. Приспособление для установки протяжки.

Теоретическая часть

Основные положения

Резцы – инструменты, применяемые для обработки на токарных, револьверных, карусельных, расточных станках, токарных автоматах и полуавтоматах и на других станках специального назначения.

Сверло – осевой режущий инструмент, применяемый для получения отверстий в различных материалах, а также для обработки имеющихся отверстий.

Сверло является одним из самых распространенных металлорежущих инструментов, предназначенных для образования отверстий в сплошном материале, а также для увеличения, методом рассверливания, диаметра предварительно подготовленного отверстия. При сверлении обеспечивают точность обработки по 11–12 качеству и шероховатость обработанной поверхности в пределах $R_a = 10\text{--}5$ мкм.

Фреза – многолезвийный инструмент, применяемый для обработки плоскостей, пазов, шлицев, резьб, фасонных поверхностей, разрезки. Одновременное участие в работе нескольких зубьев обеспечивает высокую производительность обработки. Фреза представляет собой тело вращения, на образующей поверхности которого или на торце имеются режущие зубья. Процессом фрезерования можно получить поверхности по 8–10 квалитетам точности и шероховатость R_a 1,6–6,4 мкм.

Протяжка – многолезвийный инструмент с рядом последовательно выступающих друг над другом зубьев в направлении, перпендикулярном скорости главного движения резания.

Протяжки и прошивки широко используются в массовом и серийном производстве при обработке сквозных отверстий и наружных поверхностей.

Протягиванием достигается 7–9 квалитет точности с шероховатостью обработанной поверхности R_a до 0,63–0,20 мкм. Высокая производительность при протягивании и прошивании достигается одновременной работой нескольких режущих зубьев при большом суммарном периметре резания.

С помощью протяжек можно обрабатывать внутренние и наружные поверхности различной формы. При протягивании движение подачи отсутствует, а главное движение резания может быть поступательным или вращательным.

Классификация лезвийных инструментов

При токарной обработке наружные цилиндрические и конические поверхности обрабатывают проходными резцами (рис. 5.1, б, в, г, е); внутренние цилиндрические и конические поверхности растачивают расточными резцами (рис. 5.1, ж, з); торцевые плоскости обрабатывают подрезными резцами (рис. 5.1, е); наружные и внутренние резьбы нарезают резьбовыми резцами (рис. 5.1, а); разрезку заготовок на части производят отрезными резцами (рис. 5.1, д).

Токарные резцы также классифицируют по следующим признакам:

– по расположению главной режущей кромки или направлению подачи: правые и левые. Правые резцы на токарном станке работают при подаче справа налево, то есть перемещаются к передней бабке станка;

– конструкции головки: прямые, отогнутые, оттянутые и изогнутые;

– роду материала, из которого изготавливается режущая часть: быстрорежущие, твердосплавные, минералокерамические и алмазные;

– способу изготовления: цельные и составные (сборные). При использовании дорогостоящих режущих материалов резцы изготавливают составными: головку – из инструментального материала, а стержень – из конструкционной углеродистой стали. Наиболее распространены составные резцы с пластинками из твердого сплава или быстрорежущей стали. Пластинки из твердого сплава припаиваются или крепятся механически;

– форме поперечного сечения стержня: прямоугольные, круглые и квадратные.

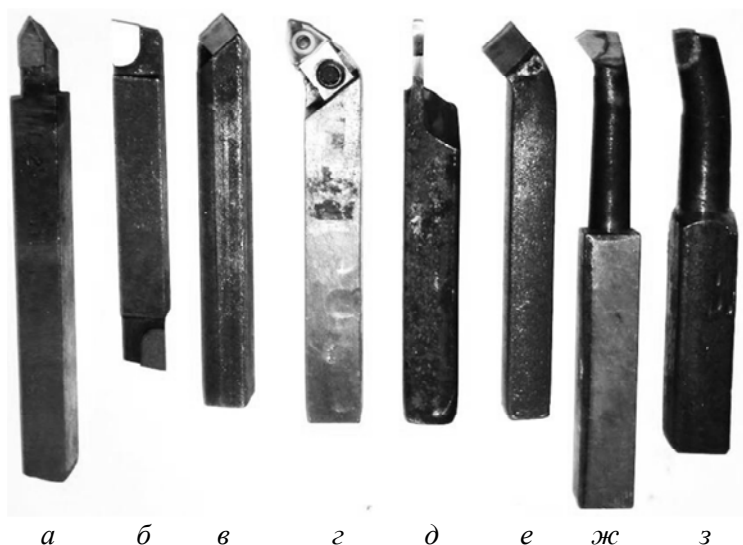


Рис. 5.1. Основные типы токарных резцов

На рис. 5.2 показаны типы токарных резцов и соответствующие им схемы токарной обработки:

а – наружное обтачивание прямым проходным резцом;

б – наружное обтачивание и подрезка торца отогнутым проходным резцом;

в – одновременное обтачивание и обработка торцевой поверхности проходным упорным резцом;

з – подрезание торца заготовки подрезным резцом с поперечным движением подачи инструмента по направлению к центру заготовки;

д – подрезание торца заготовки подрезным резцом с поперечным движением подачи инструмента по направлению от центра;

е – растачивание отверстия расточным проходным резцом;

жс – растачивание отверстия расточным упорным резцом;

з – отрезание заготовок или протачивание канавок отрезным резцом;

и – точение фасонной поверхности фасонным резцом;

к – нарезание резьбы резьбовым резцом.

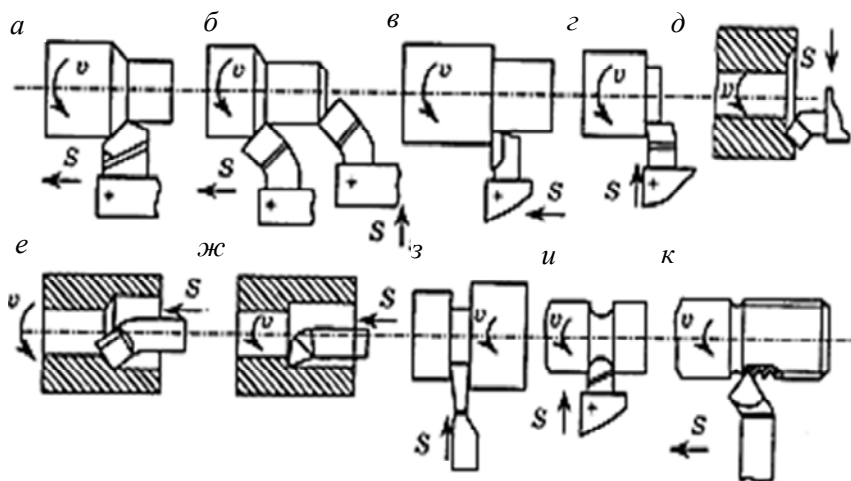


Рис. 5.2. Типы токарных резцов

В настоящее время в машиностроении применяется более 30 типов сверл (рис. 5.3) весьма многообразных по конструктивным и геометрическим параметрам. Использование в промышленности специальных сверл обусловлено увеличением требований к качеству отверстий и появлением новых конструкционных материалов (труднообрабатываемых сталей и сплавов, пластмасс, легких сплавов и др.)

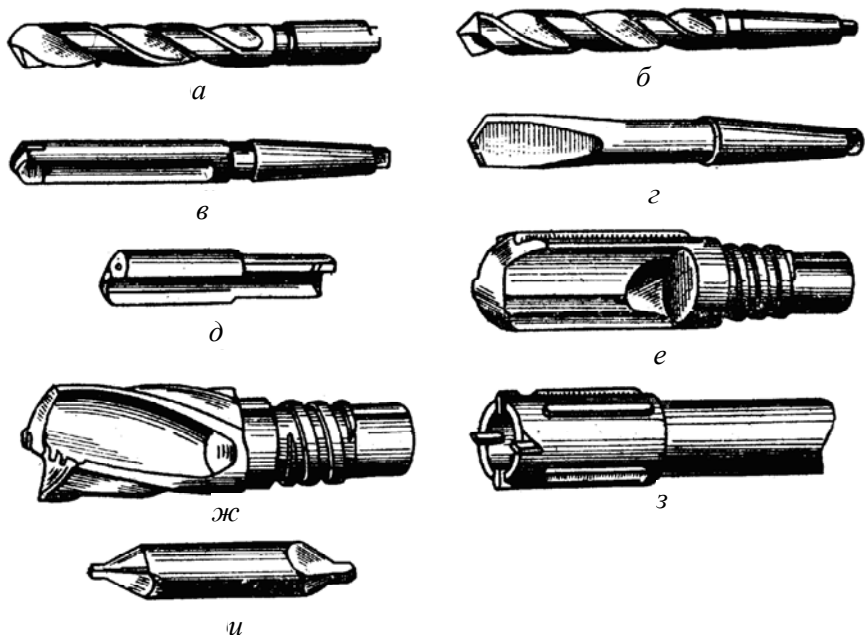


Рис. 5.3. Некоторые типы сверл:

а, б – спиральное; *в* – с прямыми канавками; *г* – перовое; *д* – ружейное; *е* – однокромочное с внутренним отводом стружки для глубокого сверления; *ж* – двухкромочное для глубокого сверления; *з* – кольцевое; *и* – центровочное

По конструктивным признакам и по назначению сверла можно классифицировать следующим образом:

- спиральные;
- перовые;
- для глубоких отверстий;
- комбинированные;
- центровочные.

Сверла для глубоких отверстий по их назначению делятся:

- на ружейные;
- пушечные;
- шпиндельные.

По конструкции сверла для глубокого сверления делятся:

- на сверла двухстороннего резания;
- сверла одностороннего резания;
- кольцевые.

Наиболее многочисленной является группа спиральных сверл.

Спиральное сверло (рис. 5.4) представляет собой цилиндрический стержень, рабочая часть которого снабжена двумя винтовыми спиральными канавками, предназначенными для отвода стружки и образования режущих элементов. Наклон канавок к оси сверла составляет 10–45 градусов. Рабочий конец сверла имеет конусообразную форму. На образующих конуса лежат две симметрично расположенные относительно оси сверла режущие кромки. Хвостовик нужен для закрепления сверла. Спиральные сверла изготавливают с цилиндрическими или коническими хвостовиками.



Рис. 5.4. Спиральное сверло с коническим хвостовиком

Многообразие выпускаемых промышленностью конструктивных разновидностей фрез можно разделить на следующие типы:

а) *по месту расположения режущих зубьев на корпусе:*

- дисковые: односторонние (отрезные), двухсторонние и трехсторонние;
- цилиндрические;
- торцовые;
- концевые;

- фасонные;
- угловые;
- б) *по конструкции инструмента:*
 - цельные, когда зубья цельны с корпусом;
 - сборные (со вставными ножами);
 - фрезы наборные или комплектные, состоящие из набора нескольких универсальных и специальных фрез, предназначенных для одновременной обработки нескольких поверхностей;
- в) *по способу установки на станке:*
 - хвостовые (с коническим или цилиндрическим хвостовиком);
 - насадные, имеющие отверстие под оправку;
- г) *по роду материала рабочей части:*
 - быстрорежущие (зубья изготовлены из сталей P6M3, P6M5K5 и др.);
 - твердосплавные (зубья изготовлены из сплавов BK8, BK10, T14K8);
 - алмазные;
 - эльборовые;
- д) *по направлению вращения:*
 - праворежущие;
 - леворежущие;
- е) *по форме режущей кромки:*
 - прямозубые;
 - косозубые;
 - с винтовым зубом;
- ж) *по форме задней поверхности зуба:*
 - затылованные;
 - острозаточенные (остроконечные);
- з) *по назначению:*
 - концевые (рис. 5.5);
 - угловые;
 - прорезные (рис. 5.6);
 - шпоночные;
 - фасонные;
 - резьбовые;
 - модульные и др.



Рис. 5.5. Концевая фреза с цилиндрическим хвостовиком



Рис. 5.6. Отрезные и прорезные фрезы

На рис. 5.7 показаны схемы обработки поверхностей фрезерованием:

а) обработка вертикальной плоскости на горизонтально-фрезерном станке торцовой фрезой;

- б) обработка горизонтальной плоскости на горизонтально-фрезерном станке цилиндрической фрезой;
- в) обработка горизонтальной плоскости на вертикально-фрезерном станке торцовой фрезой;
- г) обработка вертикальной плоскости на вертикально-фрезерном станке концевой фрезой;
- д) обработка наклонной плоскости (небольшой ширины) на горизонтально-фрезерном станке одноугловой фрезой;
- е) обработка наклонной плоскости (широкой) на вертикально-фрезерном станке с поворотом шпиндельной головки торцовой или концевой фрезами;
- ж) обработка уступа на горизонтально-фрезерном станке дисковой трехсторонней фрезой;
- з) обработка уступа на вертикально-фрезерном станке концевой фрезой;
- и) обработка прямоугольного паза на горизонтально-фрезерном станке дисковой трехсторонней фрезой;
- к) обработка прямоугольного паза на вертикально-фрезерном станке концевой фрезой;
- л) обработка фасонной поверхности на горизонтально-фрезерном станке фасонной фрезой;
- м) обработка паза типа «ласточкин хвост» на вертикально-фрезерном станке одноугловой фрезой;
- н) обработка нескольких поверхностей на горизонтально-фрезерном станке набором фрез;
- о) обработка шпоночного паза на горизонтально-фрезерном станке дисковой фрезой;
- п) обработка шпоночного паза на вертикально-фрезерном станке шпоночной фрезой;
- р) обработка Т-образного паза на вертикально-фрезерном станке фрезой для обработки Т-образных пазов.

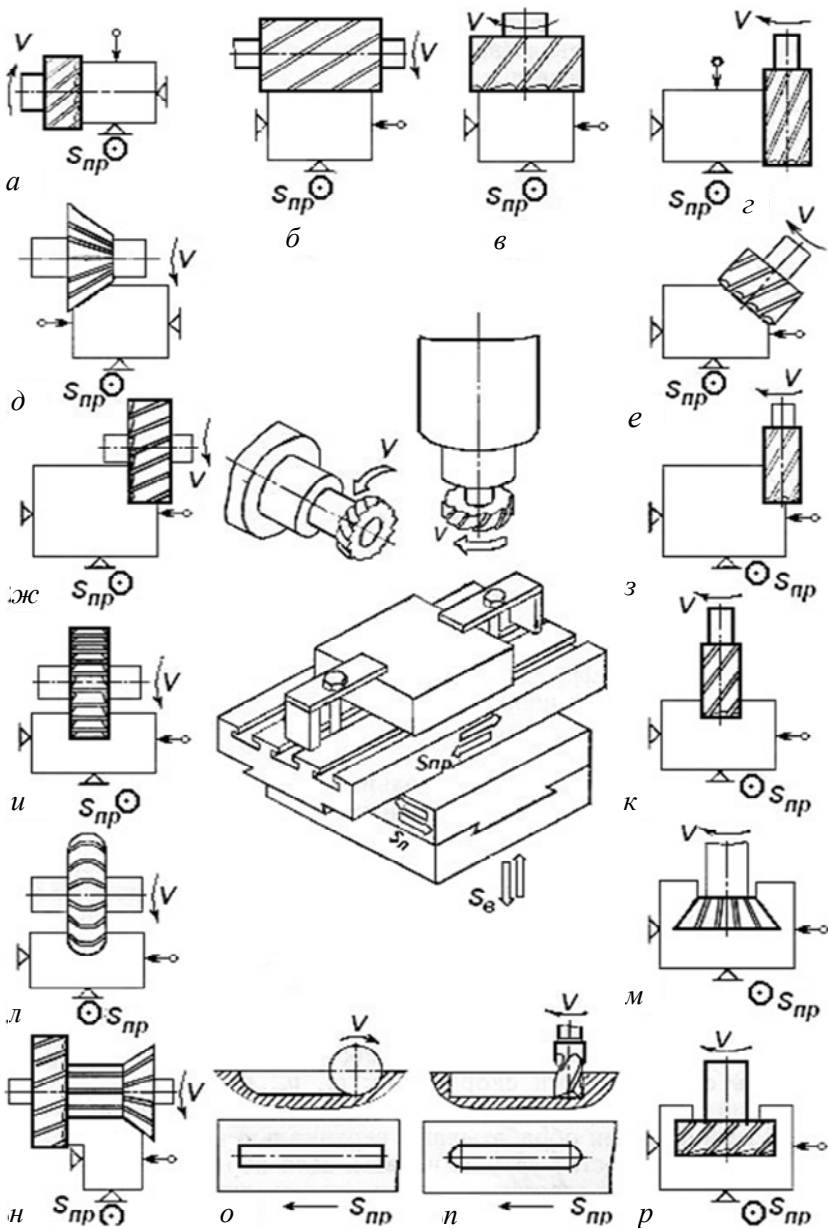


Рис. 5.7. Схемы обработки поверхностей фрезерованием

Протяжки можно классифицировать по нижеприведенным признакам.

По назначению различают следующие виды протяжек:

- для обработки внутренних поверхностей (отверстий), рис. 5.8;
- для обработки наружных поверхностей.



Рис. 5.8. Круглая протяжка

По конструктивному исполнению:

- цельные;
- сборные (составные).

По направлению лезвий относительно скорости главного движения резания различают протяжки:

- с кольцевыми и винтовыми зубьями (для внутреннего протягивания);
- с прямыми и наклонными зубьями (для наружного протягивания, плоские и шпоночные).

По материалу режущей части различают протяжки:

- из быстрорежущей стали (Р6М5, Р9Ф5, Р9М4К8 и др.);
- твердых сплавов.

По применяемой схеме срезания припуска различают протяжки:

- с профильной (или обыкновенной);
- прогрессивной (или групповой);
- генераторной (или ступенчатой) схемами резания.

По числу протяжек в комплекте различают протяжки:

- однопроходные;
- многопроходные (комплектные).

Протягивание – процесс обработки материалов резанием на протяжных станках многолезвийным режущим инструментом – *протяжкой*. Принцип протягивания заключается в том, что размер каждого последующего зуба протяжки больше предыдущего, при

этом каждый зуб срезает с обрабатываемой поверхности заготовки стружку небольшой толщины, вследствие чего обработанная поверхность имеет малую шероховатость.

Его применение целесообразно при обработке больших партий деталей, то есть в крупносерийном и массовом производстве (ввиду сложности изготовления и высокой стоимости протяжек).

Формообразование (рис. 5.9, *а*) осуществляется при поступательном движении протяжки 1 (главное движение) относительно неподвижной заготовки 2. Главное движение резания по направлению совпадает с осью инструмента.

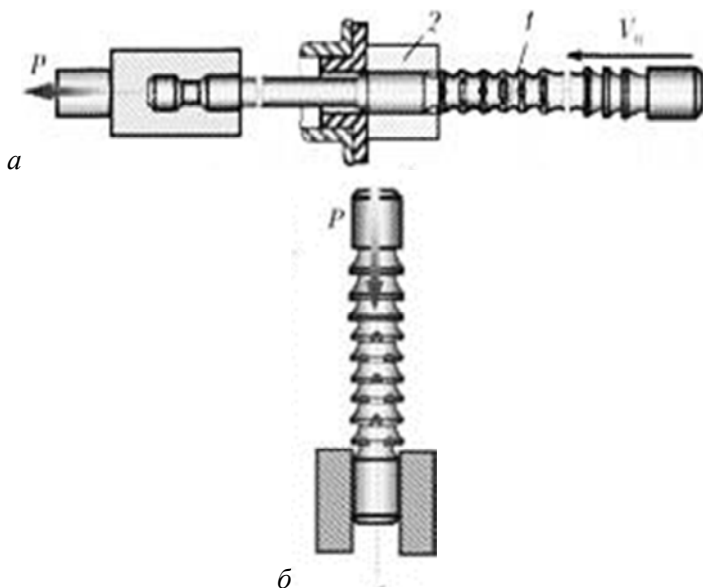


Рис. 5.9. Схемы обработки протяжкой (*а*) и внутренней прошивкой (*б*)

За величину подачи S_n , определяющую толщину срезаемого слоя отдельным зубом протяжки, принимают подъем на зуб, то есть разность размеров по высоте двух соседних зубьев. S_n является одновременно и глубиной резания.

Отличие прошивки заключается в том, что в протяжках сила резания приложена к передней части инструмента, а в прошивках – к задней (рис. 5.9, *б*), то есть протяжку тянут за передний конец, а прошивку толкают.

При обработке протяжками припуск снимается одновременно режущими лезвиями нескольких зубьев. Обработка, в том числе и сложных поверхностей, осуществляется за один рабочий ход инструмента.

Конструктивные параметры инструментов

Резец состоит из рабочей части и крепежной части – стержня прямоугольного, квадратного или круглого сечения, служащего для установки и крепления резца в резцедержателе станка. Рабочая часть – это часть режущего инструмента, содержащая лезвие и имеющая форму клина. С ее помощью со срезаемого с заготовки слоя (припуска) отделяют слой определенной толщины, превращая его при этом в стружку.

На рабочей части резца затачивают: переднюю поверхность 1 (рис. 5.10), контактирующую в процессе резания со срезаемым слоем и стружкой; главную заднюю поверхность 5, контактирующую с поверхностью резания; вспомогательную заднюю поверхность 3, обращенную к обработанной поверхности.

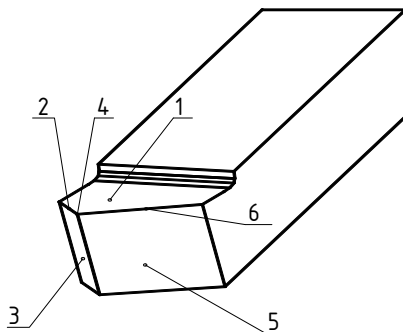


Рис. 5.10. Конструктивные элементы резца

У резцов передняя и задняя поверхности чаще всего делаются плоскими.

Пересечение поверхностей рабочей части резца образуют режущие кромки. Пересечение передней и главной задней поверхности образует главную режущую кромку б; пересечение передней и вспомогательной задней поверхностей – вспомогательную режущую кромку 2. Главная режущая кромка формирует большую сторону сечения срезаемого слоя, а вспомогательная – меньшую.

Место сопряжения главной и вспомогательной режущих кромок называется вершиной резца 4.

Сверло состоит из рабочей части 1, шейки 3, хвостовика 4 и лапки 5, предназначенной для обеспечения удаления сверла из шпинделя (рис. 5.11). Конический или цилиндрический хвостовик 4 служит для закрепления сверла на станке. Шейка сверла – промежуточная часть между хвостовиком и рабочей частью сверла. В связи с особенностями технологии изготовления сверла шейка имеет меньший диаметр, чем рабочая часть. Последняя состоит из режущей 2 и направляющей части 16 и имеет две винтовые стружечные канавки 9, по которым транспортируется стружка из обрабатываемого отверстия.

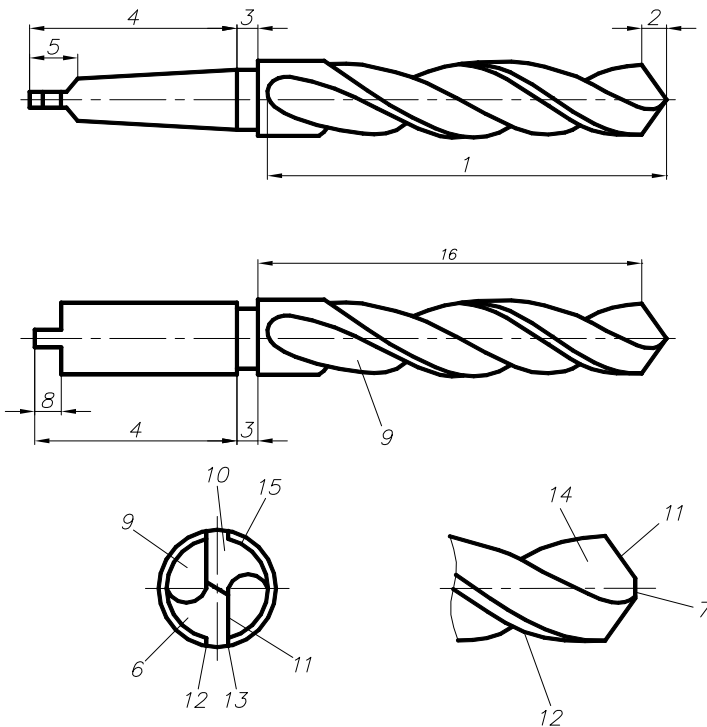


Рис. 5.11. Части и элементы спирального сверла:

- 1 – рабочая часть; 2 – режущая часть; 3 – шейка; 4 – хвостовик; 5 – лапка; 6 – зуб; 7 – поперечная кромка; 8 – поводок; 9 – стружечная канавка; 10 – главная задняя поверхность; 11 – главные режущие кромки; 12 – ленточка; 13 – кромка ленточки; 14 – передняя поверхность; 15 – спинка зуба; 16 – направляющая часть

Винтовые стружечные канавки 9 разделяют рабочую часть сверла на два зуба (пера). Так как перья сверла должны быть соединены, то между ними вдоль оси сверла имеется сердцевина. Ее размер соответствует окружности, касательной к поверхности канавок. Направляющая часть обеспечивает движение сверла в обрабатываемом отверстии и служит резервом для образования режущей части при переточках сверла. Направляющая часть сверла для уменьшения трения соприкасается с отверстием только по отшлифованным винтовым ленточкам 12, которые расположены по краю винтовой стружечной канавки. Остальная часть зуба сверла имеет меньший диаметр и с обработанным отверстием не соприкасается. Ленточка шлифуется по окружности.

На поверхности винтовых стружечных канавок образуется и транспортируется стружка, то есть они являются передними поверхностями 14 сверла.

Торец сверла на режущей части затачивают, образуя главные задние поверхности 10, обращенные в процессе обработки к поверхности резания. Задние поверхности могут быть оформлены частью конической, линейчатой, эвольвентой, винтовой, плоской и другими поверхностями. Вспомогательными задними поверхностями являются наружные поверхности круглошлифованных ленточек 12. Это часть конической поверхности с очень малой конусностью, ось которой совпадает с осью сверла. Передние поверхности 14 винтовых канавок, пересекаясь с главными задними поверхностями 10, образуют главные режущие кромки 11, расположенные симметрично оси сверла, а пересекаясь со вспомогательными задними поверхностями (ленточками 12) – вспомогательные режущие кромки 13. Так как в сверле имеется сердцевина, то при пересечении двух главных задних поверхностей 10 образуется поперечная кромка или перемычка 7 (см. рис. 5.11).

Цилиндрическая фреза представляет собой цилиндрическое тело, на поверхности которого в продольном направлении прорезаны канавки для размещения стружки. Пересечение канавки с цилиндрической поверхностью образует режущие кромки. Для плавной работы фрезы и для увеличения числа одновременно работающих зубьев стружечные канавки делают винтовыми. На каждом ее зубе имеется одна режущая кромка. Часть стружечной канавки у режущей кромки является передней поверхностью, а поверхность цилиндра – задней.

Каждый режущий зуб имеет такие же элементы и углы, как и токарный резец.

Несмотря на многообразие протяжек для обработки внутренних поверхностей их разновидности имеют те же конструктивные и геометрические параметры, что и протяжки для обработки цилиндрических отверстий. Общий вид протяжки переменного сечения по ГОСТ 20365 для обработки цилиндрического отверстия показан на рис. 5.12.

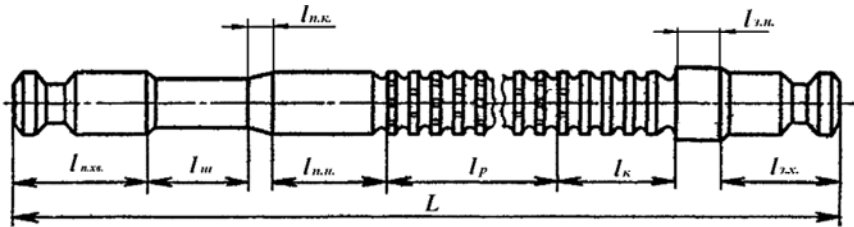


Рис. 5.12. Конструктивные элементы круглой протяжки:

$l_{п. хв.}$ – передний хвостовик (передняя замковая часть); $l_{ш}$ – шейка;
 $l_{п. к.}$ – переходной конус; $l_{п. н.}$ – передняя направляющая часть; l_p – режущая часть;
 $l_к$ – калибрующая часть; $l_{з. н.}$ – задняя направляющая часть;
 $l_{з. хв.}$ – задний хвостовик (задняя замковая часть)

Передний хвостовик $l_{п. хв.}$ служит для закрепления протяжки в патроне протяжного станка и передачи усилий от станка на рабочую часть протяжки. Формы и размеры хвостовиков протяжек нормализованы (рис. 5.13).

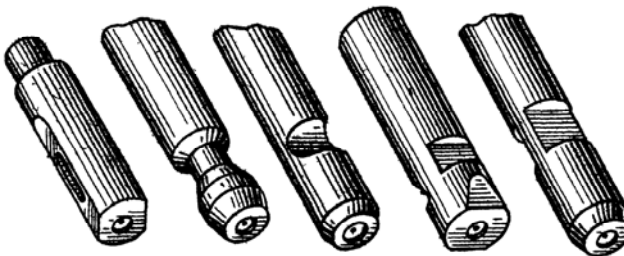


Рис. 5.13. Формы хвостовиков протяжек

Шейка $l_{ш}$ служит для соединения передней замковой части с передней направляющей частью.

Передняя направляющая часть $l_{п.н.}$ вместе с направляющим (переходным) конусом $l_{п.к.}$ предназначена для установки и центровки обрабатываемой детали на протяжке перед протягиванием. Она обеспечивает плавный, без перекосов, переход детали на режущую часть протяжки.

Номинальные размеры диаметров передней направляющей части и предварительно подготовленного отверстия одинаковы, а зазор обеспечивается выбором посадок.

Режущая часть l_p протяжки состоит из обдирочных, переходных и чистовых зубьев, которые, начиная со второго зуба, постепенно увеличивают свой размер с подъемом на зуб:

$$a = \frac{\Delta D}{2},$$

где $\Delta D = D_i - D_{i-1}$.

Режущая часть производит всю работу по срезанию припуска. Профили режущих кромок и поперечные размеры зубьев режущей части постепенно изменяются: первый зуб соответствует размерам предварительного отверстия, последний – форме и размерам готового отверстия. Промежуточные режущие зубья последовательно увеличиваются в размерах, благодаря чему при протягивании осуществляется срезание зубьями припуска без движения подачи.

Калибрующая часть l_k протяжки также имеет зубья, но в меньшем количестве; их размеры и форма одинаковы и соответствуют форме и размерам готового отверстия. Поэтому калибрующая часть гарантирует получение размеров готового отверстия и пополняет режущие зубья, выходящие из строя от износа, при переточках (первый калибрующий зуб становится последним режущим и т. д.).

Задняя направляющая $l_{з.н.}$ препятствует перекосу детали на протяжке и повреждению обработанной поверхности детали в момент выхода из отверстия последних калибрующих зубьев.

Задний хвостовик $l_{з.хв.}$ служит для соединения протяжки через патрон с кареткой обратного хода станка и выполняется только для автоматического или полуавтоматического протягивания, когда протяжка возвращается в исходное положение посредством каретки обратного хода.

Основные элементы режущей части шпоночной протяжки показаны на рис. 5.14: передняя поверхность зуба 1, главная задняя поверхность зуба 2, главная режущая кромка 3, задняя вспомогательная поверхность зуба 4, вспомогательная режущая кромка 5, стружечная канавка 6 и стружкоразделительная канавка 7.

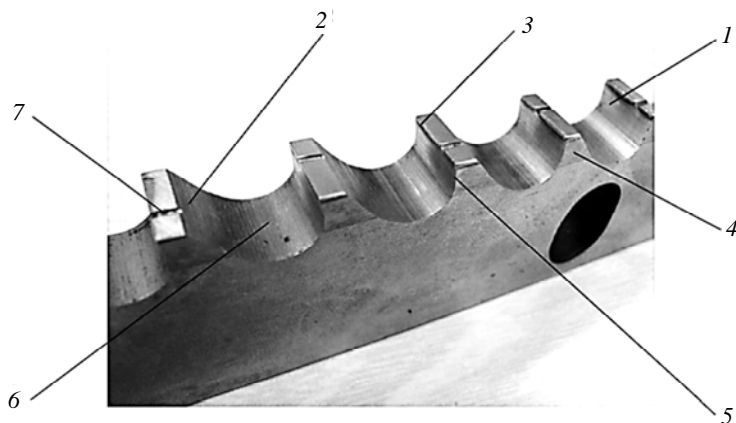


Рис. 5.14. Основные элементы режущей части шпоночной протяжки

Геометрические параметры зубьев протяжки и размеры среза показаны на рис. 5.15.

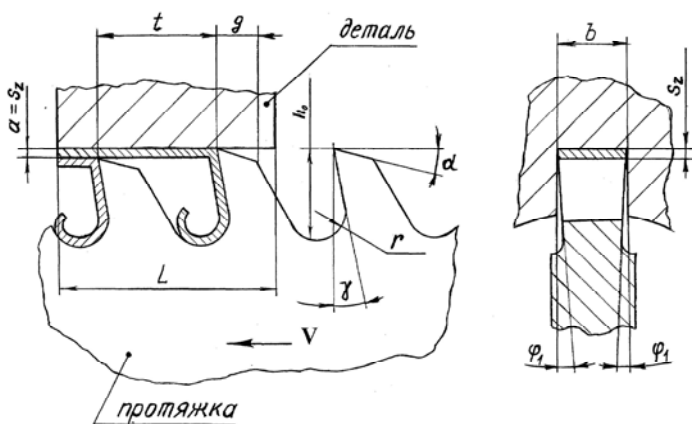


Рис. 5.15. Геометрические параметры зубьев шпоночной протяжки и размеры среза при протягивании

Размеры зубьев протяжки характеризуются следующими величинами:

t – осевой шаг (измеряется параллельно оси протяжки);

h_0 – глубина стружечной канавки;

g – ширина задней поверхности;

r – радиус закругления дна стружечной канавки;

b – ширина зуба (ширина среза);

γ и α – передний и задний углы;

φ_1 – вспомогательный угол (угол поднутрения) выполняется на зубьях шпоночных и шлицевых протяжек.

Величины углов γ зависят от обрабатываемого материала и типа протяжки и изменяются в пределах $\gamma = 5\text{--}20^\circ$. Меньшее значение γ следует выбирать для обработки чугуна; для углеродистых и малолегированных сталей принимается $\gamma = 20^\circ$. Передний угол γ оказывает влияние на усилие протягивания, шероховатость протянутой поверхности и стойкость протяжки.

У протяжек с односторонним расположением зубьев и свободным направлением в отверстии γ не делают больше 15° во избежание «подхватывания» протяжки обрабатываемым материалом.

Задний угол служит для уменьшения трения задней поверхности зуба о поверхность резания. Задние углы зубьев протяжек обычно составляют $1\text{--}10^\circ$ и зависят от вида зубьев (черновые, чистовые, калибрующие), обрабатываемого материала, типа протяжки.

Средства контроля режущего инструмента и способы их применения

При определении качества режущих инструментов контроль их линейных размеров и углов является наиболее трудоемким процессом в общем комплексе контрольных операций и характеризуется многообразием методов и средств измерения. Это объясняется сложностью формы большинства режущих инструментов, значительным количеством размерных параметров и многооперационностью технологических процессов изготовления режущих инструментов.

Методы и средства контроля, используемые в инструментальном производстве, отличаются большим разнообразием. Целесообразность применения тех или иных средств измерения определяется степенью их влияния на качество и себестоимость выпуска инструмента.

Специальные средства измерения применяются в условиях крупносерийного и массового производства, а также при других видах производства, когда необходим контроль параметров, характерных только для режущих инструментов. Кроме того, использование специальных средств измерения рентабельно и в тех случаях, когда величина допуска, предусмотренного чертежом, на проверяемый параметр меньше погрешности существующего универсального прибора или когда допуск на контролируемый параметр настолько большой, что экономически нецелесообразно использование дорогостоящего прибора. Во всех других случаях применяются универсальные инструменты и приборы.

Для контроля резьбовых и особенно зуборезных инструментов следует использовать специальные приборы и приспособления. Наоборот, линейные размеры инструментов могут измеряться универсальным мерительным инструментом.

На рис. 5.16 показаны примеры применения маятникового угломера.

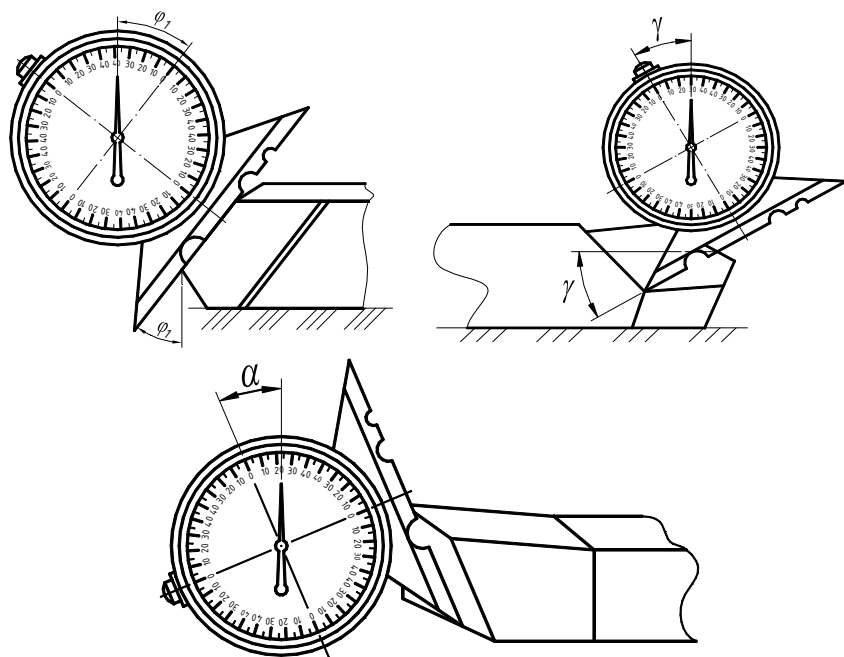


Рис. 5.16. Измерение углов α , γ , ϕ_1 маятниковым угломером

Прибор типа 2УРИ предназначен для измерения переднего и заднего углов многолезвийного режущего инструмента с прямолинейными зубьями, с равномерным шагом от 5 до 75 мм и с прямолинейным участком по передней и задней граням не менее 1 мм.

Прибор (рис. 5.17) имеет сектор 1 со шкалой передних и задних углов, который может перемещаться по дуге 2 со шкалой чисел зубьев и закрепляться в требуемом положении прижимом 3. Под прижимом расположена пружинная шайба, с помощью которой регулируется сила прижима сектора к дуге.

На шкале углов нанесены штрихи для отсчета передних углов в пределах 0–25° и задних – 0–35°.

На шкале чисел зубьев, среди оцифрованных штрихов имеются три неоцифрованных, соответствующих 14, 18 и 24 зубьям, и штрих со знаком ∞, используемый при контроле цилиндрических фрез с числом зубьев более 60, протяжек, торцевых зубьев фрез и т. п.

По правому торцу дуги перемещается линейка 4, удерживаемая от выпадения хомутиком 7. Линейка закрепляется в требуемом положении винтом 8 в зависимости от шага зубьев измеряемого инструмента.

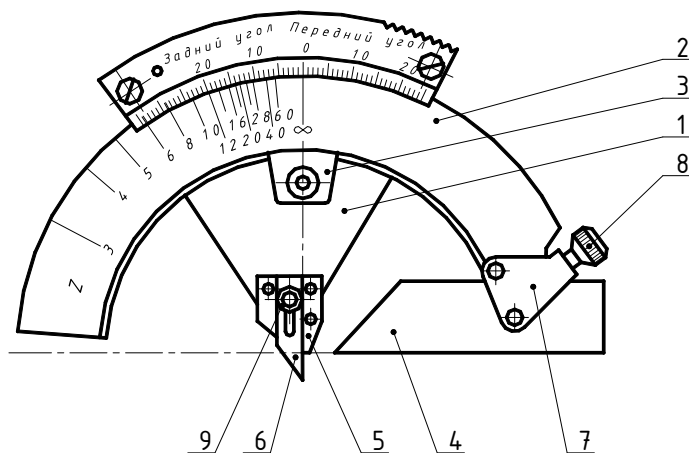


Рис. 5.17. Общий вид угломера Бабчиницира (2УРИ):

1 – сектор со шкалой передних и задних углов; 2 – дуга со шкалой чисел зубьев; 3 – прижим; 4 – линейка; 5 – планка; 6 – нож; 7 – хомутик; 8, 9 – винты

По пазу планки 5, закрепленной в секторе, перемещается нож 6, установленный на определенную высоту в зависимости от высоты зубьев измеряемого инструмента и закрепляемый винтом 9.

Приведем схемы измерений заднего (рис. 5.18) и переднего (рис. 5.19) углов фрезы, посредством угломера 2УРИ. Угломер накладывают на режущие кромки двух соседних зубьев так, чтобы режущая кромка измеряемого зуба упиралась в вершину угла, составленного измерительной плоскостью ножа 6 и планки 5, линейка 4 касалась смежного зуба, а торцовая часть прибора лежала бы в плоскости измерения угла (в плоскости перпендикулярной режущей кромке или в плоскости перпендикулярной оси фрезы). При измерении заднего угла α сектор 1 поворачивают до совмещения измерительной планки 5 с задней поверхностью зуба фрезы (см. рис. 5.18). Далее отсчитывают по градусной шкале сектора 1 значение заднего угла α : оно соответствует дуге между значением 0 на градусной шкале и одним из штрихов на шкале дуги 2, соответствующим числу зубьев фрезы Z . Например, для 28 зубьев фрезы задний угол $\alpha = 24^\circ$.

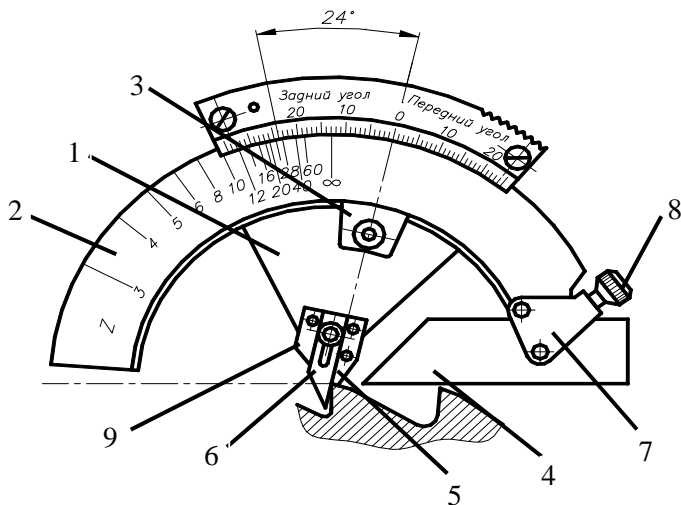


Рис. 5.18. Схема измерения заднего угла фрезы

При измерении переднего угла γ сектор 1 поворачивают до совмещения измерительного ножа 6 с передней поверхностью зуба фрезы (рис. 5.19), и по градусной шкале сектора 1 отсчитывают

значение заднего угла α : оно соответствует дуге между значением 0 на градусной шкале и одним из штрихов на шкале дуги 2, соответствующим числу зубьев фрезы Z . Например, для фрезы с 18 зубьями передний угол равен 14° .

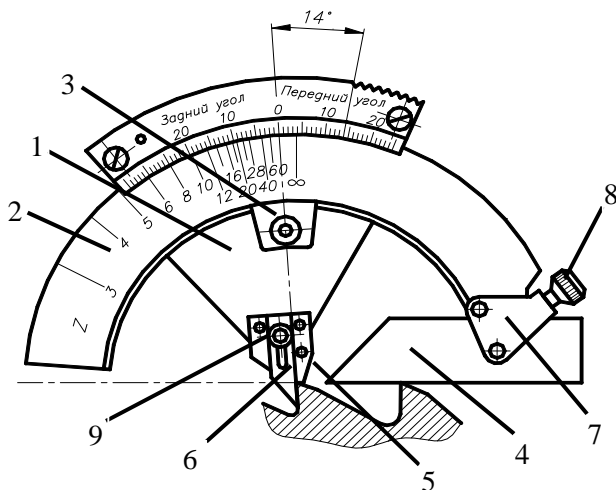


Рис. 5.19. Схема измерения переднего угла фрезы

При измерении переднего угла γ и заднего угла α у круглых протяжек можно использовать маятниковый угломер, устанавливая протяжку в центрах прибора ПБ-250 или направляющими частями протяжки в призмах.

На рис. 5.20 показано измерение переднего угла γ шпоночной протяжки угломером 2УРИ. Величина переднего угла γ равна 20° (указателем в данном случае является штрих напротив отметки $z = \infty$).

На рис. 5.21 показано измерение заднего угла α . Величина заднего угла α равна 2° (указателем также является штрих напротив отметки $z = \infty$).

Угол наклона режущих кромок плоских протяжек измеряется с помощью универсального угломера или маятникового угломера на поверочной плите. Этот угол можно измерить на любом приборе для контроля углов заточки резцов (МИЗ, КРИН, ЛМТ).

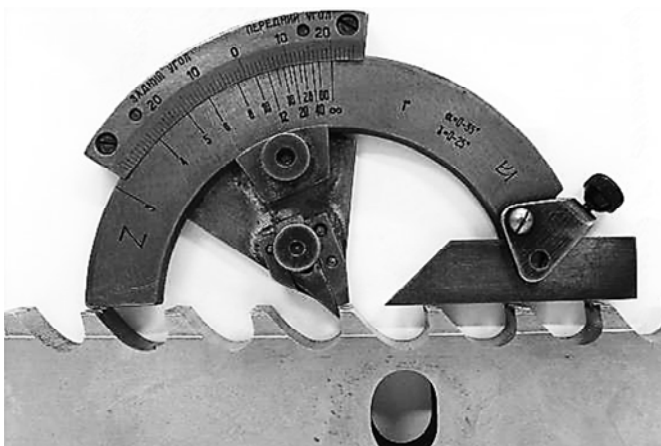


Рис. 5.20. Измерение переднего угла γ

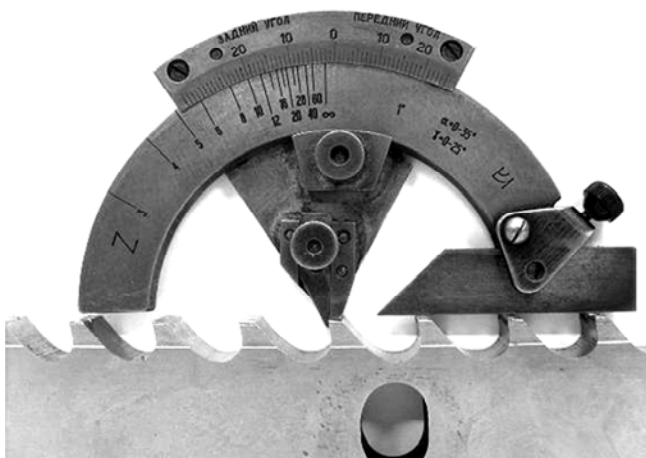


Рис. 5.21. Измерение заднего угла α

Практическая часть

Порядок выполнения работы

1. Получить у инженера или преподавателя режущий и мерительный инструмент и изучить их конструкции.

2. Определить тип инструмента (резец, сверло, фреза, протяжка) в соответствии с классификацией по различным признакам.

3. Установить протяжку в приспособление, как показано на рис. 5.22.



Рис. 5.22. Приспособление для установки протяжки

4. Измерить параметры шага и диаметры зубьев круглой протяжки. Полученные данные занести в табл. 5.1. Определить величину подъема на зуб и длину режущей и калибрующей частей.

Таблица 5.1

Параметры шага и диаметра зубьев круглой протяжки

№ зуба	Осевой шаг t , мм	Диаметры зубьев D_i , мм	Подъем на зуб a , мм; $\Delta D = D_i - D_{i-1} = 2S_z$

5. Измерить геометрические параметры режущей и направляющей частей (углы α_p ; γ_p ; α_k ; γ_k). Полученные данные занести в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Результаты измерений угловых параметров круглой протяжки

Передний угол на режущих зубьях, град.	γ_p	
Задний угол на режущих зубьях, град.	α_p	
Передний угол на калибрующих зубьях, град.	γ_k	
Задний угол на калибрующих зубьях, град.	α_k	

6. Оформить отчет по работе.

7. Сдать инженеру или преподавателю полученные для работы методические пособия и инструменты.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Инструменты и принадлежности к работе.
3. Таблица с результатами измерений параметров инструментов.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Назовите типы токарных резцов.
2. Назовите основные части и элементы резца.
3. Какие поверхности различают на обрабатываемой заготовке?
4. Дать определение элементов режима резания.
5. Дать определение элементов срезаемого слоя. От каких параметров зависит сечение срезаемого слоя?
6. Назовите основные элементы и части сверла.
7. Назовите основные геометрические параметры сверла.
8. Назовите виды фрезерования и их отличия.
9. Назовите типы фрез, их назначение и область применения.
10. Какие инструментальные материалы применяются для изготовления фрез?
11. Назовите элементы режима резания и срезаемого слоя при фрезеровании.

12. Что относится к геометрическим параметрам фрез?
13. Устройство и принцип работы угломера Бабчиницира (2УРИ).
14. Назовите существующие виды протягивания и охарактеризуйте их.
15. Какие преимущества имеет протягивание по сравнению с другими способами механической обработки?
16. Чем протягивание отличается от прошивания?
17. Назовите основные части и геометрические параметры круглой (шпоночной) протяжки.
18. Назовите режимы резания при протягивании.
19. Как классифицируются протяжки? Назовите основные типы протяжек.
20. Как определяются толщина и ширина срезаемого слоя при протягивании?
21. Способы измерения линейных размеров и геометрических параметров протяжек.

Список использованной литературы

1. Жигалко, Н. И. Обработка, материалов, станки и инструменты / Н. И. Жигалко, С. Я. Яцура. – Минск: Вышэйшая школа, 1984.
2. Режущий инструмент : лабораторный практикум : учебное пособие / В. И. Шагун [и др.]; под общ. ред. В. И. Шагуна. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2004.
3. Технология обработки конструкционных материалов : учебник для машиностроительных специальностей вузов / П. Г. Петруха [и др.]; под ред. П. Г. Петрухи. – Москва: Высшая школа, 1991.
4. Режущий инструмент : лабораторный практикум : учебное пособие / В. И. Шагун [и др.]; под общ. ред. В. И. Шагуна. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2004.

Лабораторная работа № 6

ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТЕЙ ШЛИФОВАНИЕМ

Цель работы

1. Изучить особенности процесса шлифования; виды применяемых шлифовальных кругов и их характеристики; схемы шлифования поверхностей; способы правки шлифовальных кругов и применяемый инструмент; способы балансировки шлифовальных кругов.
2. Провести статическую балансировку шлифовального круга.

Инструмент и принадлежности

1. Шлифовальные круги на керамической и металлической связках.
2. Устройство статической балансировки шлифовальных кругов.

Теоретическая часть

Характеристика процесса шлифования

Шлифованием называется процесс обработки резанием при помощи абразивного инструмента – шлифовального круга, режущим элементом которого являются зерна абразивных материалов. Острые кромки зерен *1* срезают с поверхности заготовки *3* слой металла. Каждое зерно, удерживаемое связующим материалом *2* на периферии шлифовального круга, работает, как зуб фрезы, снимая стружки переменного сечения (рис. 6.1).

Затупившиеся зерна в процессе обработки выкрашиваются, что приводит к самозатачиванию круга при шлифовании. Шлифование ведется при больших скоростях (30–60 м/с), поэтому в зоне резания возникают высокие температуры (1000–1500 °С). Для избежания прижогов, трещин и структурных изменений шлифуемой поверхности в зону резания обильно подается смазочно-охлаждающая жидкость.

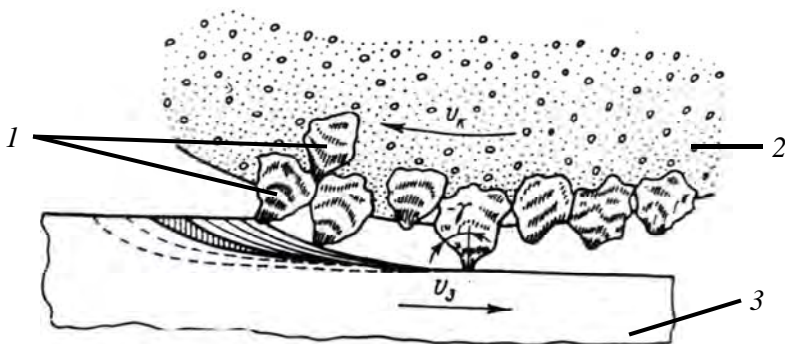


Рис. 6.1. Схема взаимодействия абразивных зерен с поверхностью заготовки при шлифовании

Шлифование применяют для чистовой и отделочной обработки деталей с высокой точностью. Для заготовок из закаленных сталей шлифование является одним из наиболее распространенных методов формообразования. Оно обеспечивает достижение 5–7 квалитетов точности и шероховатости обработанной поверхности по параметру $R_a = 0,1-1,2$ мкм.

Для формообразования любой поверхности методом шлифования необходимо вращательное движение круга и относительное перемещение по одной из координатных осей (рис. 6.2). Перемещения вдоль осей могут быть заменены вращательным движением вокруг оси.

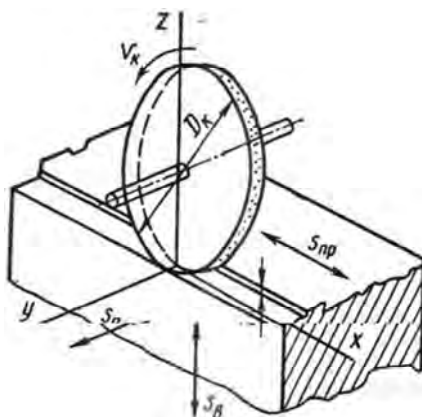


Рис. 6.2. Схема формообразования поверхности при шлифовании

Скорость резания (м/с) равна окружной скорости точки на периферии шлифовального круга:

$$v = \frac{\pi D_k n_k}{100 \cdot 60},$$

где D_k – диаметр круга (мм);

n_k – частота вращения круга (мин^{-1}).

Подачами являются перемещения заготовки или инструмента вдоль или вокруг координатных осей. Выражения и размерности подач определяются схемами шлифования.

Глубина резания t (мм) определяется толщиной слоя материала, срезаемого за один проход.

Основные сведения о шлифовальных кругах

Шлифовальный круг – режущий инструмент, представляющий собой тело вращения, рабочая часть которого содержит абразивные зерна. Различаются по геометрической форме, размерам, видам шлифовального материала, размеру абразивных зерен, виду связки (служащей для закрепления абразивных зерен), структуре и твердости.

Формы сечений наиболее часто применяемых шлифовальных кругов показаны на рис. 6.3.

Круги плоского прямого профиля (ПП) применяют при круглом наружном и внутреннем шлифовании, при плоском шлифовании периферией круга, при заточке режущего инструмента, резьбошлифовании, ручном обдирочном шлифовании. Плоские круги с коническим профилем (2П) применяют для резьбошлифования, шлифования шлицевых валов и зубошлифования. Плоские круги с выточкой (ПВ и ПВК) имеют универсальное применение (такое же, как круги профиля ПП) и позволяют одновременно шлифовать цилиндрические и торцовые поверхности. Круги чашечные цилиндрические (ЧЦ) применяют для внутреннего круглого шлифования периферией, для плоского шлифования торцом и для заточки режущего инструмента. Круги чашечные конические (ЧК) используют для заточки режущих инструментов и для плоского шлифования торцом. Тарельчатые круги (Т) применяют для затачивания многозубых

режущих инструментов (фрез, разверток, червячных фрез). Отрезные круги (Д) используют для отрезки заготовок из прутка.

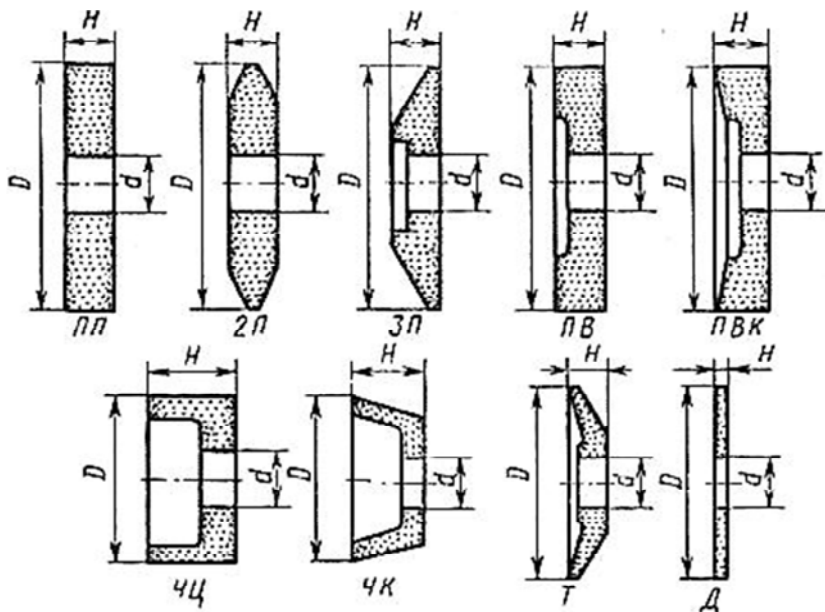


Рис. 6.3. Формы сечений шлифовальных кругов

Абразивные материалы разделяются на естественные и искусственные. В шлифовальных кругах применяют преимущественно искусственные шлифовальные материалы:

- электрокорунд нормальный (1А), белый (2А), хромистый (3А), титанистый (3А);
- монокорунд (4А);
- карбид кремния черный (5С) и зеленый (6С);
- эльбор (Л);
- алмаз природный (А) и синтетический (АС).

Общим для этих материалов является высокая твердость.

Теплоустойчивость, определяемая температурой, при которой абразивный материал сгорает на воздухе, составляет для электрокорунда 1250–1800 °С, карбида кремния – 1300–1400, эльбора – 1400–1500 и алмаза – 600–700 °С.

Круги из электрокорунда нормального применяют для обдирочного и черного шлифования стальных заготовок; круги из электрокорунда белого – для чистового и отделочного шлифования заготовок из закаленных конструкционных и инструментальных сталей; круги из монокорунда – для чистового или получистового шлифования высоколегированных сталей, подвергнутых азотированию, хромированию или другой химико-термической обработке; круги из хромистых и титанистых электрокорундов – для шлифования сталей, склонных к прижогам; крупнозернистые круги из карбида кремния черного – для правки шлифовальных кругов; круги из карбида кремния зеленого – для правки алмазных кругов; алмазные круги – для шлифования твердых сплавов и заточки твердосплавных инструментов; круги из эльбора – для заточки и доводки точных и сложных инструментов (например, зуборезных фрез, протяжек, разверток) из быстрорежущей стали.

За размер абразивного зерна условно принимают наименьший размер ячейки сита в свету, через которые оно проходит.

По зернистости шлифовальные материалы делятся на три группы:

- 1) с размерами зерен 2000–160 мкм;
- 2) с размерами зерен 125–40 мкм;
- 3) с размерами зерен от 63–3 мкм.

Связка соединяет абразивные зерна и совместно с ними образует структурное строение тела круга и рельеф его режущей поверхности. От физико-механических свойств связки зависят прочность круга и качество обработанной поверхности.

Различают следующие виды связки:

- керамическая (К);
- бакелитовая (Б);
- вулканитовая (В);
- металлическая (М) и др.

Керамическая связка применяется для всех шлифовальных кругов (и всех видов шлифования), кроме отрезных. К недостаткам керамической связки относится ее высокая хрупкость, поэтому круги на этой основе нельзя применять при работе с большими ударными нагрузками, то есть при обдирке.

Бакелитовую связку применяют в кругах, предназначенных для силового скоростного обдирочного шлифования, отрезки, заточных операций (без охлаждения).

Вулканитовую связку (на основе синтетического каучука) используют в кругах, предназначенных для отрезных работ, прорезки тонких пазов и для отделочного полирования.

Металлические порошковые связки применяют в алмазных кругах, предназначенных для предварительного и окончательного шлифования твердых сплавов.

Под твердостью шлифования круга понимают его свойство сопротивляться нарушению сцепления между зернами и связкой. По степени твердости круги делятся:

- на мягкие (М1, М2, М3);
- среднемягкие (СМ1, СМ2);
- средние (С1, С2);
- среднетвердые (СТ1, СТ2, СТ3);
- твердые (Т1, Т2);
- весьма твердые (ВТ1, ВТ2);
- чрезвычайно твердые (ЧТ1, ЧТ2).

В обозначении степени твердости цифры 1, 2, 3 характеризуют увеличение твердости круга. Чем тверже круг, тем более прочно связка удерживает зерно. Чем тверже шлифуемая заготовка, тем менее твердым выбирают шлифовальный круг.

Круги мягкие и среднемягкие применяют для шлифования закаленных заготовок из углеродистых, легированных и инструментальных сталей, а также из цветных металлов и их сплавов; круги среднемягкие и средние – для чистового и фасонного шлифования тех же материалов; круги средние и среднетвердые – для шлифования незакаленных сталей; твердые круги – для черновых обдирочных операций; весьма и чрезвычайно твердые круги – для правки шлифовальных кругов.

Структура шлифовального круга

Под *структурой* шлифовального круга понимается количественное соотношение между зернами 1, связкой 2 и порами 3 (рис. 6.4).

В зависимости от содержания абразивных зерен в объеме шлифовальных кругов их структура может быть плотной, средней, открытой.

Плотная структура шлифовальных кругов схематично показана на рис. 6.4, а. При содержании в круге 50–60 % абразивных зерен

они весьма плотно располагаются в его объеме. Связующего вещества немного, и оно тонким слоем обволакивает зерна и соединяет их в единое целое. Круги плотной структуры имеют поры малых размеров, в которых может разместиться небольшое количество срезаемой стружки. Поэтому применение шлифовальных кругов с плотной структурой ограничено доводочными операциями.

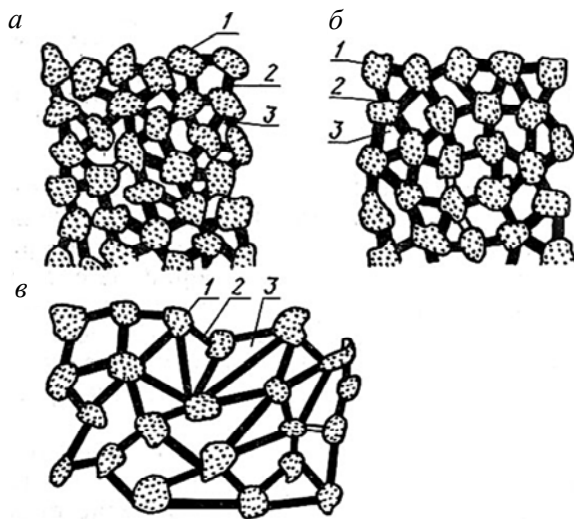


Рис. 6.4. Структуры шлифовального круга

При средних структурах (см. рис. 6.4, б) в объеме круга содержится 46–54 % абразивных зерен, и они расположены более свободно. Связующие вещества более толстым слоем обволакивают зерна и соединяют их в единый монолит. Прочность соединения зерен увеличивается. Расположенные между зернами и связкой поры имеют несколько большие объемы для размещения срезаемой стружки.

Открытые структуры (см. рис. 6.4, в) характеризуются объемным содержанием 38–44 % абразивных зерен, расположенных еще более свободно, увеличением содержания связующего вещества, более прочным соединением зерен, позволяющим повысить прочность круга в целом. Между абразивными зёрнами и связкой размещаются крупные поры, в которых свободно размещается стружка, срезаемая за рабочий цикл. Во время холостого цикла, когда данный

участок режущей поверхности круга выходит из контакта с обрабатываемым материалом, срезанные частицы выбрасываются из пор центробежными силами. Круги открытой структуры могут использоваться для шлифования металлов при высоких режимах резания.

Виды шлифования

Круглое наружное шлифование цилиндрических поверхностей

Наибольшее распространение получили методы шлифования на центрах, при этом для повышения точности обработки используют неподвижные центры, а круговая подача заготовки обеспечивается за счет поводкового устройства. Возможно консольное (для коротких) закрепление заготовок в кулачковых патронах.

Круглое шлифование цилиндрических поверхностей может быть выполнено по одной из четырех схем (рис. 6.5).

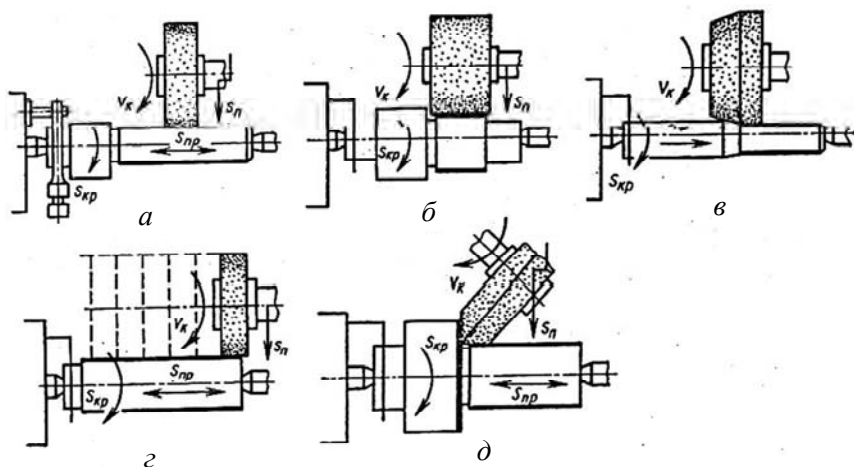


Рис. 6.5. Схемы круглого и наружного шлифования цилиндрических поверхностей

При шлифовании с продольной подачей (см. рис. 6.5, а) заготовка вращается равномерно ($S_{кр}$) и совершает возвратно-поступательное движение ($S_{пр}$). В конце каждого хода заготовки шлифовальный круг автоматически перемещается на S_n и при следующем ходе срезает

новый слой металла определенной глубины, пока не будет достигнут необходимый размер детали.

Врезное шлифование (см. рис. 6.5, б) применяют при обработке жестких заготовок в тех случаях, когда ширина шлифуемого участка может быть перекрыта шириной шлифовального круга. Круг перемещается с постоянной подачей $S_{\text{п}}$ (мм/об. заг) до достижения необходимого размера детали. Этот же метод применяют при шлифовании фасонных поверхностей и кольцевых канавок. Шлифовальный круг заправляют в соответствии с формой поверхности или канавки.

Глубинным шлифованием (рис. 6.5, в) за один проход снимают слой металла на необходимую глубину. На шлифовальном круге формируют конический участок длиной 8–12 мм. В ходе шлифования он удаляет основную часть срезаемого слоя, а цилиндрический участок защищает обработанную поверхность. Поперечная подача отсутствует.

Шлифование уступами (см. рис. 6.5, г) – это сочетание методов, представленных на рис. 6.5, а, б. Процесс шлифования состоит из двух этапов. На первом шлифуют врезанием с подачей $S_{\text{п}}$, передвигая периодически стол на 0,8–0,9 ширины круга (показано штриховой линией). На втором этапе делают несколько проходов с продольной подачей $S_{\text{пр}}$ для зачистки поверхностей при выключенной подаче $S_{\text{п}}$.

Во многих случаях на деталях необходимо обеспечить правильное взаимное расположение цилиндрических и плоских (торцовых) поверхностей. Для выполнения этого условия шлифовальный круг заправляют по схеме, представленной на рис. 6.5, д, поворачивают на определенный угол и шлифуют коническими участками круга. Цилиндрическую поверхность шлифуют аналогично схеме на рис. 6.5, а, с периферической подачей $S_{\text{п}}$ на глубину резания. Обработка торцовой поверхности заканчивается, как правило, с подачей вручную при плавном подводе заготовки к кругу.

Наружные конические поверхности шлифуют по двум основным схемам. При обработке заготовок на центрах (рис. 6.6, а) верхнюю часть стола поворачивают вместе с центрами на угол α так, что положение образующей конической поверхности совпадает с направлением продольной подачи $S_{\text{пр}}$. Далее шлифуют по аналогии с обработкой цилиндрической поверхности.

При консольном закреплении заготовок (рис. 6.6, б) на угол α (половина угла конуса) поворачивается передняя бабка.

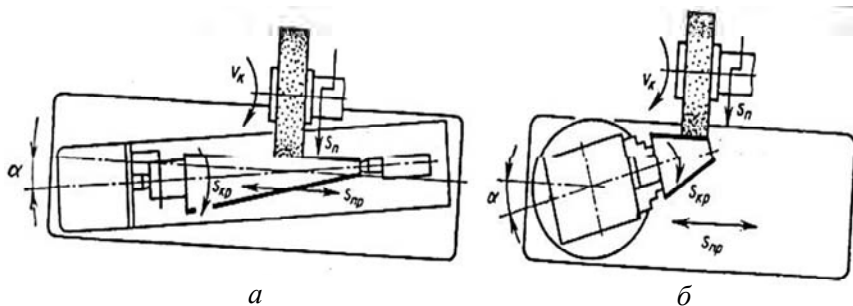


Рис. 6.6. Схема шлифования наружных конических поверхностей

Шлифование внутренних цилиндрических поверхностей

Внутреннее шлифование применяют для получения высокой точности отверстий на заготовках, как правило, прошедших термообработку. Возможно шлифование сквозных, глухих, конических и фасонных отверстий. Диаметр шлифовального круга составляет 0,7–0,9 диаметра шлифуемого отверстия. Круг вращается с высокой частотой.

На рис. 6.7, *a* приведена схема шлифования с закреплением заготовки в кулачковом патроне.

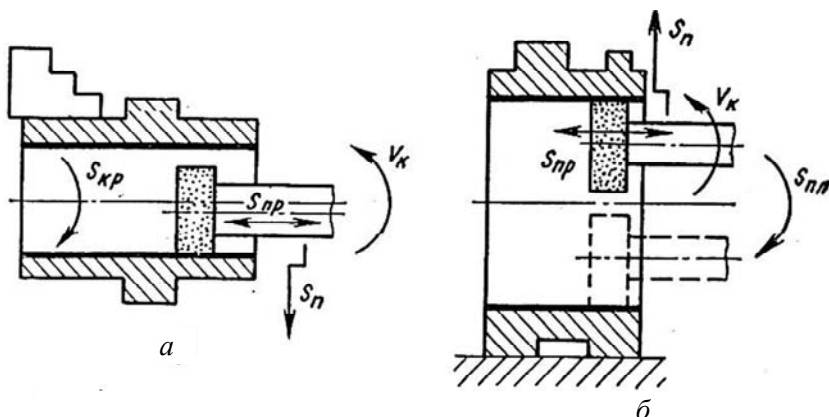


Рис. 6.7. Схема шлифования внутренних цилиндрических поверхностей

На внутришлифовальных станках также обрабатывают и внутренние торцовые поверхности. Внутренние фасонные поверхности

шлифуют специально заправленным кругом методом врезания. Внутренние конические поверхности шлифуют с поворотом передней бабки так, чтобы образующая конуса располагалась вдоль направления продольной подачи.

Заготовки больших размеров и массы обрабатывают методом планетарного шлифования (рис. 6.7, б). Заготовку закрепляют на столе станка неподвижно. Шлифовальный круг вращается вокруг своей оси, а также вокруг оси отверстия ($S_{пл}$), что аналогично круговой подаче (положение показано пунктиром). Планетарным шлифованием можно обрабатывать внутренние фасонные и торцовые поверхности.

Бесцентровое шлифование

Этот вид шлифования характеризуется высокой производительностью и применяется в крупносерийном и массовом производстве. Заготовки в этом случае обрабатывают в незакрепленном состоянии и для них не требуется центровых отверстий.

Заготовку 3 (рис. 6.8, а) устанавливают на нож 2 между двумя кругами: рабочим 1 и ведущим 4. Они вращаются в одном направлении, но с разными скоростями.

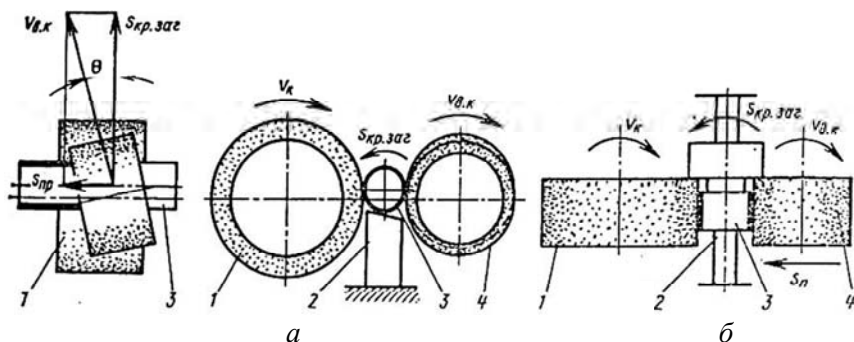


Рис. 6.8. Схема бесцентрового шлифования

Трение между ведущим кругом и заготовкой больше, чем между ней и рабочим углом. В результате заготовка увлекается во вращение со скоростью, близкой к окружной скорости ведущего круга.

Перед шлифованием ведущий круг устанавливают наклонно под углом θ ($1-7^\circ$) к оси вращения заготовки. Вектор скорости этого круга разлагается на составляющие и возникает продольная подача $S_{пр}$. Поэтому заготовка перемещается по ножу и может быть прошлифована на всю длину. Чем больше угол θ , тем больше подача.

Заготовки ступенчатой формы или с фасонными поверхностями шлифуют методом врезания (рис. 6.8, б). Перед шлифованием ведущий круг отводят в сторону, заготовку кладут на нож и затем поджимают ее ведущим кругом. Обрабатывают с поперечной подачей $S_{п}$ до получения необходимого размера детали. После шлифования обработанная деталь удаляется из зоны резания выталкивателем.

Шлифование плоских поверхностей

На практике наиболее распространены четыре схемы плоского шлифования, представленные на рис. 6.9.

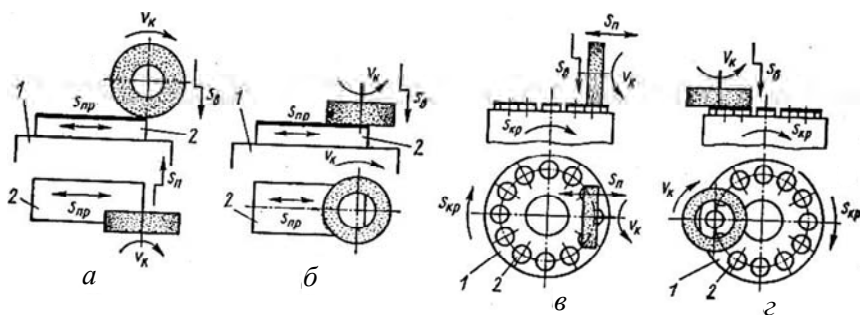


Рис. 6.9. Схема плоского шлифования

Шлифуют периферией и торцовой поверхностью круга. Заготовки 2 закрепляют на прямоугольных или круглых столах 1 с помощью магнитных плит, а также в зажимных приспособлениях. Возможно закрепление одной или одновременно многих заготовок. Заготовки размещают на столах, затем включают ток и они притягиваются к магнитной плите.

Прямоугольные столы совершают возвратно-поступательные движения, обеспечивая продольную подачу ($S_{пр}$). Подача на глубину резания ($S_{в}$) дается в крайних положениях столов. Поперечная

подача необходима в тех случаях, когда ширина круга меньше ширины заготовки (см. рис. 6.9, *а*).

Круглые столы (см. рис. 6.9, *в*) совершают вращательное движение, обеспечивая круговую подачу. Остальные движения совершаются по аналогии с движениями при шлифовании на прямоугольных столах.

Более производительно шлифование торцом круга, так как в работе одновременно участвует большое число абразивных зерен (рис. 6.9, *б*, *з*). Но шлифование периферией круга с использованием прямоугольных столов позволяет выполнять большое число разнообразных работ (шлифуют дно паза, осуществляют профильное шлифование).

Износ и правка шлифовальных кругов

В процессе шлифования зерна шлифовального круга изнашиваются и он теряет режущую способность. Одновременно с износом происходит его загрязнение – «засаливание», то есть забивание пор мелкой металлической пылью, продуктами износа зерен и связки, что приводит к резкому увеличению температуры в зоне резания и ухудшению качества обработанной поверхности (прижоги, риски). Кроме того, в силу неравномерного износа изменяется начальная форма рабочей поверхности шлифовального круга. С целью восстановления режущей способности круга и придания его рабочей поверхности требуемой формы осуществляют правку шлифовальных кругов.

Существуют два способа правки абразивного инструмента:

- алмазный;
- безалмазный.

Алмазная правка производится при обильном охлаждении и рабочей окружной скорости круга. Толщина снимаемого слоя при правке не превышает 0,01–0,03 мм.

В качестве инструмента применяется алмазное зерно $1\ 0,25\text{--}2$ карата, закрепляемое (механически или пайкой) в стальной оправке 2 (рис. 6.10, *а*) или алмазно-металлический карандаш (несколько мелких зерен алмаза $1\ 0,03\text{--}0,3$ карата заделываются в цилиндр из вольфрамедноалюминиевого сплава 2), рис. 6.10, *б*.

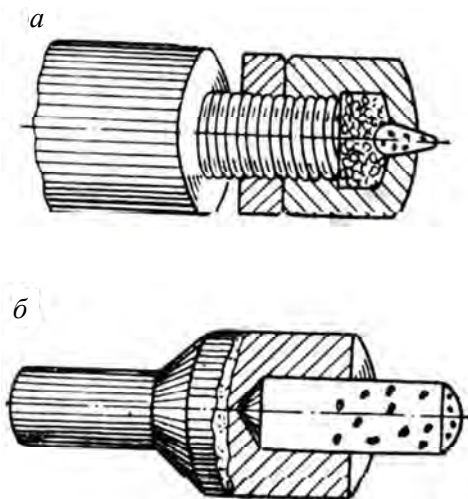


Рис. 6.10. Конструкции инструментов для алмазной правки шлифовальных кругов

Безалмазная правка производится монокристаллическими твердосплавными дисками (ВКЗМ, ВК6М), дисками из твердого сплава, цементированными латунями, металлическими дисками из сталей ШХ15, 20Х.

Существуют два метода безалмазной правки (рис. 6.11, *а*), когда правящий инструмент 2 вращается от шлифовального круга 1 за счет сил трения, и шлифовании (рис. 6.11, *б*), когда правящий круг 2 получает принудительное вращение.

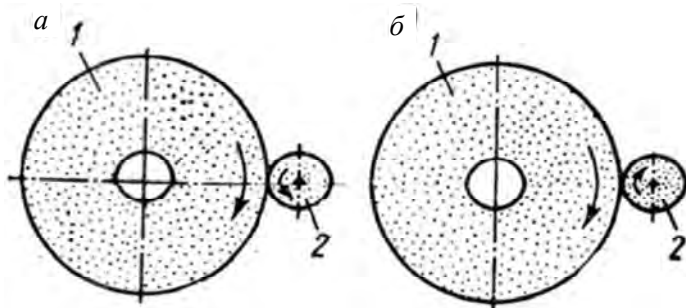


Рис. 6.11. Схемы безалмазной правки шлифовального круга

Правка алмазными инструментами по сравнению с правкой безалмазными обеспечивает более высокую стойкость круга, снижает расход абразива, требует меньше времени и повышает качество шлифования.

Балансировка шлифовальных кругов

Шлифовальные круги диаметром 250 мм и более в соответствии с ГОСТ 2424–83 перед установкой их на станке должны пройти контроль неуравновешенности по ГОСТ 3060–86.

Неуравновешенность круга увеличивает шероховатость обработанной поверхности и приводит к появлению на ней дробления, прижогов, повышенному износу круга, преждевременному выходу из строя шпиндельного и других узлов станка.

Особо важное значение имеет степень уравниваемости кругов в связи со все более широким внедрением скоростного и сверхскоростного шлифования.

Основные причины неуравновешенности круга следующие:

- эксцентричное расположение отверстия относительно наружной поверхности;
- эксцентричная установка круга на шпиндели станка или во фланцах;
- неправильная форма наружной поверхности;
- неодинаковая плотность материала круга;
- износ круга в процессе шлифования.

По ГОСТ 3060–86 установлены четыре класса неуравновешенности шлифовальных кругов, по которым допустимые неуравновешенные массы определяются в зависимости от массы кругов.

Для устранения (уменьшения) дисбаланса выполняют балансировку круга в сборе с переходными фланцами (для кругов диаметром более 200 мм и высотой более 20 мм при скоростях резания 35 м/с и выше). Балансировка в производственных условиях осуществляется динамическим или статическим способами. Более качественная динамическая балансировка производится на специальном, достаточно дорогостоящем оборудовании. Для статической балансировки требуется относительно простое приспособление, схема которого приведена на рис. 6.12.

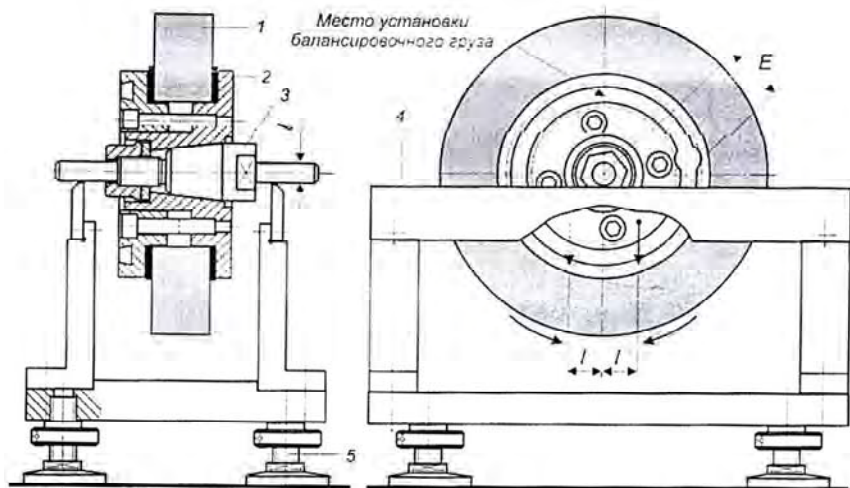


Рис. 6.12. Схема устройства статической балансировки шлифовальных кругов

В основу способа статической балансировки положен физический принцип гравитационной устойчивости тела качения, имеющего смещенный центр масс. Такое тело (в данном случае – круг с планшайбой в сборе) стремится на горизонтальной опорной плоскости занять положение, когда центр масс расположен ниже точки опоры и находится с ней на одной вертикальной линии.

Приспособление для статической балансировки представляет собой плиту, на стойках которой закреплены два параллельных опорных ножа 4 из закаленной высокопрочной стали. Опорные поверхности ножей выставляются строго горизонтально с помощью винтовых регулируемых опор 5 плиты. Для балансировки используется специальная высокоточная оправка 3, имеющая коническую базу, идентичную шлифовальному шпинделю, и две цилиндрические шейки с одинаковым диаметром d . Переходные фланцы 2 с кругом 1 и оправкой 3 в сборе устанавливаются на горизонтальные ножи 4 балансировочного приспособления. При наличии радиального смещения E центра масс возникают моменты дисбаланса с плечами l^+ или l^- в зависимости от места расположения центра масс от точки опорки на ножах 4. Эти моменты перекачивают балансируемую

систему соответственно по часовой стрелке или против часовой стрелки, переводя ее в устойчивое положение $l^+ = l^- = 0$. Процесс носит колебательный характер (маятник). После остановки планшайбы в цилиндрическую расточку балансировочной канавки на подвижном фланце 4 (см. рис. 6.12) вводится коническая балансировочная гайка 5 с винтом 6, продвигается по канавке в верхнюю точку (противоположную положению центра масс) и фиксируется винтом 6. После этого процесс повторяют (может быть установлено несколько балансировочных гаек) до того момента, когда балансируемая система после установки на ножи в любом произвольном угловом положении остается неподвижной, то есть центр масс расположен внутри цилиндра диаметром d (то есть $E < d$). Процесс статической балансировки достаточно трудоемок и требует определенных навыков. Точность балансировки (остаточный дисбаланс) зависит от диаметра d опорных шеек балансировочной оправки.

Практическая часть

Порядок выполнения работы

1. Закрепить шлифовальный круг на оправке (рис. 6.13).



Рис. 6.13 Фотография шлифовального круга на оправке

2. В учебных целях прикрепить груз к наружной поверхности шлифовального круга, то есть придать ему искусственно неуровновешенность (рис. 6.14).



Рис. 6.14. Фотография круга с искусственно созданной неуравновешенностью

3. Оправку с кругом установить на направляющие станка, после чего с помощью ручки опустить направляющие в нижнее положение (рис. 6.15). В результате гравитационной неуравновешенности круг начнет поворачиваться и в конечном итоге займет положение тяжелой точкой вниз.

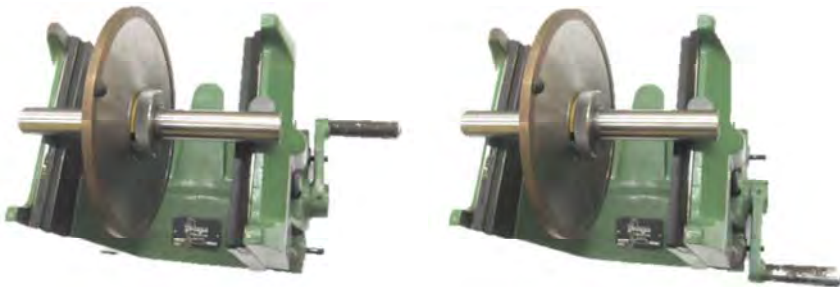


Рис. 6.15. Приспособление для статической балансировки кругов

4. Установить второй груз приблизительно равной массы в месте противоположном изначально установленному грузу (рис. 6.16).



Рис. 6.16. Фотография с установленным вторым грузом

5. Произвести ряд легких толчков и убедиться, что оправка со шлифовальным кругом останавливается в различных положениях, что свидетельствует об уравновешенности круга (рис. 6.17).

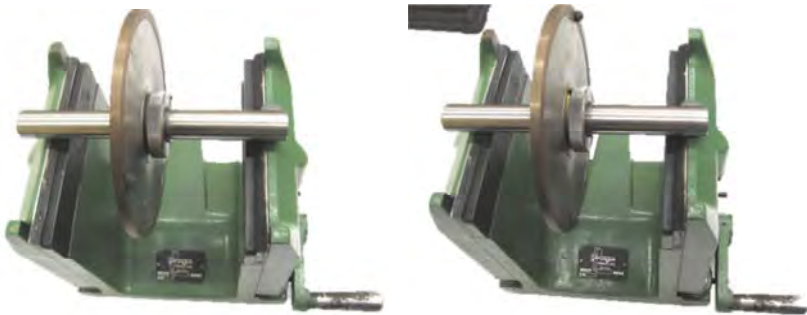


Рис. 6.17. Фотографии различных положений круга, что говорит о его уравновешенности

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Инструменты и принадлежности к работе.
3. Результаты проведенного эксперимента по устранению не-уравновешенности круга.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое шлифование?
2. Для чего применяют шлифование?
3. Что такое шлифовальный круг?
4. Структура шлифовального круга?
5. Виды шлифования?
6. Что представляет собой износ шлифовальных кругов?
7. Как осуществляется правка шлифовальных кругов?
8. Как осуществляется статическая балансировка шлифовальных кругов?

Список использованной литературы

1. Жигалко, Н. И. Обработка, материалов, станки и инструменты / Н. И. Жигалко, С. Я. Яцура. – Минск: Вышэйшая школа, 1984.
2. Режущий инструмент : лабораторный практикум : учебное пособие / В. И. Шагун [и др.]; под общ. ред. В. И. Шагуна. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2004.

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Цель работы

1. Ознакомиться с технологией получения деталей и заготовок методом порошковой металлургии.
2. Приобрести практические навыки по определению угла естественного откоса и текучести порошка.

Задачи работы

1. Изучить процесс изготовления деталей из металлических порошков.
2. Произвести расчет и дозирование шихты.
3. Определить необходимое усилие прессования заготовок.
5. Определить пористость заготовок.
6. Экспериментально определить угол естественного откоса исследуемых металлических порошков.
7. Экспериментально определить текучесть исследуемых металлических порошков.

Оборудование, инструменты и принадлежности

1. Комплект прессованных деталей (рис. 7.1).



Рис. 7.1. Комплект деталей

2. Стойка с устройством определения текучести порошка (рис. 7.2).



Рис. 7.2. Стойка с устройством определения текучести порошка

3. Лабораторные весы.
4. Шихта.
5. Секундомер.

Теоретическая часть

Введение

Порошковая металлургия (ПМ) – это процесс изготовления деталей из металлических порошков и их смесей с неметаллическими материалами без расплавления основного компонента.

Используя методы ПМ, можно изготавливать изделия из тугоплавких металлов, создавать материалы с особыми составами, структурой и свойствами, иногда вообще недостижимыми при применении других методов производства, либо с обычным уровнем свойств, но при существенно лучших экономических показателях.

Методы ПМ позволяют получить материалы деталей, обладающие высокой жаропрочностью, износостойкостью, стабильными магнитными свойствами, а также полупроводниковые материалы. Детали можно получать из чистых металлов, сплавов и композиций металлов с неметаллами, которые невозможно создать приемами

обычной металлургии вследствие их жаропрочности или неспособности сплавляться.

В ПМ используют следующие металлические порошки: железные, кобальтовые, вольфрамовые, никелевые, серебряные, медные, алюминиевые, оловянные и свинцовые.

Механические свойства изделий из чистых металлических порошков близки к свойствам литых деталей. В некоторых случаях удается подобрать режимы прессования и спекания, обеспечивающие повышенную прочность изделий.

Механические свойства деталей, полученных из металлических порошков, незначительно уступают механическим свойствам литых и кованных заготовок. Методами ПМ могут быть изготовлены такие же детали, что и из отливок, но с тем существенным отличием, что потери при изготовлении этих деталей методами ПМ составляют 3–7 %, тогда как при изготовлении из отливок отходы материала иногда достигают 80 %. Процессы порошковой металлургии наиболее эффективны в условиях крупносерийного и массового производства.

Методы получения металлических порошков. Свойства порошков

Методы получения металлических порошков делят:

- на *механические*, обычно используемые для переработки отходов;
- *физико-химические*, дающие возможность получать очень чистые шихтовые материалы.

Механическое измельчение (дроблением, размолотом или истиранием) – старейший метод перевода твердых веществ в порошкообразное состояние. Наиболее целесообразно применять механическое измельчение при производстве порошков хрупких металлов и сплавов. В качестве сырья лучше использовать стружковые и другие отходы, образующиеся при обработке металлов.

Операция механического измельчения часто совмещается с операцией приготовления смесей порошков.

Механические методы получения порошков:

- а) обработка металлов резанием с превращением их в мелкую стружку или опилки. Так получают, например, магнитный порошок путем царапания компактного магния стальными щетками или на специальных фрезерных станках;

б) измельчение металла в шаровых (карбиды титана, вольфрама, кремния и др.), вихревых (ковкие металлы) и других типах мельниц;

в) ультразвуковое диспергирование. Его ведут в воде, спирте, ацетоне и других жидкостях. Механизм его состоит в расклинивающем действии кавитационных ударов. Полученные порошки достаточно химически чистые, но частицы содержат больше микроискажений, чем после измельчения в шаровой мельнице.

Для получения порошков может использоваться и диспергирование расплавов.

Физико-химические методы – технологические процессы, которые связаны с существенным изменением химического состава исходного материала в результате происходящих в нем глубоких физико-химических превращений. По сравнению с механическими методами физико-химические более универсальны, причем некоторые требования, предъявляемые к металлическим порошкам, можно удовлетворить, используя только их.

К физико-химическим методам относятся:

а) получение металлических порошков восстановлением химических соединений. Этим методом могут быть получены практически все металлы. В общем случае простейшую реакцию восстановления можно представить как



где Me – любой металл, порошок которого требуется получить;

A – неметаллическая составляющая (кислород, фтор, хлор, солевой остаток и др.) восстанавливаемого химического соединения MeA;

X – восстановитель;

Q – тепловой коэффициент реакции;

б) производство металлических порошков электролизом растворов или расплавов соединений металлов. Это своеобразный процесс восстановления, при котором перераспределение электронов и передача их металлу с одновременной перестройкой структуры происходят не с помощью восстановителей, а за счет использования энергии электрического поля.

Электролиз используется для выделения порошков: меди, серебра, железа, никеля, кобальта, хрома, олова и др.

Существуют и другие физико-химические методы получения порошков.

Металлические порошки принято характеризовать *химическими, физическими и технологическими* свойствами.

В некоторых случаях необходимо характеризовать порошки по *специальным свойствам*:

- а) коррозионная стойкость;
- б) химическая активность;
- в) адсорбционная способность;
- г) цвет;
- д) блеск и т. п.

Знание свойств порошков необходимо для правильной организации техпроцесса производства заготовок. Основные характеристики порошков регламентированы ГОСТ или ТУ.

Химические свойства порошков – это содержание основного металла, примесей (или загрязнений) и газов, пирофорность и токсичность.

Для получения большинства изделий из порошков содержание основного металла в них должно быть не ниже 98–99 %. Предельное содержание примесей в порошках определяется допустимым содержанием их в готовой продукции.

В металлических порошках содержится значительное количество газов (кислорода, водорода, азота и др.) как адсорбированных на поверхности, так и попавших внутрь частиц в процессе изготовления. Большое количество газов увеличивает хрупкость порошков, затрудняет формование, а интенсивное их выделение может привести к короблению изделий. Поэтому порошки часто подвергают вакуумной обработке для отгонки газов.

Для некоторых порошков характерна способность к самовозгоранию при соприкосновении с воздухом – пирофорность. К таким порошкам относятся тонкие порошки железа, кобальта, алюминия, циркония и др. Например, для циркония со средним размером частиц 3–6 мкм пирофорность проявляется при его расположении в слое при 180 °С, а для взвешенной в воздухе пыли циркония – при 20 °С.

Пыль любого металла может воздействовать на человека и вызывать патологические изменения в организме, то есть быть токсичной. Поэтому при контакте с порошком обращается особое внимание на соблюдение мер, обеспечивающих безопасность работающих.

Физическими свойствами порошков являются:

- а) форма частиц;
- б) размеры и распределение их по крупности;
- в) удельная поверхность;
- г) пикнометрическая плотность;
- д) микротвердость.

Форма частиц зависит от метода получения и обработки порошка и бывает: сферическая (распыление расплава с кристаллизацией частиц в свободном полете), губчатая (восстановление оксидов), оскольчатая (измельчение в шаровой мельнице), дендритная (электролиз водных растворов и расплавов солей) и др.

Размер частиц. Металлические порошки состоят из частиц различной крупности. В зависимости от набора размеров частиц порошок характеризуется гранулометрическим (фракционным) составом. Фракция – это диапазон размеров частиц между их максимальным и минимальным значениями. Гранулометрический состав – содержание частиц (%) в определенных фракциях по отношению к их общему количеству.

В зависимости от размеров частиц порошки условно делят:

- на ультрадисперсные (до 500 нм);
- ультратонкие (0,5–10 мкм);
- тонкие (10–40 мкм);
- средней крупности (40–250 мкм);
- грубые или крупные (250–1000 мкм).

Гранулометрический состав определяют различными методами анализа: ситовым, микроскопическим и др.

Удельная поверхность порошка – это суммарная поверхность всех частиц, составляющих его единицу массы (или объема). Для различных порошков она составляет от 0,01 до 10–20 м²/г. Величина удельной поверхности определяет активность протекания физико-химических процессов, сопутствующих формированию свойств частиц, их компактированию, спеканию, взаимодействию с окружающей средой и т. д.

Удельная поверхность порошка определяется дисперсностью, формой и состоянием поверхности его частиц. Для ее определения используют методы измерения газопроницаемости и адсорбции.

Плотность частицы порошка – это отношение ее массы к занимаемому объему; зависит от совершенства внутренней макро- и

микроструктуры частицы, наличия оксидов, нитридов и т. д. Для сплавов плотность частицы зависит также от равномерности распределения легирующих элементов и фаз.

Пикнометрическую (истинную) плотность частицы порошка определяют при помощи мерных сосудов – пикнометров.

Микротвердость позволяет косвенно оценивать способность частиц к деформированию. Ее определяют по величине отпечатка, оставленного при вдавливании алмазного наконечника (индентора) конусной формы в полированную плоскую поверхность частиц порошка, закрепленных в шлифе.

Технологические свойства порошков:

- а) угол естественного откоса;
- б) насыпная плотность;
- в) текучесть;
- г) плотность утряски;
- д) уплотняемость;
- е) прессуемость;
- ж) формуемость.

Знание технологических характеристик позволяет в сочетании с известными физическими свойствами оценивать поведение исследуемых порошков при их компактировании, скорость заполнения порошком пресс-форм, величину необходимого при прессовании давления и т. д.

Угол естественного откоса. При истечении сыпучего материала на горизонтальную плоскость образуется горка с некоторым углом откоса, соответствующим равновесию частиц. Угол между горизонтальной плоскостью и линией откоса называют углом естественного откоса. Он является наибольшим углом, который может быть образован плоскостью естественного откоса с горизонтальной плоскостью, и служит одним из основных показателей подвижности материала. Его величина определяется силами трения, которые зависят от формы, размера частиц и влажности. Увлажнение материала приводит к увеличению угла естественного откоса. В большинстве случаев угол естественного откоса сыпучих материалов не превышает 55–60°.

Наибольшая подвижность частиц сыпучего материала соответствует минимальному углу естественного откоса, по мере увеличения этого угла подвижность частиц уменьшается.

Угол естественного откоса необходимо учитывать при определении поперечного сечения ленточного питателя и полезной емкости бункера.

Различают угол естественного откоса материала в покое и в движении на поверхностях транспортирующих устройств. При движении опорная горизонтальная плоскость колеблется, величина угла естественного откоса уменьшается. Таким образом, угол естественного откоса в покое всегда больше угла естественного откоса в движении ($f_{\text{дв}} \ll 0,7f$). Угол естественного откоса обычно определяют с помощью специальных приборов. Иногда, если это необходимо, угол естественного откоса с достаточной точностью может быть определен следующим образом: отрезок цилиндрической трубы устанавливают вертикально на горизонтальной плоскости и заполняют испытуемым материалом.

Затем трубу медленно поднимают. Высыпавшийся материал располагается на плоскости под углом естественного откоса (рис. 7.3).

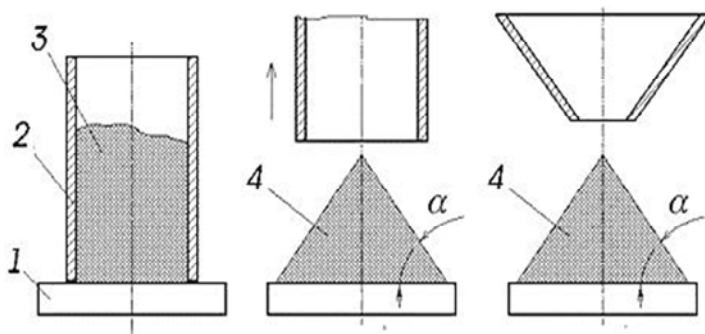


Рис. 7.3. Способы определения угла естественного откоса:

- a* – с помощью убираемой трубы; *b* – при свободном истечении из воронки;
 1 – гладкая плита; 2 – труба; 3 – порошок; 4 – свободно отсыпанный порошок;
 α – угол естественного откоса

Насыпная плотность – это масса единицы объема порошка при свободной его насыпке.

Эта характеристика определяется плотностью материала порошка, размером (формой) его частиц, плотностью укладки частиц и состоянием их поверхности. Например, сферические порошки с гладкой формой частиц обеспечивают более высокую насыпную плотность.

Насыпную плотность определяют по ГОСТ на приборе, называемом волюмометр.

Насыпную плотность учитывают при расчете объема полости матрицы при прессовании.

Величина, обратная насыпной плотности, характеризует объем, занимаемый единицей массы порошка, который называют *насыпным объемом*. Эта величина помогает оценить способность порошка к наполнению формирующей полости матрицы пресс-формы.

Плотность утряски. При приложении механических колебаний к сосуду с порошком его частицы, перераспределяясь друг относительно друга, расположатся существенно более компактно. Сокращение объема произойдет без деформации частиц порошка. Отношение массы порошка к величине этого нового, уменьшенного объема, называют *плотностью утряски*.

Метод определения этой характеристики регламентируется ГОСТ.

Плотность утряски (а она по сравнению с насыпной плотностью может увеличиваться на 25–50 %) зависит от тех же свойств порошка, что и насыпная плотность.

Отношение насыпной плотности к плотности утряски дает также качественное представление о текучести порошка.

Текучесть порошка – это его способность перемещаться под действием силы тяжести, которая оценивается временем истечения (с) навески порошка массой 50 г через калиброванное отверстие диаметром 2,5 мм.

Текучесть зависит от плотности материала, гранулометрического состава, формы и состояния поверхности частицы, степени окисления и т. д.

Ее учитывают при определении производительности автоматических процессов. Текучесть ухудшается при увлажнении порошка, увеличении его удельной поверхности и доли мелкой фракции. Она несколько улучшается при окислении поверхности частиц.

Уплотняемость порошков показывает их способность к уменьшению занимаемого объема под воздействием давления или вибрации.

Данные по уплотняемости представляют в виде таблицы или графика зависимости плотности прессовок от давления прессования.

Прессуемость порошка оценивают его способностью образовывать под воздействием давления тело, имеющее заданные размеры, форму и плотность.

Эта характеристика дает качественную оценку свойств порошка, комплексно связанную с уплотняемостью и формуемостью.

Формуемость порошка оценивают его способностью сохранять приданную в результате прессования форму в заданном интервале пористости.

Формуемость порошка зависит в основном от формы, размера и состояния поверхности частиц.

Технология изготовления деталей

Технологический процесс изготовления деталей состоит из следующих операций:

- приготовление шихты требуемого состава;
- дозирование;
- прессование (формование);
- спекание;
- калибрование;
- механическая обработка (обработка резанием);
- нанесение гальванопокрытия.

Приготовление шихты

Ввиду того, что невозможно учесть все требования, которые предъявляют к порошкам различные потребители в соответствии с техническими условиями на готовую продукцию, существует необходимость придания порошку определенных химических, физических и технологических характеристик, обеспечивающих выпуск продукции с нужными конечными свойствами. Основными операциями при подготовке порошков к формованию являются отжиг, рассев и смешивание.

Отжиг – это вид обработки порошков, применяемый с целью повышения их пластичности, и, следовательно, улучшения уплотняемости, прессуемости и формуемости.

При отжиге снимается наклеп и очень часто происходит восстановление оксидов, оставшихся после получения порошка или образовавшихся в результате неправильного их хранения.

Нагрев осуществляют в защитной среде (восстановительная, инертная или вакуум) при температуре $t = (0,4-0,6)T_{пл}$, где $T_{пл}$ – температура плавления порошка.

Рассев – это разделение порошков по величине частиц на фракции, используемые затем либо для формования, либо для составления смеси, содержащие требуемый процент частиц нужного размера.

В порошковой металлургии чаще всего применяют ситовую классификацию порошков.

Приготовление смесей. Смешивание порошков заключается в приготовлении однородной механической смеси из порошков различного химического и (или) гранулометрического состава, а также их смеси с неметаллическими порошками. Длительность смешивания составляет от одного до нескольких часов. Наиболее распространенным является механическое смешивание в шаровых мельницах и смесителях различных типов.

В общем случае равномерное распределение частиц порошков в объеме смеси достигается тем легче и быстрее, чем ближе плотности смешиваемых компонентов.

Смешивание осуществляют в газовой среде (воздухе или инертном газе) и в жидкой (воде, бензине, спирте и т. д.). В жидкой среде смешивание происходит значительно интенсивнее, что объясняется уменьшением силы электрического притяжения между частицами и, следовательно, лучшему их объемному распределению, а также увеличением подвижности частиц в жидкой среде.

В некоторых случаях применяют химический метод смешивания.

Результаты смешивания контролируют:

1) по физико-технологическим свойствам шихты (гранулометрический состав, насыпная плотность, текучесть, прессуемость, а также физические и механические свойства спеченных тел);

2) химическим анализом проб.

На практике обычно контролируют часть технологических характеристик смеси и проводят химический анализ проб из нее.

Дозирование шихты

Шихту дозируют по массе или по объему. В крупносерийном производстве при автоматизации дозирования и достаточно стабильном качестве смеси предпочтение следует отдать объемному способу, при котором определяют насыпной объем.

Успешное осуществление объемной дозировки, особенно автоматической, возможно только для порошков с высокой текучестью

и однородными технологическими свойствами. Для улучшения текучести применяют предварительное гранулирование прессуемого материала обкаткой его во вращающемся барабане, в том числе с увлажнением (например, бензином).

В зависимости от выбранного способа дозирования дозу рассчитывают по формулам:

$$G_{\text{нас}} = \rho V_{\text{дет}} K \left(1 - \frac{P_{\text{дет}}}{100}\right);$$

$$V_{\text{нас}} = \frac{\rho K}{m_{\text{нас}}} V_{\text{дет}} \left(1 - \frac{P_{\text{дет}}}{100}\right),$$

где $G_{\text{нас}}$ = $G_{\text{дет}}$ – величина навески шихты, кг;

$V_{\text{нас}}$ – насыпной объем, м³;

$V_{\text{дет}}$ – объем готовой детали, м³;

$P_{\text{дет}}$ – заданная пористость готовой детали, %;

$m_{\text{нас}}$ – насыпная масса порошка, кг/м;

ρ – плотность прессуемого порошка при 100 % плотности (в компактном состоянии), кг/м³;

K – коэффициент потерь ($K = 1,04 + 1,05$).

Для смеси порошков

$$\rho_i = \frac{1}{\frac{G_1}{r_1} + \frac{G_2}{r_2} + \dots + \frac{G_i}{r_i}},$$

где G_i – содержание компонентов смеси в долях единицы;

ρ_i – плотность компонентов, кг/м³.

Прессование (формование)

Прессование – это формование металлического порошка в пресс-форме под воздействием давления.

Его главная цель: получение брикетов с размерами и формой, необходимыми для получения готовых изделий.

Сущность процесса прессования порошка заключается в уменьшении его начального объема обжатием, тогда как при деформировании

компактного материала его объем остается постоянным. Объем порошкового тела при прессовании изменяется в результате заполнения пустот между частицами за счет их смещения и пластической деформации.

Уплотнение порошка обеспечивается прессованием в металлических прессформах или в эластичных оболочках, шликерным формованием, прокаткой и другими методами.

Если строить график, на котором по оси ординат отложить относительную плотность (то есть отношение фактической плотности к плотности беспористого материала) в %, а по оси абсцисс – давление прессования, то зависимость между этими величинами в общей форме можно было бы выразить идеализированной кривой уплотнения с тремя характерными участками *а*, *б*, *в* (рис. 7.4).

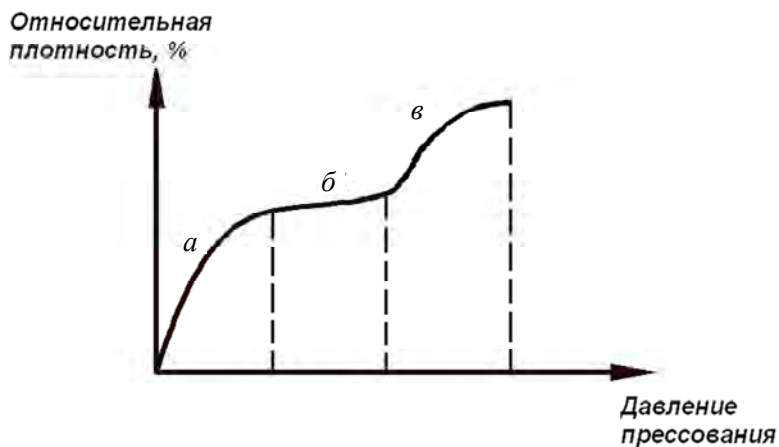


Рис. 7.4. Идеализированная кривая уплотнения порошков пластичных металлов

Наиболее интенсивное уплотнение должно происходить на первой стадии процесса (участок *а*). Вторая стадия процесса (участок *б*) характеризуется тем, что частицы порошка, упакованные достаточно плотно, оказывают определенное сопротивление сжатию, давление прессования возрастает, а плотность порошкового тела при этом некоторое время не увеличивается.

Когда давление прессования превысит сопротивление сжатию частиц порошка, начинается их пластическая деформация и процесс

уплотнения вступает в третью стадию – участок *в*. С этого момента пластическая деформация охватывает весь объем каждой частицы, смещение контактов фактически прекращается, и они фиксируются.

На практике в процессе прессования происходит взаимное наложение указанных стадий уплотнения, протекающих одновременно, а реальная кривая уплотнения большинства порошков монотонна и в средней части не имеет явно выраженного горизонтального участка.

Важным моментом, особенно при прессовании сложных изделий, является равномерное распределение порошка по матрице пресс-формы и горизонтальность его поверхности. Это достигается различными путями, например вибрированием пресс-формы (вручную или механически) или применением специальных разравнивателей порошка, чаще всего в тех случаях, когда прессуют крупные брикеты.

Пресс-формы, применяемые в порошковой металлургии, могут быть классифицированы: по эксплуатационным особенностям (стационарные и съемные); принципу заполнения порошком полости матрицы (с объемной и весовой дозировкой); принципу прессования (одностороннее и двустороннее); конструкции матрицы (со сплошной и разъемной матрицей); количеству формующих гнезд (одногнездные и многогнездные); роду применяемых прессов (для неспециализированных и специализированных прессов); методу прессования (для ручного, полуавтоматического и автоматического прессования); количеству слоев в прессуемой детали (для однослойных и многослойных деталей); конструкции пресс-формы, которая зависит от конфигурации прессуемой детали и ее размеров, в частности от отношения высоты детали к ее диаметру (поперечному размеру) или толщине стенки.

При конструировании пресс-форм учитывают четыре основных требования:

- 1) формирование детали заданных форм и размеров;
- 2) обеспечение равномерной плотности во всех частях прессуемого изделия;
- 3) обеспечение возможности наиболее простого выпрессовывания изделия;
- 4) надежность, простота, экономичность и обеспечение длительности срока службы конструкции.

Совершенно очевидна зависимость конструкции пресс-формы от конфигурации и размера изготавливаемой детали, форму которой стремятся максимально упростить.

Кроме того, невозможно получать изделия с боковыми впадинами или отверстиями; их изготавливают дополнительной механической обработкой.

Число изменений по толщине и диаметру должно быть минимальным у прессуемой детали, причем указанные изменения не должны быть резкими, а сама толщина – достаточной (0,8 мм и более).

Деталь рекомендуется делать без узких и длинных выступов или выемок, обратной конусности, острых углов и других форм, приводящих к ослаблению конструкции пресс-формы. Необходимо предусматривать небольшие площадки на концах скосов и углов, что позволяет устранить острые углы на торцах пуансонов. При сопряжении поверхностей следует предусматривать радиус закругления, равный не менее 0,25 мм.

Схема пресс-формы для получения изделий простой цилиндрической формы с отношением высоты к диаметру ≤ 1 односторонним прессованием приведена на рис. 7.5. Для выпрессовывания удаляют нижний пуансон, устанавливая специальную подставку с центральным отверстием, и верхним пуансоном выталкивают изделие из пресс-формы. Если пресс-форма смонтирована в столе пресса, то выталкивание изделия происходит снизу или сверху соответственно нижним или верхним пуансоном или специальным толкателем.

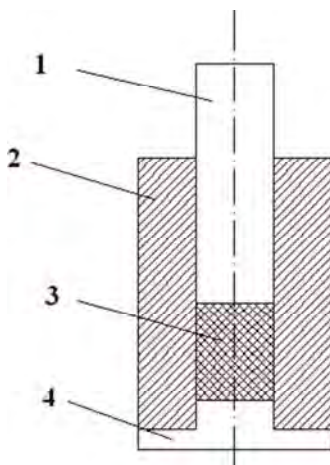


Рис. 7.5. Пресс-форма:
1 – пуансон верхний; 2 – матрица; 3 – прессуемый порошок;
4 – пуансон нижний (подставка)

При необходимости прессования изделий с отношением высоты к диаметру (поперечному размеру) более единицы используют пресс-формы двустороннего прессования (рис. 7.6).

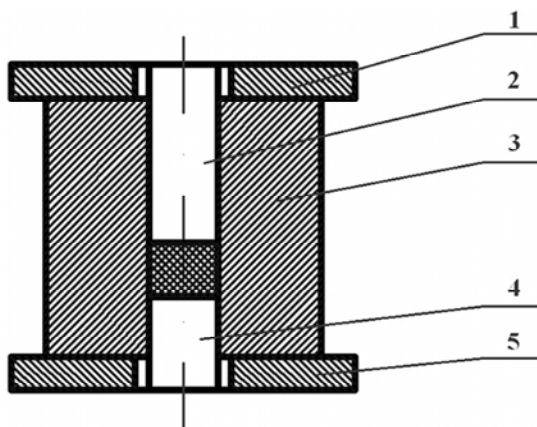


Рис. 7.6. Схема двустороннего прессования:
1, 5 – прокладки; 2, 4 – пуансоны; 3 – матрица

Для прессования изделий сложной формы применяют верхние и (или) нижние составные пуансоны с несколькими подвижными частями, количество которых соответствует числу переходов (изменений размеров) по высоте изделия (рис. 7.7).

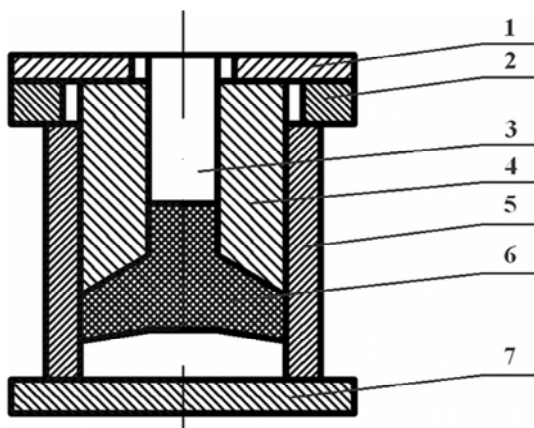


Рис. 7.7. Схема сложного прессования:
1, 2, 7 – прокладки; 3, 4 – пуансоны; 5 – матрица; 6 – вставка

Прессы, используемые в настоящее время в порошковой металлургии для одно- или двустороннего прессования, гидравлические и механические, вертикальные (верхнего и нижнего деления) или горизонтальные (как правило, только гидравлические), автоматизированные и неавтоматизированные. В свою очередь механические прессы бывают кривошипные, кривошипноколенные, кулачковые и карусельные.

Прессы должны обеспечивать:

– достаточное давление в требуемом направлении, возможность регулирования хода скоростей прессования и выталкивания, возможность регулирования наполнения пресс-формы порошком, синхронизирование ходов составных пуансонов;

– жесткость конструкции, износостойкость против абразивного действия прессуемого материала, простоту систем смазки и удобное расположение механизмов управления и регулировки.

Выбор типа прессы определяется количеством, качеством, формой и размерами прессуемых изделий, в том числе требуемой плотностью брикета, его поперечным сечением, конструкцией пресс-формы, а также производительностью прессы и его пригодностью для выполнения различных работ.

Существуют два варианта прессования:

- а) по заданному давлению прессования;
- б) по смыканию матрицы и пуансона.

В первом случае заготовка прессуется до определенного давления по манометру. При этом методе прессования заготовки имеют постоянную пористость и непостоянную высоту.

Более прост и производителен второй метод прессования, обеспечивающий постоянство размеров детали.

Оформляющие элементы пресс-форм (матрицы и пуансоны) изготавливаются из конструкционных хромоникелевых сталей по 7–10 качеству точности шероховатостью $Ra = 1,25–0,32$ мкм.

Давление прессования определяется по зависимости

$$p = \frac{P}{F},$$

где p – давление прессования, Н/м²;

P – усилие прессования, Н;

F – площадь прессования, мм².

Усилие прессования P определяется по тарировочному графику. Пористость заготовки (детали) определяется по формуле

$$P_{\text{дет}} = 100\left(1 - \frac{G_{\text{дет}}}{V_{\text{дет}}}\right),$$

где $V_{\text{дет}}$ – объем готовой детали, м³;

$G_{\text{дет}}$ – величина навески шихты, кг.

Спекание

Спекание представляет собой сложный комплекс большого количества физико-химических явлений, протекающих одновременно или последовательно при нагревании формовок или свободно насыпанного порошка. Некоторые из них связаны с обычными эффектами влияния повышенных температур на любое поликристаллическое тело, другие же являются специфичными для пористых порошковых тел.

Практической целью спекания является достижение определенного уровня требуемых свойств, формирующихся в процессе нагрева исходного порошкового тела. Спекание есть нагрев и выдержка порошковой формовки при температуре ниже точки плавления основного компонента с целью обеспечения заданных механических и физико-химических свойств.

Температура спекания должна составлять 0,65–0,75 температуры плавления основного компонента металлокерамической смеси. Выдержка по достижении максимальной температуры спекания 30–80 мин. При увеличении выдержки плотность существенно повышается. Процесс спекания делят на три этапа:

первый этап: нагрев до 1500 С° – удаление влаги;

второй этап: нагрев до температуры, которая на 20–25 % меньше температуры спекания – снятие упругих напряжений и активное сцепление частиц;

третий этап: нагрев до температуры спекания в защитной или нейтральной среде – восстановление оксидных пленок и окончательное сцепление частиц.

Спекание осуществляют в водородных или вакуумных печах непрерывного действия, в которых для загрузки и выгрузки кассет с деталями применяют шлюзовые устройства.

Калибрование

После прессования и спекания детали имеют 11–13 квалитет точности размеров. Калиброванием при давлении до 10 000 кгс/см² можно повысить точность до 8–10 квалитета. Размеры калибровочных форм отличаются от номинальных размеров детали на величину упругого последствия, составляющую 0,11–0,12 %.

Механическая обработка и нанесение гальванопокрытий

После калибрования изделия можно обрабатывать резанием (например, для получения боковых впадин, отверстий, резьбы) и цементировать, кроме того, на них можно наносить гальванопокрытия.

Практическая часть

Порядок выполнения работы

Определение пористости деталей

В табл. 7.1 представлены исходные данные.

Таблица 7.1

Данные для расчетов

Давление прессования, кгс/см ²	80	100	120
Высота деталей, мм	4.2	4	3.8
Диаметр деталей, мм	8		
Масса детали, г	1		

1. Определить пористость трех деталей по формуле

$$P_{\text{дет}} = 100\left(1 - \frac{G_{\text{дет}}}{\rho V_{\text{дет}}}\right),$$

где $V_{\text{дет}}$ – объем готовой детали, м^3 ;

$G_{\text{дет}}$ – величина (масса) навески шихты, кг;

ρ – плотность материала порошка ($7,82 \text{ г/см}^3$).

2. Построить зависимость $P_{\text{дет}} = f(p)$ пористости детали (%) от давления прессования (кгс/см^2).

Определение текучести порошка

Текучесть порошка определяется скоростью его истечения через выходное отверстие носика 2 воронки 1 диаметром 2,5 мм (рис. 7.8).

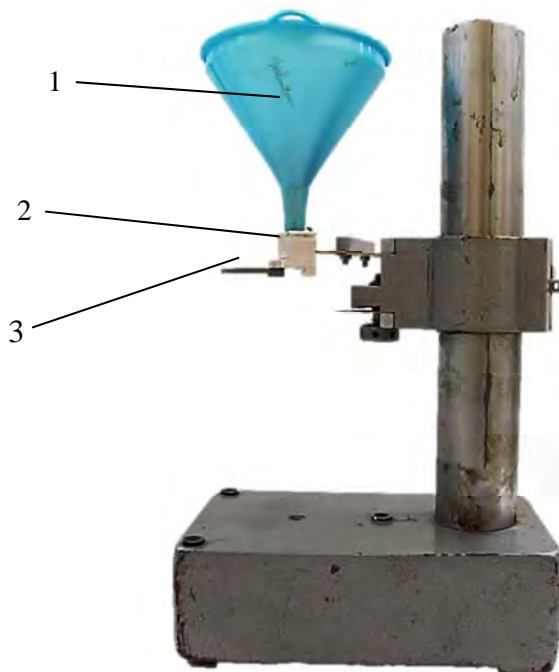


Рис. 7.8. Стойка с устройством определения текучести порошка

1. Взвесить с помощью весов 50 грамм порошка.
2. Высыпать порошок в воронку с углом конуса 60° и носиком, срезанным под прямым углом на расстоянии 3 мм от конуса воронки. Перед засыпкой порошка выходное отверстие воронки закрыть заглушкой 3.
3. После наполнения воронки порошком открыть заглушку и одновременно включить секундомер.

Определение угла естественного откоса порошка

1. Взвесить с помощью весов 100–150 грамм порошка.
2. Высыпать порошок в воронку.
3. Открыть заглушку и после истечения порошка (рис. 7.9, а) сделать фотографию (рис. 7.9, б).

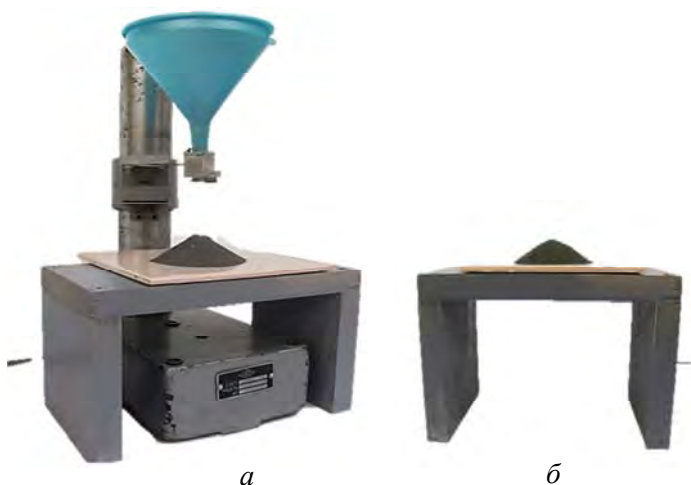


Рис. 7.9. Стойка с устройством определения естественного угла откоса свободно насыпаемого порошка

4. С помощью транспортера определить угол естественного откоса.
5. Зная угол естественного откоса порошка определить по табл. 7.2 степень сыпучести порошка.

Степень сыпучести порошков и соответствующий угол
естественного откоса

Степень сыпучести	Угол естественного откоса, градус
Очень хорошая	25–30
Хорошая	31–35
Удовлетворительная	36–45
Неудовлетворительная	46–55
Плохая	56–65
Очень плохая	Более 66

Содержание отчета

1. Задание.
2. Цель работы.
3. Схема прессования.
4. Определение пористости деталей.
5. График зависимости пористости полученных заготовок от давления прессования.
6. Результаты экспериментального определения угла естественного откоса исследуемых порошков.
7. Результаты экспериментального определения текучести исследуемых порошков.
8. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Методы получения порошков.
2. Химические свойства порошков.
3. Технологические свойства порошков.
4. Физические свойства порошков.
5. Что такое угол естественного откоса?
6. Что такое текучесть порошка?
7. Назвать операции техпроцесса изготовления деталей методом порошковой металлургии.

8. Кратко пояснить операции техпроцесса изготовления деталей методом порошковой металлургии.

Список использованной литературы

1. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. – Москва: Машиностроение, 1997.
2. Справочник технолога-приборостроителя / под ред. П. В. Сыроватченко. – Москва: Машиностроение, 1980.
3. Технология материалов в приборостроении / под ред. А. Н. Малова. – Москва: Машиностроение, 1969. – С. 132–139.

Лабораторная работа № 8

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ, ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ И УЛЬТРАЗВУКОВАЯ РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

Цель работы

1. Изучить механизмы разрушения материалов в процессе их электрохимической, электроэрозионной и ультразвуковой размерной обработки.
2. Получить практические навыки выполнения операции прошивки отверстий с помощью изучаемых электрофизических и электрохимических методов обработки материалов.

Теоретическая часть 1

Краткие сведения об электрофизических и электрохимических способах обработки материалов

Современные машиностроение и приборостроение характеризуются постоянно расширяющимся применением конструкционных материалов со специальными физико-механическими свойствами. Их обработка традиционными способами резания крайне затруднена, а в ряде случаев и невозможна. К группе таких труднообрабатываемых

ваемых материалов относятся жаропрочные, титановые, твердые и магнитные сплавы, нержавеющей стали, различные виды керамики, полупроводниковые материалы, твердые и сверхтвердые природные и искусственные кристаллы и т. п. В этой связи актуальной является задача создания и развития новых способов формообразования поверхностей деталей, изготовленных из таких материалов.

Как показывает многолетний мировой опыт, эффективным направлением решения указанной задачи является использование электрофизических и электрохимических способов размерной обработки, которые за последние годы получили дальнейшее развитие и широкое промышленное применение. К ним относятся электроэрозионный, электрохимический и ультразвуковой способы обработки, в которых применяется профилированный или непрофилированный инструмент, а также способы, основанные на использовании концентрированных источников энергии: электронно-лучевая, лазерная и плазменная обработка. Следует подчеркнуть, что они влияют не только на структуру и длительность технологического цикла, но и на конструкцию новых машин и приборов, расширяя арсенал как технолога, так и конструктора при разработке и производстве современных изделий.

В данной лабораторной работе изложены основные сведения об электрохимической, электроэрозионной и ультразвуковой обработке материалов.

Размерная электрохимическая обработка металлов

Основные сведения об электрохимической обработке

Удаление металла при размерной электрохимической обработке (ЭХО) происходит под действием электрического тока в среде электролита без непосредственного контакта между инструментом и заготовкой. В основе процесса ЭХО лежит явление анодного растворения металлов. Оно может протекать в электролитах различного состава, в том числе в неагрессивных электролитах: водных растворах хлорида натрия, нитрата натрия и др. Эти соли дешевы и безвредны для обслуживающего персонала.

Под действием тока в электролите материал анода растворяется и в виде продуктов обработки выносятся из промежутка потоком

электролита. В результате реакций образуются газообразные продукты, которые удаляются в атмосферу. Катод, который служит инструментом, не изнашивается, что является одной из положительных особенностей процесса ЭХО.

Протекание процесса ЭХО становится возможным, если приложить внешнее напряжение, превышающее разность $\varphi_a - \varphi_k$, где φ_a – скачок потенциала на аноде, а φ_k – скачок потенциала на катоде.

Если на электроде протекает только один электрохимический процесс, например растворение металла, то он описывается законом Фарадея. Согласно первому закону Фарадея

$$m = \varepsilon Q, \quad (8.1)$$

где m – масса материала, растворенного с анода;

Q – количество электричества, пропущенное через электролит;

ε – коэффициент пропорциональности.

При постоянном токе

$$Q = It,$$

где I – сила тока;

t – время его прохождения.

Тогда зависимость (8.1) можно записать в виде

$$m = \varepsilon It.$$

Коэффициент ε называется электрохимическим эквивалентом:

$$\varepsilon = An / FP,$$

где A – атомная масса;

n – валентность;

$F = 96\,500$ – число Фарадея. Здесь ε выражается в килограммах на ампер-секунду.

Ниже в табл. 8.1 приведены расчетные значения электрохимических эквивалентов некоторых сплавов.

Таблица 8.1

Значение электрохимического эквивалента
для различных материалов

Материал	ϵ_c , мг/Ас
Сталь 45	0,223
Сталь 12Х18Н9Т	0,165
Жаропрочные сплавы	0,26–0,29
Титановые сплавы	0,158–0,162
Алюминиевые сплавы	0,092–0,093

В действительности каждый компонент сплава имеет свой электрохимический эквивалент, то есть свою скорость анодного растворения. За счет этого в процессе обработки возникают углубления и выступы, формирующие макропрофиль и шероховатость поверхности.

Пассивация обрабатываемой поверхности

На рис. 8.1 схематически показана зависимость силы тока от напряжения при постоянной площади обрабатываемой поверхности. На участке АБ с возрастанием напряжения ток увеличивается. Это так называемая активная область. Участок АБ характеризует анодное растворение элементов сплава заготовки с низкой валентностью. Сила тока здесь незначительна, и высокой скорости обработки заготовки достичь не удастся. Поэтому в процессе ЭХО область активного растворения практически не используют. На участке БВ возрастание напряжения вызывает снижение силы тока. Наступает *пассивация* обрабатываемой поверхности, то есть образование на ней оксидной пленки. С увеличением напряжения растет толщина пленки, обладающей большим сопротивлением. При дальнейшем увеличении напряжения сила тока сначала остается неизменной (участок ВГ), а затем вновь начинает расти (участок ГД). Этот участок называют перепассивной областью. Рост силы тока объясняется химическими превращениями в пленке и ее разрушением при повышенных напряжениях. В перепассивной области

атомы металла переходят в ионы высшей валентности. Здесь можно получить большую силу тока, а значит и большую скорость растворения заготовки. Этот участок, как правило, и используют для ЭХО. После точки Д может начаться новый спад силы тока, то есть снова возникает пассивация. При дальнейшем увеличении напряжения возможны электрические пробой межэлектродного промежутка.

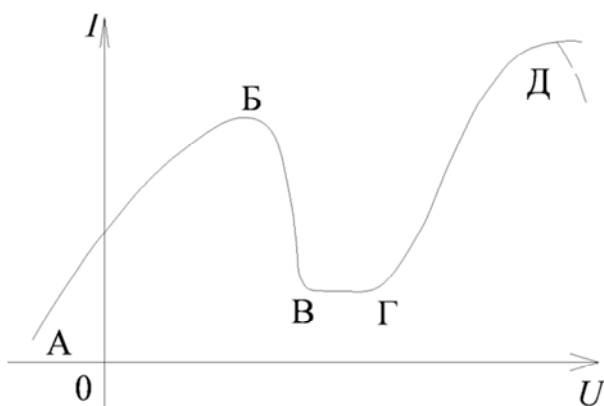


Рис. 8.1. Характер зависимости силы тока от напряжения при достаточной площади обрабатываемой поверхности

Для устранения пассивации поверхности применяют колебания электродов с ультразвуковой частотой. При воздействии ультразвука прочность пленки снижается, ее легче удалять с поверхности. Ультразвуковые колебания можно подавать на инструмент, деталь или на жидкость в межэлектродном промежутке. Можно механически удалять пленку различными скребками, абразивным инструментом. При этом ускоряется растворение металла с участков, с которых снята пленка, можно добиться избирательного удаления припуска с заготовки, то есть повысить точность формообразования.

Основные схемы электрохимической обработки металлов

Обработка с неподвижными электродами. По этой схеме (рис. 8.2) получают местные облегчения в деталях, отверстия в листовых

материалах, наносят информацию, удаляют заусенцы, скругляют кромки. Требуемая форма углубления или отверстия получается за счет нанесения на электроды слоя диэлектрик.

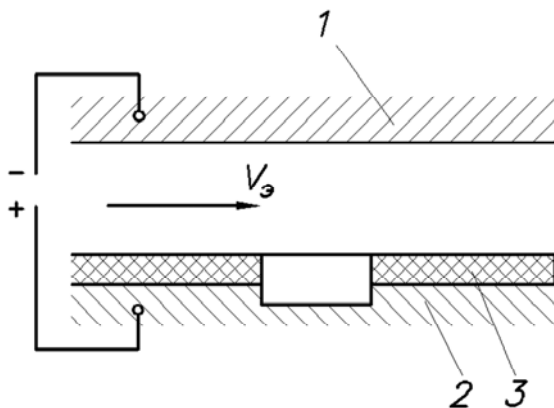


Рис. 8.2. Схема анодного растворения с неподвижными электродами

Электрод-инструмент *1* не перемещается к обрабатываемой поверхности – межэлектродный зазор по мере съема металла с заготовки *2* возрастает, а скорость $V_{и}$ прокачки электролита снижается. Процесс будет неустановившимся с нестационарным по времени режимом обработки. Это резко усложняет расчеты технологических параметров, регулирование и управление процессом.

Прошивка углублений, полостей, отверстий (рис. 8.3). При такой схеме электрод-инструмент *1* имеет одно рабочее движение – поступательное перемещение со скоростью $V_{и}$ к детали. Система регулирования зазора поддерживает постоянным межэлектродный зазор s (то есть имеет место стационарный режим). Через межэлектродный промежуток прокачивают электролит со скоростью $V_{э}$. В заготовке иногда предусматривают технологические отверстия для подвода и отвода электролита и продуктов обработки. По этой схеме изготавливают рабочие полости ковочных штампов, пресс-форм, прошивают отверстия, пазы, перья лопаток турбин, вырезают заготовки различного профиля.

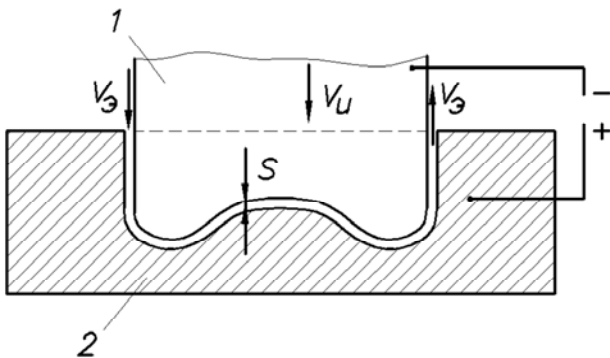


Рис. 8.3. Схема обработки при постоянной скорости подачи инструмента

Точение наружных и внутренних поверхностей (рис. 8.4). При такой схеме электрод-инструмент 1 выполняет роль резца, но в отличие от обработки на токарных станках он не имеет механического контакта с заготовкой 2, а находится от нее на расстоянии s . Электрод-инструмент может двигаться как поперек заготовки со скоростью v_u (см. рис. 8.4, а), так и вдоль нее со скоростью v_u' (см. рис. 8.4, б). Межэлектродный зазор s может поддерживаться диэлектрическими прокладками 3.

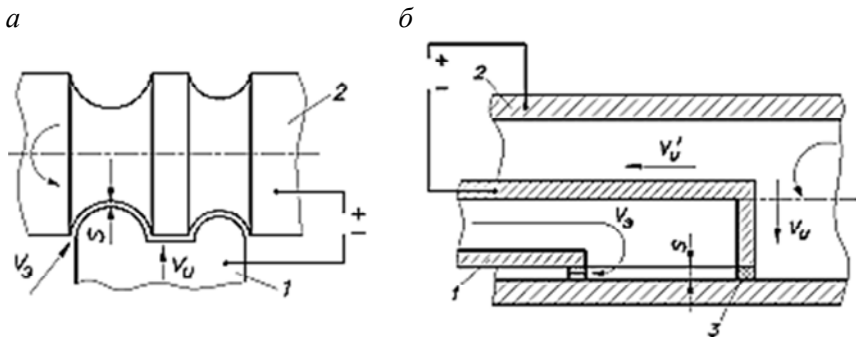


Рис. 8.4. Схема точения наружных и внутренних поверхностей

Протягивание наружных и внутренних поверхностей (рис. 8.5) в заготовках, имеющих предварительно обработанные поверхности, по которым можно базировать электрод-инструмент 1. Его устанавли-

вают относительно заготовки 2 с помощью диэлектрических элементов 3. Электрохимическое протягивание осуществляют при продольном перемещении (иногда с вращением) инструмента со скоростью $V_{и}$. По такой схеме выполняют чистовую обработку цилиндрических отверстий, нарезание резьбы, шлицев, винтовых канавок.

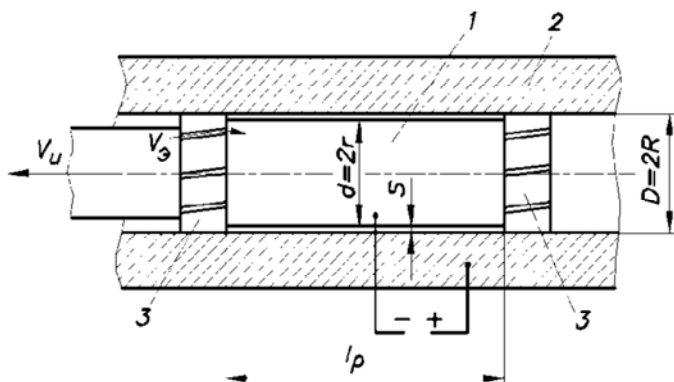


Рис. 8.5. Схема протягивания наружных и внутренних поверхностей

Разрезание заготовок. Инструментом может быть вращающийся диск (рис. 8.6, а) или проволока 1 (рис. 8.6, б). Инструменты подают к заготовке 2 со скоростью $V_{и}$. При этом необходимо сохранять постоянным зазор s . По этой схеме выполняют пазы, щели, подрезку нежестких деталей, например пружин.

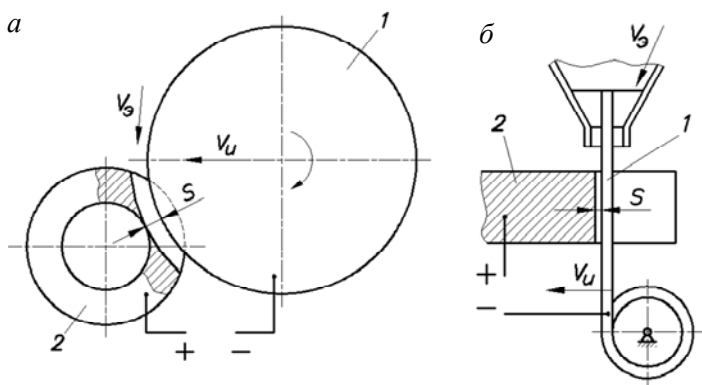


Рис. 8.6. Схема разрезания заготовок

При шлифовании (рис. 8.7) используют вращающийся металлический инструмент 1 цилиндрической формы, который поступательно движется вдоль заготовки 2 со скоростью $V_{\text{и}}$. Электрохимическое шлифование используют в качестве окончательной операции при изготовлении пакетов пластин из магнитомягких материалов, когда при обработке недопустимы механические усилия, а также для изготовления деталей из вязких и прочных сплавов.

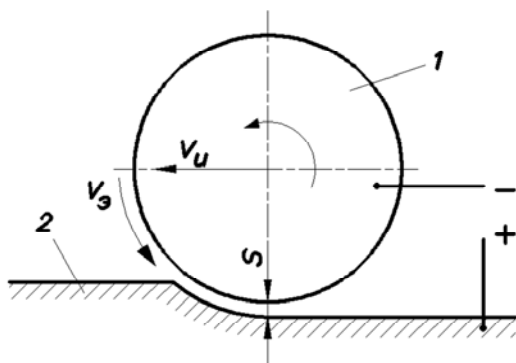


Рис. 8.7. Схема шлифования поверхностей

Лабораторная установка для прошивания отверстий электрохимическим методом

Для проведения опытов по электрохимической обработке металлов используется экспериментальная установка, фотография общего вида которой приведена на рис. 8.8. Установка содержит: источник постоянного тока 1; блок контрольных приборов 2 с амперметром 3 и тумблером включения установки 4; счетчик продолжительности обработки 5; ванночку 6 для сбора электролита в процессе обработки; стойку 7 с установленными анодом 8 и катодом 9; систему регулирования межэлектродного зазора 10; систему подачи электролита в зону обработки 11 с регулятором расхода 12.

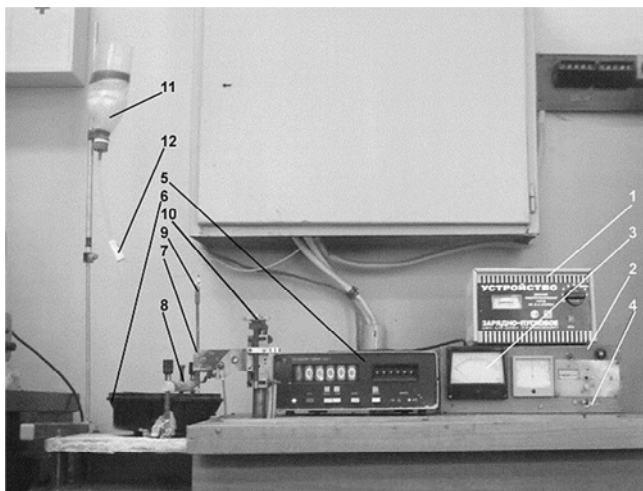


Рис. 8.8. Лабораторная установка для прошивания отверстий электрохимическим методом

Практическая часть 1

Порядок выполнения работы

1. Получить металлический образец (рис. 8.9), предназначенный для обработки. Для увеличения электропроводности образца очистить его поверхность от окалины и механических загрязнений с помощью наждачной бумаги.

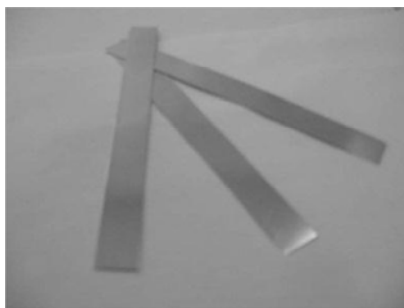


Рис. 8.9. Фотография образцов, предназначенных для обработки

2. С помощью штангенциркуля измерить толщину образцов, и полученные данные занести в соответствующую графу (h_3) табл. 8.2.

Таблица 8.2

Результаты измерений и вычислений
при электрохимической обработке отверстий

Толщина заготовки h_3 , мм	Диаметр отверстия в заготовке d_3 , мм	Продолжительность обработки $t_{обр}$, с	Сила тока I , А	Плотность ма- териала ρ , г / см ³	Значение электрохимического эквивалента ϵ , мг/Ас	
					Расчетное	Справочное

3. Подготовить раствор электролита путем растворения в водопроводной воде объемом около 400 миллилитров поваренной соли в количестве 50 грамм.

4. В ванне установки для электрохимического прошивания отверстий поместить образец, как показано на рис. 8.10. Для этого поместить образец 1 между упором 2 и планкой 3, на которую подается положительное напряжение через контакты 4, и прижать заготовку с помощью фиксирующего болта 5. Заполнить приготовленным раствором систему подачи 11 электролита в зону обработки.

5. Катод (отрицательный электрический контакт) 9 в виде медной трубки ввести в соприкосновение с деталью, затем отвести его от заготовки с помощью системы регулирования зазора 10) на расстояние равное 0,5 мм.

6. Обеспечить подачу электролита в зону обработки. Для этого сместить колесико регулятора расхода 12, увеличив внутреннее сечение подающей трубки. Подать напряжение на электроды установки, путем включения тумблера 4, включающего источник питания 1 и счетчик времени 5, фиксирующий начало обработки. При этом занести в соответствующую графу табл. 8.3 значение силы тока I , сняв показания с амперметра 3.

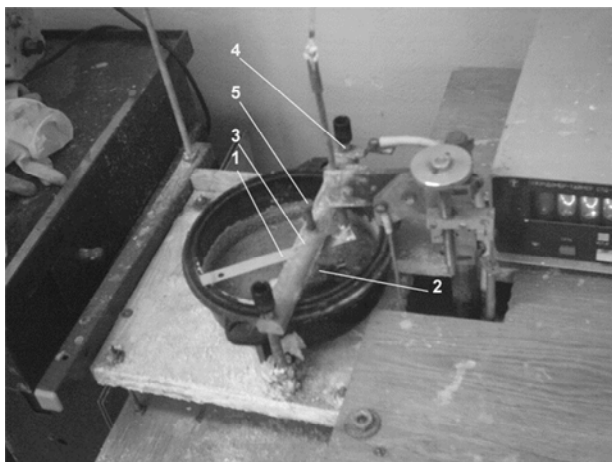


Рис. 8.10. Фотография установленной на экспериментальной установке заготовки

Таблица 8.3

Значение плотности для различных материалов

Материал	Плотность ρ , кг/м ³
Сталь 45	7800
Бронза	8150
Латунь	8400
Титановые сплавы	4500
Алюминиевые сплавы	2700

7. Производить обработку, контролируя показания амперметра 3 до момента начала уменьшения силы тока до значения, равного 10–20 % от первоначального, что соответствует прошиванию отверстия в образце, зафиксировав при этом по счетчику 5 продолжительность обработки. Значение продолжительности занести в графу ($t_{обр}$) табл. 8.2.

8. Выключить экспериментальную установку тумблером 4. Повернув сместить колесико регулятора расхода 12, уменьшить внутреннее сечение подающей трубки и остановить подачу электролита

в зону обработки. Извлечь деталь из установки, ослабив фиксирующий винт 5. На образце должно наблюдаться отверстие, аналогичное отверстию, приведенному на рис. 8.11.



Рис. 8.11. Фотография образца с полученным путем электрохимической обработки отверстием

9. Оставшийся в системе 11 подачи электролита раствор, а также раствор из приемной ванны 6 установки слить в емкость. Установку привести в исходное состояние.

10. С помощью штангенциркуля определить диаметр полученного в образце отверстия и полученные данные занести в соответствующую графу (d_3) табл. 8.2.

11. Рассчитать значение электрохимического эквивалента по формуле $\varepsilon = \frac{\pi \rho h_3 d_3^2}{4It_{\text{обр}}}$, где ρ – плотность материала образца (см. табл. 8.3).

Сравнить рассчитанное значение электрохимического эквивалента со справочным.

Теоретическая часть 2

Основные сведения об электроэрозионной обработке металлов

Общее описание процесса и стадий его протекания

Электроэрозионные методы обработки основаны на использовании явления электрической эрозии – направленного разрушения

электропроводящих материалов в результате кратковременного теплового действия импульсных электрических разрядов между инструментом и заготовкой в жидкой диэлектрической среде.

Проанализируем основные стадии протекания электроэрозионного процесса снятия припуска.

По мере сближения электрода-инструмента с заготовкой напряженность E электрического поля возрастает обратно пропорционально расстоянию между электродами:

$$E = \frac{U}{S},$$

где U – разность потенциалов электрода-инструмента и заготовки;
 S – зазор между электродами.

При этом наибольшая напряженность E возникает на участке, где межэлектродный зазор минимален. Причем расположение этого участка зависит от местных выступов и неровностей на инструменте и заготовке, а также от наличия и размеров электропроводных частиц (продуктов разрушения), находящихся в межэлектродном промежутке.

Если электроды сблизить до расстояния нескольких десятков микрометров, то в отдельных местах напряженность электрического поля может достигнуть значения, при котором в месте минимального зазора возникнет электрический разряд и через промежуток протекает электрический ток, то есть имеет место направленное движение электронов. В электрическом поле, возникшем в межэлектродном пространстве, в направлении, обратном движению электронов, происходит перемещение более тяжелых частиц – ионов. Электроны, имеющие меньшую массу, быстро достигают положительно заряженной поверхности заготовки и нагревают металл, вызывая его плавление и испарение в месте прохождения тока. В результате такого воздействия на поверхности заготовки образуется углубление в форме сферической лунки. Вылетевшие из лунки частицы металла охлаждаются окружающей жидкостью, находящейся в зазоре, и застывают в виде миниатюрных шариков. В результате воздействия серии разрядов поверхность приобретает кратерообразную поверхность с явно выраженными углублениями в виде множества

перекрывающих друг друга лунок. Эти лунки формируют топографию поверхности и характеризуют ее шероховатость.

Основные технологические схемы электроэрозионной обработки

На данный момент применяется несколько технологических схем электроэрозионной обработки.

Прошивание – удаление металла из полостей, углублений, отверстий, пазов с наружных поверхностей. На рис. 8.2 приведены схемы изготовления углубления (см. рис. 8.12, *а*) и фасонного стержня (см. рис. 8.12, *б*). Электрод-инструмент 1 поступательно перемещается к заготовке 2 со скоростью $V_{и}$. Оба электрода помещены в ванну 3, заполненную диэлектрической жидкостью 4. Продукты обработки 5 выбрасываются в межэлектродный промежуток и оседают на дно ванны. С помощью прошивания можно получать поверхности как с прямой, так и с криволинейной осью.

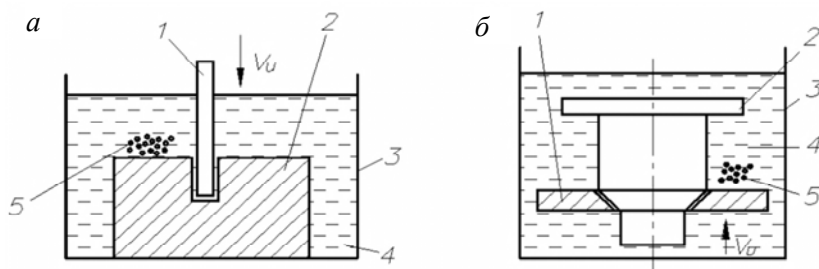


Рис. 8.12. Схема электроэрозионного прошивания:

а – прямое копирование; *б* – обратное копирование:

1 – электрод-инструмент; 2 – обрабатываемая заготовка; 3 – ванна;

4 – диэлектрическая жидкость; 5 – продукты обработки

Применяются два варианта прошивания:

– прямое копирование, когда электрод-инструмент находится над заготовкой (см. рис. 8.12, *а*);

– обратное копирование с расположением заготовки над электродом-инструментом (см. рис. 8.12, *б*). В этом случае движение подачи может осуществлять заготовка. Кроме того, при обратном копировании облегчается удаление продуктов обработки и за счет

сокращения числа боковых разрядов через частицы расплавленного металла в межэлектродном промежутке повысить точность обработки детали.

Электроэрозионное шлифование, схема которого приведена на рис. 8.13. Она аналогична схеме традиционного круглого наружного шлифования с той только разницей, что вместо шлифовального круга применяется металлический электрод-инструмент 1 в форме диска. Он совершает вращательное и поступательное движение к заготовке 2 со скоростью $V_{и}$. Диэлектрическая жидкость 3 подается в МЭП поливом из насадки 4. При обработке заготовок небольших размеров процесс может осуществляться в ванне, заполненной рабочей жидкостью. Как и традиционное шлифование, электроэрозионное может быть как встречным, так и попутным.

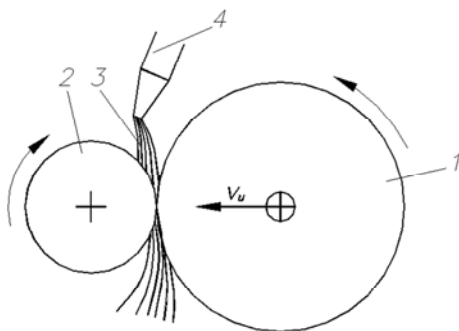


Рис. 8.13. Схема электроэрозионного шлифования:
1 – вращающийся электрод инструмент; 2 – обрабатываемая заготовка;
3 – диэлектрическая жидкость; 4 – насадка

Разрезание профильным и непрофилированным инструментом. Оно включает разделение заготовок на части – *отрезание* – и получение непрямолинейного контура – *вырезание*, которое выполняется только непрофилированным электродом-инструментом. При разрезании (рис. 8.14, а) профильный электрод-инструмент может быть выполнен в виде диска или пластины. Так вращающийся металлический диск-электрод 1 перемещается к заготовке 2 со скоростью $V_{и}$ и в плоскости вращения вдоль детали. Обработка осуществляется в ванне 3, заполненной диэлектрической жидкостью 4. Если раз-

резание выполняется пластиной с одним поступательным перемещением ее к заготовке, то это будет прошивание.

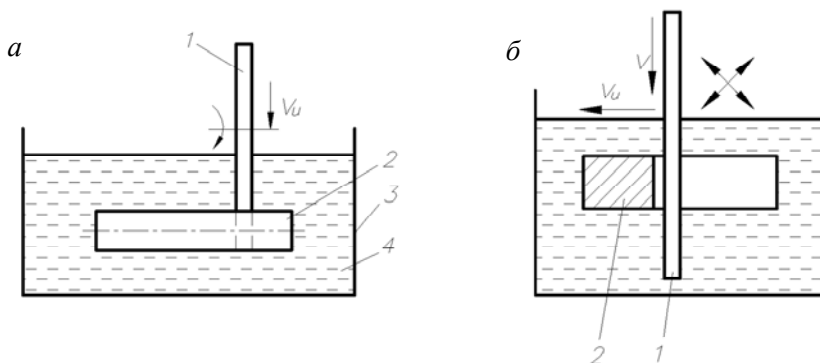


Рис. 8.14. Схема электроэрозионного резания:
а – отрезание; б – вырезание непрофилированным инструментом:
1 – электрод-инструмент; 2 – обрабатываемая заготовка; 3 – ванна;
4 – диэлектрическая жидкость

В случае применения непрофилированного электрода (рис. 8.14, б) инструмент 1 выполняют в форме круглой проволоки диаметром 0,02–0,3 мм или тонкого стержня, которые могут перемещаться в различных направлениях со скоростью $V_{\text{и}}$ в любой части заготовки 2. Для устранения влияния износа электрода инструмента на точность прорезаемых пазов проволоку постоянно перематывают вдоль ее оси со скоростью V . Разрезание осуществляют в ванне с диэлектрической жидкостью.

Основные сведения об операциях электроэрозионной обработки отверстий

Операции электроэрозионной обработки применяются:

– для удаления из деталей обломков метчиков, сверл и других инструментов. Такие процессы выполняют при режимах наибольшей производительности без предъявления требований к качеству и точности обработанных отверстий;

– для прошивания отверстий диаметром $d = 1$ мм и глубиной до $12d$;

– для прошивания отверстий диаметром $d = 1$ мм и глубиной более $12d$. Эти операции выполняют с применением направляющих втулок и прокачки рабочей жидкости;

– для прошивания отверстий малого диаметра ($d < 1$ мм). В этом случае необходимо применять кондуктор и желательна прокачка рабочей жидкости;

– для прошивания некруглых отверстий, пазов. Здесь основное внимание следует уделить изготовлению электрода-инструмента, который может иметь сложную форму и высокую точность размеров сечений;

– для прошивания отверстий и пазов с криволинейной осью. В этом случае расчет подачи электрода-инструмента выполняется с учетом его перемещения по заданной траектории, к примеру, по окружности.

При этом все виды деталей могут обрабатываться в одно- и многоместных приспособлениях одним или несколькими электродами-инструментами.

Практическая часть 2

Порядок выполнения работы

1. Поднять инструмент вручную и установить обрабатываемую заготовку в зажимы ванночки (рис. 8.15).

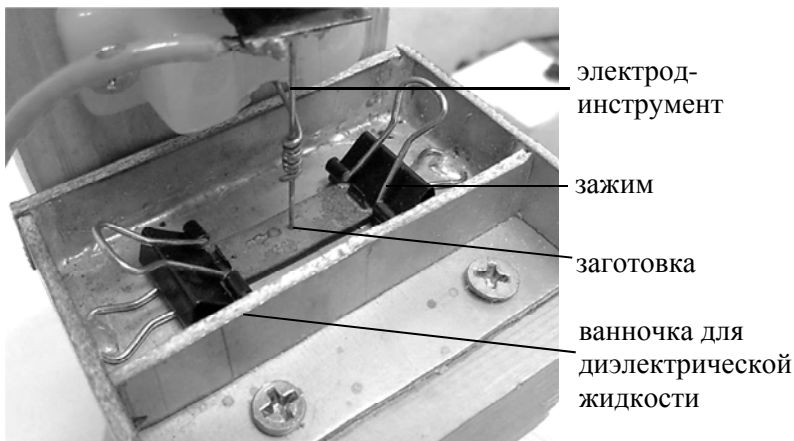


Рис. 8.15. Установка заготовки

2. Подключить инструмент и заготовку к выходным клеммам блока питания (рис. 8.16), соблюдая полярность.



Рис. 8.16. Передняя панель блока питания

3. Переключателем задания выходного напряжения SA2-1 (0В, 18В, 28В, 36В, 48В) на боковой панели блока питания установить в положение 0В на выходе устройства (рис. 8.17).



Рис. 8.17. Задание напряжения и подключение дополнительной емкости

4. Переключателем «Дополнительная емкость» на боковой панели блока питания подключить дополнительный разрядный конденсатор (см. рис. 8.17).

5. Подключить стенд к питающей сети.

6. Ручками потенциометров «Скважность импульсов» и «Частота импульсов» на передней панели блока питания установить режим работы электромагнита таким, чтобы инструмент касался заготовки (см. рис. 8.16).

7. Используя шприц налить в ванночку дистиллированную воду так, чтобы уровень воды был выше уровня заготовки.

8. Переключателем задания выходного напряжения SA2-1 (0В, 18В, 28В, 36В, 48В) на боковой панели блока питания установить требуемое напряжение для процесса обработки заготовки и начать отсчет времени по секундомеру.

9. При появлении отверстия в заготовке остановить секундомер и переключателем задания выходного напряжения SA2-1 (0В, 18В, 28В, 36В, 48В) на боковой панели блока питания установить напряжение 0В на выходе блока питания.

10. Отключить стенд от питающей сети.

11. С помощью шприца откачать воду из ванночки.

12. Поднять рабочий электрод вручную и извлечь обработанную заготовку из зажимов ванночки.

Теоретическая часть 3

Основные сведения об ультразвуковой размерной обработке хрупких материалов

Ультразвуковая размерная обработка является эффективным способом формообразования поверхностей, особенно сложной формы, на деталях из твердых хрупких материалов, обработка которых другими методами затруднена. Широкое применение стекла, кварца, керамики, ситаллов, рубина, германия, кремния в электронной и приборостроительной промышленности, а также в различных отраслях машиностроения инициировало быстрое развитие ультразвуковой размерной обработки, создание и внедрение в производство ультразвуковых станков, разработку физических и технологических основ этого метода.

Физическая сущность процесса

Схема метода ультразвуковой размерной обработки приведена на рис. 8.18. Инструменту, который является частью акустической колебательной системы, сообщаются ультразвуковые колебания с частотой 18–44 кГц и амплитудой 10–60 мкм. Как правило, используются продольные колебания, но можно применять поперечные и крутильные. В состав колебательной системы входит магнитоstrictionный или пьезокерамический преобразователь и стержневой концентратор с коэффициентом усиления по амплитуде 5–20.

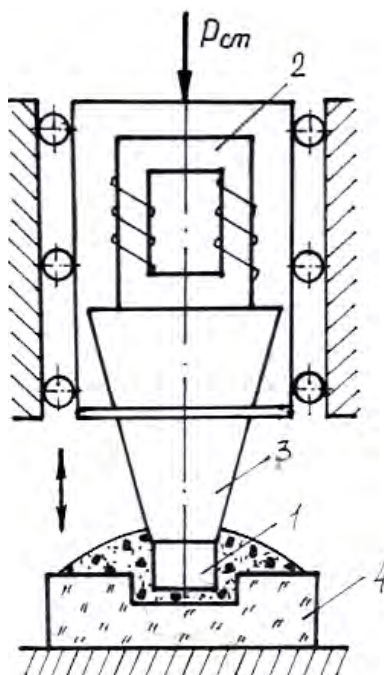


Рис. 8.18. Схема ультразвуковой размерной обработки:
1 – инструмент; 2 – ультразвуковой преобразователь; 3 – концентратор;
4 – обрабатываемая заготовка

В рабочую зону, то есть в пространство между колеблющимся торцом инструмента и заготовкой, подается суспензия, состоящая из взвешенных в воде зерен абразива. Инструмент ударяет по зернам

абразива и выкалывает частички материала обрабатываемой заготовки. Размер этих частиц небольшой, однако количество ударов велико, и при определенных условиях процесс протекает достаточно эффективно.

В основе ультразвуковой размерной обработки лежат два процесса:

- ударное внедрение абразивных зерен, приводящее к выкалыванию частиц обрабатываемого материала;
- циркуляция суспензии в рабочей зоне, за счет которой осуществляется вынос выколотых частиц и доставка свежих абразивных зерен.

Для обеспечения высокой производительности необходимо интенсивное протекание обоих процессов.

Технологические возможности ультразвуковой размерной обработки

Ультразвуковая размерная обработка абразивной суспензии имеет ряд преимуществ перед обычными процессами резания:

- процесс высокопроизводителен при обработке твердых хрупких материалов, не поддающихся обработке обычными способами;
- появляется возможность копирования сложной формы инструмента и фасонной обработки;
- снижается сила резания, так как ультразвуковая обработка осуществляется при небольших нагрузках на заготовку.

Наиболее широкое применение ультразвуковая размерная обработка получила при изготовлении деталей из стекла, кварца, флюорита, феррита и других металлокерамических материалов (германия и кремния). Она также применяется при изготовлении твердосплавных волоочильных фильер, пуансонов и матриц, обработки искусственных и естественных камней, ювелирных и технических алмазов.

Практическая часть 3

Порядок выполнения работы

1. Получить у инженера стеклянные образцы, предназначенные для обработки.

2. С помощью штангенциркуля измерить толщину образцов и полученные данные занести в соответствующую графу (h_3).

3. Приготовить абразивную суспензию, для чего:

- с помощью мерной ложки насыпать в емкость определенный объем абразивного порошка;

- с помощью той же ложки добавить в емкости воду в объеме равном пяти объемам абразивного порошка и тщательно перемешать полученную абразивную суспензию.

4. С помощью штангенциркуля измерить диаметр проволочного инструмента в его нижнем сечении и полученные данные занести в соответствующую графу ($d_{\text{инстр}}$) табл. 8.4.

Таблица 8.4

Результаты измерений и вычислений
при ультразвуковой обработке отверстий

Толщина заготовки h_3 , мм	Диаметр инструмента $d_{\text{ин}}$, мм	Продолжительность обработки T_0 , мин	Диаметр отверстия		Производительность обработки $V_{\text{и}}$, мм/мин	Величина зазора		Наличие и величина сколов	
			на входе $d_{\text{вх}}$, мм	на выходе $d_{\text{вых}}$, мм		на входе $\Delta_{3, \text{вх}}$, мм	на выходе $\Delta_{3, \text{вых}}$, мм	на входе	на выходе

5. Поместить на рабочий стол ультразвуковой установки пластмассовую ванночку, как показано на рис. 8.19, для сбора в процессе обработки абразивной суспензии.

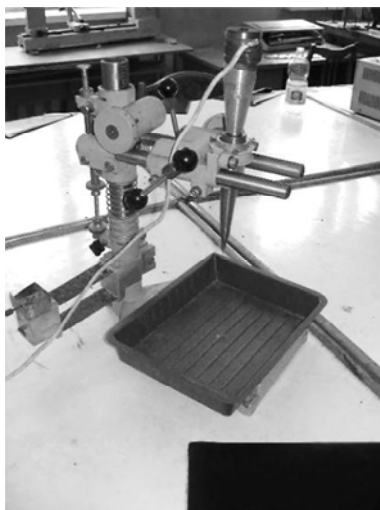


Рис. 8.19. Фотография экспериментальной установки и ванночки для сбора абразивной суспензии

6. Произвести опробование работы ультразвуковой установки для чего:

- включить тумблер «Сеть» на панели ультразвукового генератора в верхнее положение. При этом должна загореться сигнальная лампочка;

- нажав ногой на педальный переключатель, включить цепь питания ультразвукового преобразователя. При этом должен появиться характерный звук;

- взять мерной ложкой небольшое количество воды и аккуратно вылить ее сверху на колеблющийся проволочный инструмент. При этом должно наблюдаться ее интенсивное диспергирование, что свидетельствует о достаточной для обработки амплитуде ультразвуковых колебаний инструмента. С помощью педального выключателя отключить питание ультразвукового преобразователя.

7. Осуществить обработку отверстий в стеклянных образцах для чего выполнить следующее:

- на поверхность образца, с которой начинается обработка отверстия (поверхность входа инструмента) приклеить кусочек изолянта, то есть нанести метку, что необходимо для ее определения в ходе последующих измерений полученных результатов;

– для предохранения рук от загрязнения абразивной суспензией учащемуся, который будет проводить обработку, необходимо надеть матерчатые рабочие перчатки;

– взять образец и, удерживая его с двух сторон между большим и указательным пальцами рук, с небольшим усилием прижать его обрабатываемой поверхностью к торцу проволочного инструмента, как показано на рис. 8.20;

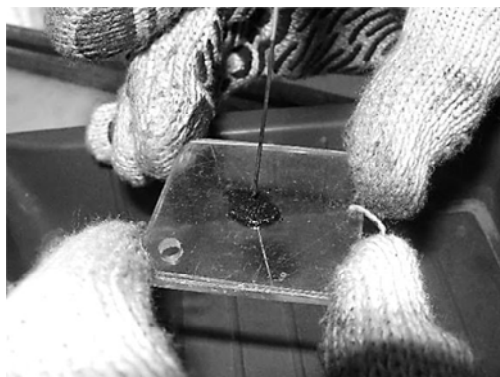


Рис. 8.20. Фотография процесса получения отверстия в стеклянной заготовке

– второму учащемуся, предварительно перемешав абразивную суспензию, с помощью мерной ложки нанести ее на обрабатываемую поверхность образца в зоне контакта с инструментом;

– учащемуся, который работает на ультразвуковой установке, включить цепь питания ультразвукового преобразователя с помощью педального переключателя и, удерживая его в этом положении, начать обработку отверстия и одновременно вести отсчет времени по секундомеру;

– в процессе обработки второй учащийся, постоянно перемешивая абразивную суспензию, с помощью мерной ложки периодически наносит ее на обрабатываемую поверхность образца в зоне ее контакта с инструментом;

– в момент окончания обработки, то есть получения в заготовке сквозного отверстия с выходом через него инструмента, снять показания времени с секундомера и занести значение продолжительности обработки (T_0) в соответствующую графу табл. 8.4. Не выключая

питание преобразователя, аккуратно перемещая заготовку вниз, освободить ее от инструмента, после чего выключить питание преобразователя и ультразвукового генератора.

8. Провести измерения геометрических параметров полученного отверстия для чего:

– обработанный образец промыть водой для удаления остатков абразивной суспензии и насухо протереть ветошью;

– поместить образец на измерительный стол микроскопа МИМ-5 и измерить в двух взаимно перпендикулярных направлениях диаметр отверстия, полученного на поверхности образца со стороны входа инструмента. Вычислить среднее его значение ($d_{\text{вх}}$) и занести в таблицу. Переустановить образец на противоположную сторону и измерить аналогичным образом диаметр на выходе инструмента ($d_{\text{вых}}$) и полученное значение также занести в табл. 8.4. При выполнении этих измерений обратить внимание на наличие и величину сколов, возникающих на кромках отверстия как со стороны входа, так и выхода инструмента. Эти данные занести в соответствующие графы таблицы.

9. Определить производительность операции ультразвуковой обработки отверстия в стекле по значению скорости перемещения инструмента $V_{\text{и}}$. Для этого величину толщины стеклянного образца разделить на полученное значение продолжительности обработки отверстия:

$$V_{\text{и}} = \frac{h}{T_0}, \text{ мм/мин.}$$

Вычисленное значение $V_{\text{и}}$ занести в табл. 8.4.

10. Оценить степень соответствия диаметра полученного отверстия диаметру проволочного инструмента. Для этого вычислить величину бокового зазора между инструментом и стенками полученного отверстия как на входе ($\Delta_{\text{з. вх}}$), так и на выходе ($\Delta_{\text{з. вых}}$) инструмента по следующим формулам:

$$\Delta_{\text{з. вх}} = \frac{d_{\text{вх}} - d_{\text{и}}}{2} \quad \text{и} \quad \Delta_{\text{з. вых}} = \frac{d_{\text{вых}} - d_{\text{и}}}{2}.$$

Вычисленные значения $\Delta_{\text{з. вх}}$ $\Delta_{\text{з. вых}}$ занести в табл. 8.4.

Список использованной литературы

1. Киселев, М. Г. Ультразвук в технологии машино- и приборостроения : учебное пособие / М. Г. Киселев, В. Т. Минченя, Г. А. Есьман. – Минск: Тесей, 2003. – 424 с.
2. Ультразвук / под ред. И. П. Голяминой. – Москва: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
3. Киселев, М. Г. Электроэрозионная обработка материалов : учебно-методическое пособие / М. Г. Киселев, Ю. Ф. Ляшук, В. Л. Габец. – Минск: Технопринт, 2003. – 112 с.
4. Киселев, М. Г. Размерная электрохимическая обработка материалов : учебно-методическое пособие / М. Г. Киселев, С. Н. Бондаренко, А. В. Дроздов. – Минск: БНТУ, 2005. – 164 с.
5. Попилов, Л. Я. Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки материалов. – Ленинград: Машиностроение, 1971. – 544 с.

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Лабораторный практикум
для студентов специальности
1-54 01 01 «Метрология, стандартизация
и сертификация»

Составители:

КИСЕЛЁВ Михаил Григорьевич
ГАБЕЦ Вячеслав Леонидович
ШИШУРИН Дмитрий Александрович

Редактор *Т. В. Грищенкова*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 28.08.2017. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 8,73. Тираж 50. Заказ 654.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.