

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
технический университет»

Ю.Э. Симонова М.Н. Краснова

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ТОЧНОСТИ»

Утверждено учебно-методическим советом университета  
в качестве учебного пособия

Воронеж 2018

УДК 621.7.06 (078.5)

ББК 34.59

С37

**Рецензенты:**

*кафедра технической механики Воронежского государственного  
университета инженерных технологий  
(зам. зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. В.Г. Егоров);  
д-р техн. наук, проф. Ю.С. Ткаченко*

**Симонова, Ю.Э.**

Лабораторный практикум по дисциплине «Методы обеспечения точности»: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. данные (824 Кб) / Ю.Э. Симонова,  
С37 М.Н. Краснова – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM): цв. – Систем. требования: ПК 500 и выше; 256 Мб ОЗУ; Windows XP; SVGA с разрешением 1024x768; Adobe Acrobat; CD-ROM дисковод; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-7731-0621-0

Учебное пособие содержит лабораторный практикум, направленный на изучение вопросов, связанных с точностью и качеством изделий машиностроительного производства при изучении дисциплины «Методы обеспечения точности»

Издание соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлениям 15.03.01 «Машиностроение» (направленность «Технологии, оборудование, автоматизация машиностроительных производств»), 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (направленность «Металлообрабатывающие станки и комплексы»), дисциплине «Методы обеспечения точности».

Табл. 21. Ил. 13. Библиогр.: 21 назв.

УДК 621.7.06 (078.5)

ББК 34.59

ISBN 978-5-7731-0621-0

© Симонова Ю.Э., Краснова М.Н.,  
2018

© ФГБОУ ВО «Воронежский  
государственный технический  
университет», 2018

## **ВВЕДЕНИЕ**

Любая машина может быть изготовлена с использованием различных методов и средств производства. Одни из них обеспечивают лучшую точность и взаимозаменяемость ее элементов, другие - большую надежность и долговечность, третьи - наименьшую себестоимость, более высокую производительность труда и т. д. Выбор оптимального варианта из многих возможных вариантов технологических процессов представляет собой непростую задачу. Проект изготовления любого изделия машиностроительного производства материализуется на предприятии путем реализации десятков и сотен тысяч частных технологических процессов изготовления отдельных элементов конструкции, их сборки, монтажа систем и проведения испытаний. От качества этих технологических процессов зависят трудоемкость изготовления и себестоимость изделия, численность рабочих и производительность их труда, состав и количество технологического оснащения, и другие технико-экономические показатели предприятия. В связи с этим к технологическим процессам предъявляют основное требование: при заданных конкретных условиях производства обеспечить изготовление изделия с заданными качественными показателями при минимальных затратах средств и труда.

## **1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### *1.1. Точность обработки*

#### *1.1.1. Факторы, определяющие точность обработки*

Сравнивая две детали - реальную и заданную чертежом, можно установить, что они различаются. Это различие определяется несовершенством изготовления реальной детали, а степень различия характеризует точность обработки.

В большинстве случаев конфигурация деталей определяется комбинацией геометрических тел, ограниченных поверхностями простейших форм: плоскими, цилиндрическими, коническими и т. д. Поэтому можно установить следующие основные признаки соответствия реальной детали заданной: 1) точность формы, т. е. степень соответствия отдельных участков (поверхностей) детали тем геометрическим телам, с которыми они отождествляются; 2) точность размеров участков (поверхностей) детали; 3) точность взаимного расположения тех же участков поверхностей; 4) степень шероховатости поверхности, т. е. степень соответствия реальной шероховатой поверхности детали геометрической поверхности.

Получение точных размеров на станках автоматически требует применения особых методов работы и соблюдения ряда условий: наличия приспособлений, сравнительно сложной предварительной настройки станков и др. Исполнение размеров зависит от расположения режущей кромки инструмента относительно направляющих станка.

Точность взаимного расположения поверхностей зависит не только от работы станка, но и от ориентации обрабатываемой заготовки относительно станка, т. е. от ее установки.

Шероховатость поверхности характеризуется размерной характеристикой микрогеометрических неровностей, возникающих под влиянием пластических деформаций и других факторов, сопутствующих процессу резания.

Отклонения значений параметров реальной детали от детали, заданной чертежом, характеризуют величину погрешности.

Отклонения от формы и взаимного расположения поверхностей подразделяются на:

1) отклонения от правильной цилиндрической формы в поперечном сечении - овальность и огранка, а в продольном - бочкообразность, седлообразность, изогнутость, конусообразность;

2) отклонения от плоской поверхности - непрямолинейность, неплоскостность, вогнутость, выпуклость;

3) отклонения от правильного взаимного расположения поверхностей - несоосность, радиальное биение, торцевое биение, непараллельность осей, неправильное расположение пересекающихся осей, непараллельность и неперпендикулярность плоскостей.

Точность геометрической формы и расположения поверхностей характеризуются предельными отклонениями, назначаемыми при наличии особых требований, возникающих из изготовления, измерения деталей и условий работы. В остальных случаях отклонения формы и расположения поверхностей должны находиться в пределах поля допуска соответствующего размера.

### *1.1.2. Факторы, влияющие на точность обработки*

На точность обработки существенно влияет ряд факторов, являющихся следствием движения режущей кромки инструмента по обрабатываемой поверхности, выполняемого в соответствии с кинематикой станка.

В результате некоторого несоответствия действительных движений заготовки и инструмента движениям, предусмотренным кинематической схемой станка, возникает погрешность обработки.

При использовании автоматических подач погрешность обработки не зависит от действий рабочего, а определяется свойствами станка, инструмента и обрабатываемых заготовок и характеризует тем самым *погрешность работы станка*.

Погрешность работы станка, не зависящая от нагрузки,

возникает вследствие неточности кинематической схемы станка и его отдельных узлов.

В состав погрешности обработки входит также погрешность, возникающая от неправильности взаимного расположения инструмента и заготовки в начале перехода, а также от неточности регулировки настройки

Погрешность обработки - это следствие ряда причин, основными в которых являются: неточность кинематической схемы станка; геометрическая неточность станка в ненагруженном состоянии; неточность режущего инструмента; износ режущего инструмента; деформация упругой системы станок - приспособление - инструмент - деталь; температурные деформации узлов станка, обрабатываемой заготовки и режущего инструмента; остаточные формации заготовки; неточность измерений в процессе обработки.

### *1.1.3. Методы исследования точности*

Изучение причин (факторов), вызывающих погрешности при обработке заготовок на металлорежущих станках, позволило установить связь между этими причинами и величинами погрешностей и таким образом управлять погрешностями, снижая или устраняя их совсем.

В результате совокупного действия всех факторов возникает так называемая результирующая погрешность, определяющая отступление от заданного размера. Эту результирующую погрешность надо знать заранее и не допускать, чтобы ее величина была больше допуска, установленного на заданный размер.

Погрешности в пределах данной совокупности размеров можно разделить на: систематические постоянные погрешности, т. е. погрешности, имеющие одинаковое значение для всей рассматриваемой совокупности, систематические переменные погрешности, закономерно изменяющиеся по ходу технологического процесса, и случайные погрешности (погрешности рассеивания), имеющие различные значения при

невыясненных причинах их появления.

Для определения результирующей погрешности необходимо суммировать все погрешности по величине и знаку.

В зависимости от характера погрешностей - систематических или случайных, порождающих рассеивание размеров, их суммируют различными способами.

Систематические постоянные погрешности суммируют алгебраически (с учетом их знаков), что в результате может привести как к увеличению, так и к уменьшению погрешностей или к их компенсации.

Систематические переменные погрешности (любого знака: «+» или «-») суммируют арифметически, причем при определении суммарной погрешности исходят из наименее выгодных условий.

К этому виду погрешности относятся: погрешности формы обрабатываемой заготовки, зависящие от жесткости системы СПИД, погрешности, связанные с износом инструмента, и погрешности настройки.

Технологический процесс может быть *устойчивым* или *неустойчивым*, *налаженным* или *разлаженным*, вследствие чего качество заготовок может получаться *однородным* или *неоднородным*.

При однородном качестве заготовки имеют незначительные колебания, в то время как неоднородное качество характеризуется большими колебаниями в размерах, форме или свойствах заготовок.

С помощью метода построения кривых распределения исследуют точность обработки законченного этапа технологического процесса. При этом не может быть учтена последовательность обработки заготовок, так как все заготовки данной партии как бы перемешиваются и систематические постоянные и переменные погрешности не отделяются от случайных и влияние, как тех, так и других выражается в общем виде как рассеивание размеров.

Статистический метод исследования точности обработки с построением точечных диаграмм свободен от этих недо-

статков и позволяет исследовать технологический процесс значительно глубже, чем метод кривых распределения; при этом оказывается возможным разделить влияние случайных и систематических погрешностей (как постоянных, так и закономерно изменяющихся).

Использование точечных диаграмм возможно не только для одной партии заготовок, но и для нескольких последовательно обрабатываемых партий, при этом партии разбиваются на группы по несколько штук последовательно обрабатываемых заготовок в каждой группе, и тогда по оси абсцисс откладываются не номера заготовок (проб), а номера групп, но при этом рассеивание средних значений групп (средних арифметических значений размеров заготовок, входящих в группу) будет меньше, чем рассеивание размеров отдельных заготовок.

#### *1.1.4. Методы обеспечения заданной точности*

Необходимая точность обработки может быть достигнута следующими методами.

Метод пробных рабочих ходов заключается в индивидуальной выверке устанавливаемой на станок заготовки, последовательном снятии стружки путем пробных рабочих ходов, измерении получаемых размеров. Скорректировав по результатам измерений положение режущего инструмента, производят окончательную обработку заданной поверхности. Метод пробных ходов трудоемкий, так как требует много времени на выверку заготовки и на корректировку положения режущего инструмента. Метод применяется в единичном и, реже, в мелкосерийном производстве.

Метод автоматического получения заданного размера заключается в том, что партию заготовок обрабатывают на предварительно настроенном станке с установкой заготовок в приспособлении без выверки их положения, а режущий инструмент при наладке станка устанавливают на определенный размер, называемый настроечным. Заданный размер получают за один рабочий ход, т. е. при однократной обработке. Этот



метод более производительен, чем метод пробных рабочих ходов, но требует специальных приспособлений и более стабильных по размерам исходных заготовок. Метод автоматического получения заданных размеров широко применяют в серийном и массовом производстве.

## *1.2. Качество поверхности*

### *1.2.1. Основные понятия и определения*

Эксплуатационные свойства деталей машин и долговечность их работы в значительной степени зависят от состояния их поверхности.

В отличие от теоретической поверхности деталей, изображаемых на чертеже, реальная поверхность всегда имеет неровности различной формы и высоты, образующиеся в процессе обработки.

Высота, форма, характер расположения и направление неровностей поверхностей обрабатываемых заготовок зависят от ряда причин: режима обработки, условий охлаждения и смазки режущего инструмента, химического состава и микроструктуры обрабатываемого материала, конструкции, геометрии и режущей способности инструмента, типа и состояния оборудования, вспомогательного инструмента и приспособлений.

Различают следующие отклонения от теоретической поверхности: макрогеометрические, волнистость и микрогеометрические.

Макрогеометрические отклонения - единичные, не повторяющиеся регулярно отклонения от теоретической формы поверхности, характеризующиеся большим отношением протяженности поверхности  $L$  к величине отклонения  $h$ , которое больше 1000.

Макрогеометрические отклонения характеризуют овальность, конусообразность и другие отклонения от правильной геометрической формы.

Волнистость поверхности представляет собой совокуп-

ность периодически чередующихся возвышений и впадин с отношением шага волны  $\frac{L}{h} = 50 \div 1000$ . Волнистость является следствием вибрации системы СПИД, а также неравномерности процесса резания.

Микрогеометрические отклонения, или микронеровности, образуются при обработке заготовок в результате воздействия режущей кромки инструмента на обрабатываемую поверхность, а также вследствие пластической деформации обрабатываемого материала в процессе резания. Микронеровности определяют шероховатость (негладкость) обработанной поверхности. Микрогеометрические отклонения характеризуются небольшим значением отношения шага микронеровностей  $S$  к их высоте  $h$ , которая должна быть менее 50.

### *1.2.2. Параметры оценки и измерение шероховатости поверхности*

Шероховатость поверхности - это совокупность неровностей с относительно малыми шагами (расстоянием между вершинами характерных неровностей измеренного профиля), образующих рельеф поверхности и рассматриваемых в пределах участка, длина которого выбирается в зависимости от характера поверхности и равна базовой длине. Для оценки шероховатости поверхности установлены следующие два параметра: среднее арифметическое отклонение профиля -  $R_a$  и высота неровностей -  $R_z$ .

Шероховатость поверхности следует измерять в направлении, которое дает наибольшее значение  $R_a$  или  $R_z$ , если заранее не указано какое-либо другое определенное направление измерения шероховатости.

Различные дефекты поверхности (царапины, раковины и т. п.) при измерении шероховатости не учитывают. Числовое значение шероховатости поверхности ограничивает только максимальную величину шероховатости.

Таблица 1

## Классификация шероховатости поверхности

Класс шерохов. поверхности	Ср. арифм.отклон. проф. $R_a$ , мкм	Высота неровностей $R_z$ , мкм	Базовая длина $l$ , мм
1	80	320	8
2	40	160	
3	20	80	
4	10	40	2,5
5	5	20	
6	2,5	10	0,8
7	1,25	6,3	
8	0,63	3,2	
9	0,32	1,6	0,25
10	0,16	0,8	
11	0,08	0,4	
12	0,04	0,2	
13	0,02	0,1	0,08
14	0,01	0,05	

Шероховатость поверхности оценивают двумя основными методами: качественным и количественным.

Качественный метод оценки основан на сравнении обработанной поверхности с эталоном (образцом) поверхности посредством визуального сопоставления, сопоставления ощущений при ошупывании рукой и под микроскопом сопоставления результатов наблюдений.

Качественную оценку тонко обработанных поверхностей следует производить при помощи микроскопа; можно пользоваться лупой с пятикратным и большим увеличением.

Количественный метод оценки основан на измерении микронеровностей поверхности с помощью приборов: профи-

лографа, двойного микроскопа и микроинтерферометра, профилометра и др.

### *1.2.3. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин*

Как указывалось выше, на эксплуатационные свойства деталей машин существенно влияет шероховатость обработанной поверхности, но не во всех случаях чисто обработанная поверхность является наиболее износоустойчивой, так как удержание смазки на поверхности деталей при различных условиях трения (в зависимости от нагрузки, скорости, материала сопрягаемых деталей и др.) зависит от микронеровностей поверхностей. Поэтому в зависимости от конкретных условий трения устанавливают оптимальную шероховатость поверхности.

На износоустойчивость поверхности влияют сопротивляемость поверхностного слоя разрушению и макрогеометрические отклонения, т. е. отклонения от геометрической формы, которые приводят к неравномерному износу отдельных участков.

Волнистость приводит к увеличению удельного давления, так как трущиеся поверхности соприкасаются с выступами волн; то же происходит и при микронеровностях поверхностей, причем выступы микронеровностей могут деформироваться - сминаться или даже срезаться при движении одной трущейся поверхности относительно другой.

Во многих случаях прочность деталей машин зависит также от шероховатости обработки. Установлено, что наличие рисок, глубоких и острых царапин создает очаги концентрации внутренних напряжений, которые в дальнейшем приводят к разрушению детали. Такими очагами могут являться также впадины между гребешками микронеровностей. Это не относится к деталям, изготовляемым из чугунов и цветных сплавов, в которых концентрация напряжений возможна в меньшей степени.

Прочность прессовых соединений также зависит от шероховатости и особенно от высоты микронеровностей; при запрессовке одной детали в другую фактическая величина натяга зависит от шероховатости поверхности и отличается от величины натяга при запрессовке деталей с гладкими поверхностями для тех же диаметров.

От шероховатости поверхности зависит также устойчивость поверхности против коррозии. Чем меньше площадь соприкосновения с коррелирующей средой, тем меньше влияние среды, выше чистота поверхности. Чем глубже впадины микронеровностей и чем резче они очерчены, тем больше разрушающее действие коррозии, направленное в глубь металла.

#### *1.2.4. Нормирование шероховатости на типовые поверхности деталей машин*

Долговечность и надежность машин, и их экономичность предопределяются правильным выбором качественно-точных характеристик.

В зависимости от условий эксплуатации следует назначать оптимальную для данной рабочей поверхности шероховатость. В табл. 2 приведены рекомендуемые значения шероховатости для наиболее распространенных типовых поверхностей.

Практикой и исследованиями определены взаимосвязи между видами обработки и шероховатостью поверхности. Так, например, установлено, что средняя высота неровностей не должна превышать 10 -25 % от допуска на обработку. Это позволило установить оптимальную шероховатость поверхности для различных видов обработки.

Таблица 2

Требования по шероховатости к типовым поверхностям  
деталей машин

Типовые поверхности и детали	Параметры шероховатости, $R_a$ , мкм
1	2
Нерабочие контуры деталей	80 40
Отверстия на проход крепежных деталей Выточки, проточки Отверстия масляных каналов на силовых валах Разделка кромок под сварку	20
Внутренний диаметр шлицевых соединений (не шлифованных) Свободные несопрягаемые торцовые поверхности валов, муфт, втулок	10
Торцовые поверхности под подшипники качения Поверхности втулок, колец, ступиц, прилегающие к другим поверхностям, но не являющиеся посадочными	5
Шаровые поверхности ниппельных соединений Канавки под уплотненные резиновые кольца для подвижных и неподвижных торцовых соединений Радиусы скруглений на силовых валах Поверхности осей эксцентриков Опорные плоскости реек	2,5
Поверхности разъема герметичных соединений без прокладок или со шлифованными металлическими прокладками Наружные диаметры шлицевого соединения Отверстия прогоняемых и регулируемых соединений (вкладыши подшипников и др.) с допуском зазора - натяга 25 - 40 мкм Цилиндры, работающие с резиновыми манжетами Отверстия подшипников скольжения Трущиеся поверхности малонагруженных деталей	1,25

<p>Притираемые поверхности в геометрических соединениях</p> <p>Поверхности зеркала цилиндров, работающих с резиновыми манжетами</p> <p>Торцовые поверхности поршневых колец при диаметре менее 240 мм</p> <p>Валы в пригоняемых и регулируемых соединениях с допуском зазора - натяга 7 - 25 мкм</p> <p>Трущиеся поверхности нагруженных деталей. Посадочные поверхности 2-го класса точности с длительным сохранением заданной посадки: оси эксцентриков, точные червяки, зубчатые колеса</p> <p>Сопряженные поверхности бронзовых зубчатых колес</p> <p>Рабочие шейки распределительных валов</p> <p>Штоки и шейки валов в уплотнениях</p>	0,63
<p>Шейки валов:</p> <p>1-го класса точности диаметром свыше 1 до 30 мм, 2-го класса - свыше 1 до 10 мм</p> <p>Валы в пригоняемых и регулируемых соединениях (шейки шпинделей, золотники) с допуском зазора - натяга 16 - 25 мкм</p> <p>Отверстия пригоняемых и регулируемых соединений (вкладыши подшипников) с допуском зазора - натяга 4 - 7 мкм</p> <p>Трущиеся элементы сильнонагруженных деталей</p> <p>Цилиндры, работающие с поршневыми кольцами</p>	0,32
<p>Поверхности, работающие на трение, от износа которых зависит точность работы механизмов</p>	0,16
<p>Валы в пригоняемых и регулируемых соединениях с допуском зазора - натяга до 2,5 - 6,5 мкм</p> <p>Отверстия пригоняемых и регулируемых соединений с допуском зазора - натяга до 2,5 мкм</p> <p>Рабочие шейки валов прецизионных быстроходных станков и механизмов</p>	0,080

Таблица 3

Шероховатость поверхности в зависимости от методов  
механической обработки

Обрабатываемые поверхности	Методы обработки		Параметры шероховатости																
			$R_a$ , мкм																
			80	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,16	0,080	0,040	0,025				
Наружные цилиндрические	Обтачивание	Предварительное	+	+	+	+													
		Чистовое			+	+	+	+	+										
		Тонкое							+	+	+								
	Шлифование	Предварительное						+	+										
		Чистовое								+	+								
		Тонкое									+	+							
	Притирка	Грубая								+	+								
		Средняя									+	+							
		Тонкая										+	+	+	+	+	+	+	+
	Отделка абразивным полотном										+	+	+	+					
	Обкатывание роликом											+	+	+					
	Шлифование - отделка (суперфиниширование)												+	+	+	+	+	+	
	Растачивание	Предварительное	+	+	+	+													
Чистовое					+	+	+	+											
Тонкое							+	+	+										



Продолжение табл.3

Внутренние цилиндрические	Сверление				+	+	+												
	Зенкерование	Черновое (по корке)				+	+	+											
		Чистовое							+	+	+	+							
	Развертывание	Нормальное									+	+							
		Точное										+	+						
		Тонкое												+	+				
	Протягивание									+	+	+	+						
	Внутреннее шлифование	Предварительное									+	+							
		Чистовое											+	+	+				
	Калибрование шариком													+	+	+			
	Притирка	Грубая											+	+					
		Средняя												+	+				
		Тонкая														+	+	+	
	Шлифование - притирка (хонингование)	Нормальное											+	+	+				
		Зеркальное														+	+	+	
Плоскости	Строгание	Предварительное	+	+	+	+													
		Чистовое				+	+	+	+	+									
		Тонкое									+	+							
	Цилиндрическое фрезерование	Предварительное		+	+	+	+												
		Чистовое						+	+	+									
		Тонкое									+	+	+						
	Торцовое фрезерование	Предварительное			+	+	+	+											
		Чистовое							+	+	+								
		Тонкое										+	+						
	Торцовое точение	Предварительное	+	+	+	+													
		Чистовое				+	+	+	+	+									
		Тонкое										+	+	+					

Плоское шлифование	Предварительное							+	+							
	Чистовое									+	+					
Притирка	Грубая									+	+					
	Средняя										+	+				
	Тонкая											+	+	+	+	+

### 1.3. Технологичность конструкций деталей машин

Рациональные конструкции машин, обеспечивающие необходимые эксплуатационные требования, не могут быть созданы без учета трудоемкости и материалоемкости их изготовления.

Соответствие конструкций машин требованиям минимальной трудоемкости и материалоемкости определяет технологичность конструкции.

Но трудоемкость и материалоемкость изготовления машины зависят не только от конструкции, но и в значительной степени от выбранного технологического процесса, его оснащенности и режимов обработки. Поэтому при определении технологичности конструкции машины необходимо исключить влияние принятого технологического процесса, чтобы можно было определять степень технологичности данной конструкции машины как отношение трудоемкости ее изготовления к трудоемкости изготовления других конструктивных вариантов этой машины в аналогичных, сопоставимых производственных условиях.

Технологичность конструкции изделия (машины), деталей и узлов необходимо оценивать в процессе ее создания, при технологическом контроле чертежей в период разработки конструкции машины. Предварительно разработанный чертеж детали, узла или машины поступает на технологический контроль, а затем — на окончательную конструктивную разработку. Однако оценка технологичности конструкции при этих условиях может оказаться субъективной, если она зависит

только от уровня знаний технолога, осуществляющего технологический контроль.

При объективной оценке технологичности конструкции машины, ее деталей и узлов учитывают положительные факторы, определяющие технологичность конструкции. К ним относятся: оптимальные формы деталей, обеспечивающие изготовление заготовок с наименьшими припусками и наименьшим количеством обрабатываемых поверхностей; наименьший вес машины; наименьшее количество наименований материалов, применяемых в конструкции машины; взаимозаменяемость деталей и узлов с оптимальными значениями полей допуска; стандартизация и унификация деталей и узлов, а также их отдельных конструктивных элементов (модулей зубчатых колес, радиусов, галтелей, резьб и т. д.).

Выбор оптимальных форм детали зависит от ее конструктивного и эксплуатационного назначения. Сравнение трудоемкости изготовления различных конструктивных вариантов детали может быть основана на оценке технологичности.

Для обеспечения условий создания оптимальных форм деталей, применяют определенные технологические методы изготовления и обработки заготовок.

Так, корпусные детали изготавливают, как правило, литыми или сварнолитыми, а также штамповочными. Конструкции литых заготовок (чугунных или стальных) корпусных деталей должны отвечать требованиям машинной формовки: толщина стенок в разных сечениях не должна иметь резких отклонений и переходов. Конструкции деталей из цветных сплавов должны быть удобными для литья в постоянные металлические формы. Оптимальная конструктивная форма корпусной детали, обрабатываемая с наименьшей трудоемкостью, должна отвечать следующим основным условиям:

- Деталь по возможности должна быть правильной геометрической формы, обеспечивающей возможность ее полной обработки от одной базы: от плоскости и двух установочных отверстий на ней.

- Конструкция детали должна обеспечивать возмож-

ность обработки плоскостей и торцов с отверстиями на проход, поэтому плоскости и торцы не должны иметь выступов, мешающих этой обработке. Размеры обрабатываемых отверстий внутри детали не должны превышать соосных им отверстий в наружных стенках детали.

- Корпусная деталь не должна иметь поверхностей, не перпендикулярных к осям отверстий как у входа, так и на выходе сверла.

- В корпусных деталях следует избегать многообразия размеров отверстий и резьб.

- Корпусную деталь нужно обрабатывать по возможности без соединения с другой парой корпусной детали.

Основные требования, предъявляемые к технологичности конструкций деталей, представляющих собой тела вращения без отверстий, а также деталей сложной формы этого вида, изготавливаемых в большинстве случаев из прутка или штампованной заготовки, реже - из отливок, заключаются в следующем:

- конструкция деталей должна предусматривать небольшое количество обрабатываемых поверхностей, сопрягаемых с другими деталями;

- конструктивная форма детали должна обеспечивать возможность штамповки их в закрытых штампах, для этого следует избегать удлиненных выступов, сечений с большой разностью толщин, глубоких полостей и т. п.

Если эти условия не соблюдены, штампованные заготовки имеют только приближенную форму к готовой детали и, как правило, проходят большое количество операций механической обработки, даже нерабочих поверхностей, с большими отходами металла в стружку.

Основные требования, предъявляемые к технологичности конструкции деталей тел вращения, имеющих сквозные отверстия, а также деталей типа дисков, изготавливаемых из отливок, штамповок, листа и ленты, характеризуются следующими условиями:

- конструкция деталей должна предусматривать обра-

ботку только сопрягаемых поверхностей, а форма деталей должна обеспечивать возможность получения заготовок с минимальными припусками;

- конструкция этих деталей должна предотвращать их деформацию при термической обработке;

- допуски на размеры точных деталей при обеспечении надлежащих эксплуатационных требований не должны усложнять технологии производства.

Технологичность конструкций мелких и крепежных деталей, изготавливаемых из отливок, штамповок и пруткового материала, обеспечивается небольшим количеством обрабатываемых поверхностей с минимальными припусками на обработку.

Основным требованием, предъявляемым к форме мелких деталей, является возможность их изготовления высокопроизводительными методами: штамповкой на ковочных машинах или ковочных прессах, литьем под давлением с одновременной формовкой и заливкой нескольких деталей, изготовлением деталей из ленты на автоматизированных прессах, а также формообразованием деталей из пруткового материала методом холодной высадки или высадки с индукционным нагревом.

Более технологичной, относительно, следует считать конструкцию изделия (машины), в которой применено наименьшее количество наименований различных материалов. Многообразие материалов усложняет процесс производства и прежде всего операции на заготовительном этапе, а также механическую обработку, так как разные марки материала требуют применения инструментов с различной геометрией и различных режимов резания. При многообразии марок материала увеличиваются номенклатура, запасы материалов; увеличивается вероятность простоя оборудования из-за отсутствия марки и профиля материала, это приводит к необходимости замены одного профиля другим с соответствующим увеличением трудоемкости изготовления деталей, узлов и, как следствие, машины.

Обеспечение взаимозаменяемости узлов, деталей с определенными значениями допусков является также существенным фактором, характеризующим технологичность конструкции изделия (машины). Отсутствие взаимозаменяемости узлов и деталей значительно увеличивает трудоемкость изготовления машин вследствие пригоночных или регулировочных работ. Взаимозаменяемость деталей и узлов машины предусматривает их изготовление с размерами в определенном поле допуска.

Однако чем точнее размеры, тем больше трудоемкость изготовления детали, т. е. машина становится менее технологичной. Трудоемкость деталей, изготавливаемых с высокой точностью, значительно увеличивается из-за дополнительных доводочных операций. Поэтому точность изготовления деталей должна находиться в пределах оптимальных значений допусков, обеспечивающих взаимозаменяемость деталей, качество и эксплуатационные требования, предъявляемые к машине или механизму.

Технологичность конструкции изделия (машины) значительно улучшается, если конструктор использует большое количество стандартизованных, нормализованных, и унифицированных узлов и деталей.

Кроме унифицированных деталей, в конструкции каждой машины есть большое количество оригинальных деталей, которые, различаются по форме, имеют отдельные обрабатываемые поверхности, аналогичные с поверхностями других деталей этой машины. Суммарное количество диаметров отверстий и валов, шлицевых и шпоночных соединений, модулей зубчатых колес, резьб, диаметров и длин крепежных деталей, различных допусков размеров на валы и отверстия также может быть сведено до минимального. При этом необходимое количество типоразмеров мерительного, режущего, и других видов инструмента будет значительно сокращено.

Таким образом, конструкция машины, имеющая максимально возможное количество унифицированных конструктивных элементов деталей, является более технологичной по

сравнению с машиной, в которой такая унификация не сделана или недостаточна.

### *1.3. Базирование детали*

#### *1.3.1. Понятие о базах, их классификация и назначение*

*Базой* называют совокупность поверхностей, линий или точек детали, по отношению к которым ориентируются другие детали изделия или по отношению к которым ориентируются поверхности детали, обрабатываемые на данной операции.

В зависимости от служебного назначения все поверхности детали подразделяются на: основные, присоединительные, исполнительные и свободные.

Под *основными* понимают поверхности, с помощью которых определяют положение данной детали относительно другой, к которой она присоединяется.

*Присоединительными* называют поверхности детали, определяющие положение всех присоединяемых к ней других деталей.

*Исполнительные поверхности* - поверхности, выполняющие служебное назначение.

*Свободной поверхностью* называется поверхность, предназначенная для соединения основных и присоединительных поверхностей и исполнительной поверхности между собой с образованием совместно необходимой для конструкции формы детали.

Элементы детали, образующие комплекты основных и присоединительных поверхностей, характеризуют *технологические базы*, т.е. элементы, используемые в процессе обработки для установления взаимосвязи между расположением режущей кромки инструмента и обрабатываемой поверхностью.

По характеру своего применения (при конструировании, изготовлении деталей и сборке механизмов и машин) базы подразделяют на: конструкторские, сборочные, измерительные и установочные.

*Конструкторскими и сборочными базами* называют по-

верхности, линии или точки деталей, с помощью которых определяют ее положение относительно других деталей на сборочном чертеже (конструкторские базы) или при сборке (сборочные базы). В качестве конструкторских баз используют также линии симметрии: оси валов и отверстий, биссектрисы углов и т. п. Для всех деталей вращения одной из конструкторских баз всегда является ось вращения.

Сборочными базами детали могут быть только материальные поверхности, т. е. поверхности, выполняющие служебное назначение.

Как правило, положение детали относительно других деталей определяют комплектом из *двух* или *трех* баз.

*Установочной базой* детали называют совокупность поверхностей, линий или точек, относительно которых ориентируется при изготовлении детали поверхность, обрабатываемая на данной операции.

В зависимости от способа применения установочных баз при обработке их подразделяют на опорные установочные и проверочные установочные базы.

Установочная база называется *опорной*, если обрабатываемая деталь непосредственно опирается своей установочной базой на соответствующие поверхности станка или приспособления.

*Проверочной* установочной базой называется поверхность обрабатываемой заготовки, по которой происходит проверка положения этой заготовки на станке или установка режущего инструмента. Установочные базы подразделяются на основные и вспомогательные.

*Основной* установочной базой называется такая установочная база, расположение которой относительно обрабатываемой поверхности имеет существенное значение с точки зрения работы детали в собранном изделии.

*Вспомогательной* установочной базой называется такая установочная база, расположение которой относительно обрабатываемой поверхности в готовом изделии непосредственного значения не имеет, к применению вспомогательных баз



прибегают в тех случаях, когда конструкция детали исключает возможность использования основной базы детали в качестве установочной базы или требует для этого изготовления сложных или неудобных приспособлений.

Для наибольшей точности изготовления деталей, а следовательно, и лучших эксплуатационных результатов необходимо стремиться к тому, чтобы конструкторские и технологические базы представляли собой одни и те же поверхности, т. е. чтобы по возможности осуществлять установку заготовки при обработке и измерении от тех же поверхностей, которые будут определять положение детали в собранном узле или машине.

Во всех случаях, когда конструкторские и технологические базы не совпадают, возникают погрешности базирования (измерения), что приводит к необходимости перерасчета допусков.

### *1.3.2. Основные схемы базирования по опорным базам*

Схемы базирования зависят от формы поверхностей обрабатываемых заготовок, большинство которых, как правило, ограничено плоскими, цилиндрическими или коническими поверхностями, используемыми в качестве опорных баз.

Основными схемами базирования являются: базирование призматических деталей; базирование длинных цилиндрических деталей; базирование коротких цилиндрических деталей.

Схема базирования призматических деталей. Эта схема предусматривает базирование заготовок деталей типа плит, крышек, картеров и др. Каждая обрабатываемая заготовка призматической формы, если ее рассматривать в системе трех взаимно перпендикулярных осей (рис. 1), имеет шесть степеней свободы: три перемещения вдоль осей  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  и три перемещения при повороте относительно этих же осей. Положение заготовки в пространстве определяется шестью координатами (рис. 1, пунктирные линии).

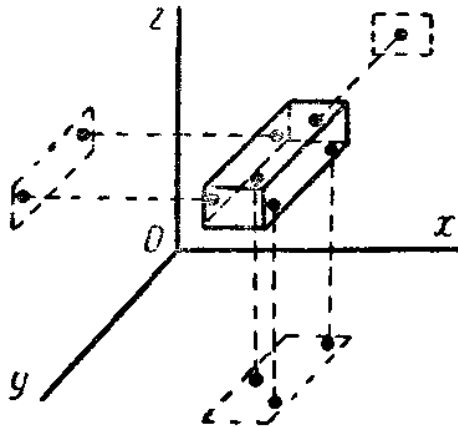


Рис. 1. Схема положения заготовки в системе трех взаимно перпендикулярных плоскостей [1]

Три степени свободы, т. е. возможность перемещаться в направлении оси  $Oz$  и вращаться вокруг осей  $Ox$  и  $Oy$ , ограничиваются тремя координатами, определяющими положение заготовки относительно плоскости  $xOy$ .

Две степени свободы, т. е. возможность перемещаться в направлении оси  $Ox$  и вращаться вокруг оси  $Oz$ , ограничиваются двумя координатами, определяющими положение заготовки относительно плоскости  $yOz$ .

Шестая координата, определяющая положение заготовки относительно плоскости  $xOz$ , ограничивает ее возможность перемещения в направлении оси  $Oy$ , т. е. лишает ее шестой - последней степени свободы.

Этот порядок установки заготовок призматической формы называется *правилом шести точек*. Это правило распространяется не только на заготовки призматической формы, базируемые по их наружному контуру, но и на заготовки другой формы, при использовании для их установки любых поверхностей, выбранных для базирования.

Увеличение опорных точек сверх шести не только не

улучшает, но и ухудшает условия установки, так как обрабатываемая заготовка, как правило, имеет отклонения от правильной геометрической формы, местные неровности поверхности, что может приводить к самопроизвольной установке заготовки в приспособлении.

Нижняя поверхность заготовки с тремя опорными точками называется *главной установочной базой*. Как правило, в качестве главной установочной базы выбирают поверхность с наибольшими размерами.

Боковая поверхность с двумя опорными точками называется *направляющей установочной базой*, для которой выбирают поверхность наибольшей протяженности.

Поверхность с одной опорной точкой называется *упорной установочной базой*.

Свои особенности имеют схемы базирования длинных и коротких цилиндрических деталей.

### Методика выбора базирующих поверхностей

Выбор установочных баз производят с целью наметить как сами базы, так и порядок их смены (если необходимо) при выполнении технологического процесса механической обработки детали. Исходными данными при выборе баз являются: рабочий чертеж детали с простановкой заданных размеров, технические условия на ее изготовление, вид заготовки, а также желаемая степень автоматизации процесса. При выборе баз учитывают условия работы детали в механизме. Принятая схема базирования определяет конструктивные схемы приспособлений и влияет, на точность размеров и взаимного положения поверхностей детали. Наилучшие результаты по точности обработки обеспечиваются при выдерживании принципа совмещения баз. В этом случае погрешности базирования равны нулю. При невозможности выдержать данный принцип (например, из-за недостаточной устойчивости заготовки при малых размерах измерительной базы) за установочную базу принимают другую поверхность, стремясь уменьшить не-

желательные последствия не совмещения баз.

Выдерживание принципа постоянства баз способствует повышению точности взаимного положения поверхностей детали. Высокая степень концентричности поверхностей вращения обеспечивается, в частности, при использовании одной и той же установочной базы. Соблюдение данного принципа повышает однотипность приспособлений и схем установки, что важно при автоматизации технологического процесса. Стремление более полно выдержать этот принцип приводит к созданию на детали искусственных (вспомогательных) баз: бобышек, платиков, центровых гнезд, установочных поясков и других элементов, а также к выполнению всей обработки за один установ на базе черных поверхностей исходной заготовки. Последний случай имеет место при обработке деталей из прутка на автоматах, многопозиционных и агрегатных станках, а также при использовании приспособлений-спутников на автоматических линиях.

При выборе баз должны быть сформулированы требования по точности и шероховатости их обработки, а также предусмотрена необходимость повторной обработки в целях ликвидации возможной деформации от действия остаточных напряжений в материале заготовки. Выбор баз связан с первой наметкой плана обработки детали, который подвергается дальнейшей детализации на последующих этапах проектирования технологического процесса.

## 2. ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Лабораторная работа № 1

#### СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Цель работы: ознакомление со статистическими методами исследования точности обработки посредством построения практических кривых распределения действительных размеров обработанных деталей.

#### Содержание работы

Обтачивается партия ( $n = 50$  шт.) деталей типа валиков или колец с выдерживанием наружного диаметра по методу автоматического получения размера при одной настройке станка, т. е. при постоянном режиме резания без смены режущего инструмента и его подналадки.

Обтачивание выполняется при постоянном положении резца, настроенном на получение заданного диаметрального размера или путем установки резца на заданный размер по лимбу для каждой обрабатываемой детали.

Численное значение выдерживаемого размера и допустимые предельные отклонения назначаются в задании.

Размер, на который производится настройка станка, подсчитывается следующим образом:

$$L_n = L_{cp} = L + 0,5(es + ei), \quad (1)$$

где  $L_n$  - настроечный размер;  $L_{cp}$  — размер, совпадающий с серединой поля допуска;  $L$  - номинальный размер;  $es$  - верхнее предельное отклонение;  $ei$  - нижнее предельное отклонение.

Эта формула для подсчета настроечного размера справедлива в случае, если центр группирования действительных размеров обработанных деталей  $\bar{X}$  совпадает с размером се-

редине поля допуска  $L_{cp}$ , т. е.  $\bar{X} = L_{cp}$  и допуск  $\delta$  равняется полю рассеивания действительных размеров  $6\sigma$ . При этом износом резца пренебрегают.

Станок настраивается методом пробных проходов и промеров. После обработки измеряют действительные размеры с точностью 0,005 - 0,01 мм, миниметром, индикаторной скобой или микрометром. Цена деления мерительного инструмента должна быть в пределах  $\left(\frac{1}{6} \div \frac{1}{10}\right)$  поля допуска на выдерживаемый размер.

Результаты замеров записываются в виде таблицы действительных размеров в последовательности обработки деталей на станке.

По данным наблюдений строится кривая распределения действительных размеров, устанавливается величина поля рассеивания этих размеров и смещение центра группирования их относительно середины поля допуска, определяется возможный процент брака. Даются выводы об устойчивости, точности и настроенности процесса обработки.

Обработывая разные партии деталей при разных настройках станка, скоростях резания и других изменяемых технологических условиях, построением кривых распределения действительных размеров можно выявить величину смещения кривой распределения и изменение степени рассеивания размеров. По полученным результатам может быть дано заключение о влиянии некоторых технологических факторов на суммарную точность обработки, определяемую случайными и систематическими погрешностями обработки.

Исследование точности токарной обработки построением кривых распределения действительных размеров

Метод построения кривых распределения действительных размеров основан на построении кривой распределения и

определении характеристик (параметров) распределения действительных размеров.

Чтобы построить кривую распределения по результатам замеров, необходимо просмотреть результаты наблюдений и исключить из них единичные, резко отличающиеся величины, появление которых может быть вызвано грубыми ошибками.

Из данной серии наблюдений выбирают  $X_{\min}$  - наименьшее значение действительного размера деталей в партии и  $X_{\max}$  - наибольшее значение действительного размера среди всех этих замеров.

Имея  $X_{\min}$  и  $X_{\max}$ , определяют размах действительных размеров  $R = X_{\max} - X_{\min}$ . Затем этот ряд значений разбивают на группы или интервалы. Размер одного интервала определяется по формуле

$$c = \frac{R}{m}, \quad (2)$$

где  $c$  — размер интервала;  $m$  - число интервалов, которое задают, исходя из того, чтобы размер одного интервала получить больше цены деления измерительного инструмента. Это делается для того, чтобы уменьшить влияние погрешностей измерения на форму кривой распределения.

Число интервалов принимают от 5 до 7 при партии деталей 25 - 50 шт. и от 6 до 9 - при партии деталей 50 - 100 шт. Размер интервала округляют в большую сторону.

Далее подсчитывают число деталей с действительными размерами, попавшими в каждый интервал. Если размер совпадает с большим пределом интервала, то его относят к соседнему следующему интервалу. Число деталей (размеров), попавших в один интервал, называется частотой  $k_i$  распределения действительных размеров. Отношение частоты распределения к общему числу обследованных деталей (размеров)  $p_i$  называется частотью, или относительной частотой распределения.

Полученные данные вносятся в табл. 4.

Определяют положение центра группирования размеров, как среднее арифметическое значение действительных размеров

$$\bar{X} = a + \frac{c}{n} \sum_{i=1}^m b_i k_i, \quad (3)$$

где  $a$  - середина такого интервала, в котором частота распределения наибольшая.

Таблица 4

Данные для построения кривой распределения

Интервалы значений		Середина интервала $\bar{X}_{i_{cp}}$	Частота $k_i$	Частотность $p_i$	$b_i = \frac{X_{i_{cp}} - a}{c}$	$b_i k_i$	$b_i^2 k_i$
от	до						
$X_{\min}$	$X_{\min} + c$	$X_{1cp}$	$k_1$	$p_1$	$b_1$	$b_1 k_1$	$b_1^2 k_1$
$X_{\min} + c$	$X_{\min} + 2c$	$X_{2cp}$	$k_2$	$p_2$	$b_2$	$b_2 k_2$	$b_2^2 k_2$
.	.	.	.	.	.	.	.
$X_{\min} + (m-1)c$	$X_{\max}$	$X_{mcp}$	$k_m$	$p_m$	$b_m$	$b_m k_m$	$b_m^2 k_m$
			$\sum_{i=1}^m k_i = n$			$\sum_{i=1}^m b_i k_i$	$\sum_{i=1}^m b_i^2 k_i$



Затем определяется среднеквадратичное отклонение действительных размеров от их среднего арифметического значения:

$$\sigma = c \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m b_i^2 k_i - \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m b_i k_i \right)^2}. \quad (4)$$

По данным табл. 4 производится построение практической кривой распределения (рис. 2). По оси абсцисс откладывают интервалы действительных размеров, а по оси ординат — частоту попадания размеров в каждый интервал.

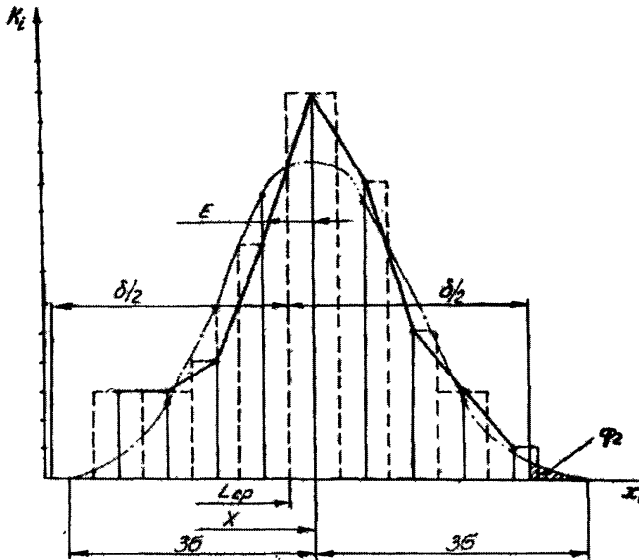


Рис. 2 [9]

По виду полученной кривой делают вывод о законе распределения действительных размеров. Основываясь на теореме Ляпунова, можно утверждать, что это распределение будет подчиняться нормальному закону. Смысл теоремы Ляпу-

нова заключается в следующем: если какая-нибудь величина  $Z$  представляет собой сумму большого числа случайных величин  $X_i$  ( $Z = \sum X_i$ ), среди которых нет доминирующих, то независимо от того, какому закону распределения подчиняются слагаемые  $X_i$ , сама сумма  $Z$  этих слагаемых будет всегда следовать нормальному закону и тем точнее, чем больше число слагаемых  $X_i$  образуют данную сумму  $Z$ . Отсюда следует, что погрешности действительных размеров, получаемых при обработке на настроенных станках, представляют сумму большого числа частных погрешностей и подчиняются закону нормального распределения, если ни одна частная погрешность не является доминирующей.

Для того, чтобы построить теоретическую кривую распределения, подчиняющуюся нормальному закону, зная характеристики  $\bar{X}$  и  $\sigma$ , необходимо определить теоретические частоты в каждом интервале. Определение теоретических частот производится по формуле (5), при выводе которой используется уравнение закона нормального распределения

$$k_o = \frac{n \cdot c}{\sigma} Z_t, \quad (5)$$

где  $n$  – число деталей в партии;  $c$  – размер одного интервала;

функция  $Z_t = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$ , где  $t = \frac{X_{i_{cp}} - \bar{X}}{\sigma}$  – нормированное отклонение.

Значения функции для различных  $t$  приведены в приложении 1. При определении теоретических частот составляется табл. 5.

Таблица 5

## Определение теоретических частот

Середина интервала $X_{i\text{cp}}$	Параметр $t = \frac{X_{i\text{cp}} - \bar{X}}{\sigma}$	Функция $Z_t$	$\frac{nc}{\sigma}$	Теоретическая частота $k'_i$
$X_{1\text{cp}}$	$t_1$	$Z_{t1}$	$\frac{nc}{\sigma}$	$k'_1$
$X_{2\text{cp}}$	$t_2$	$Z_{t2}$		$k'_2$
·	·	·		·
·	·	·		·
·	·	·		·
$X_{m\text{cp}}$	$t_m$	$Z_{tm}$		$k'_m$

Оценка точности обработки по результатам определения характеристик распределения действительных размеров производится путем сравнения величины поля рассеивания с допуском  $\delta$  на выдерживаемый размер.

Величину поля рассеивания  $\Delta_p$  случайных величин, подчиняющихся закону нормального распределения, в практике принято считать равной  $\pm 3\sigma$  от среднего арифметического значения этих величин  $\bar{X}$ , т. е.  $\Delta_p = 6\sigma$ .

При настройке станка, когда  $\bar{X} = L_{\text{cp}}$ , в случае, если  $\Delta_p = 6\sigma < \delta$ , точность хорошая, вероятный процент появления брака будет меньше 0,27%; если  $\Delta_p = 6\sigma = \delta$ , точность удовлетворительная, вероятный процент появления брака будет равен 0,27%; если  $\Delta_p = 6\sigma > \delta$ , точность неудовлетворительная, вероятный процент появления брака больше 0,27%.

Такую настройку станка будем называть идеальной, так как в реальных условиях добиться того, чтобы  $\bar{X} = L_{cp}$ , очень трудно. При плохой точности, даже в случае идеальной настройки станка, неизбежен брак, процент которого может быть подсчитан по формуле (6)

$$q = [1 - 2\Phi(t)] \cdot 100\% = \left[ 1 - 2\Phi\left(\frac{\delta}{2\sigma}\right) \right] \cdot 100\% = , \quad (6)$$

$$= 2 \left[ 0,5 - \Phi\left(\frac{\delta}{2\sigma}\right) \right] \cdot 100\%$$

где  $t = \frac{\delta}{2\sigma}$  значение нормированного отклонения, соответствующего концу поля допуска;  $\Phi(t)$  - нормированная функция

Лапласа. Эта функция имеет выражение  $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$  и

определяется по приложению 2.

Нормированная функция Лапласа является нечетной функцией, т. е.  $\Phi(-t) = -\Phi(t)$ , когда  $\bar{X} = L_{cp}$  и  $6\sigma > \delta$  „исправимый“ брак  $q_1$  равен „неисправимому“  $q_2$ ,

$$q_1 = q_2 = \frac{1}{2} q. \quad (7)$$

Это справедливо при обработке наружных поверхностей. В реальных условиях на появление брака будет, как правило, оказывать влияние и погрешность настройки станка, т. е. смещение  $\bar{X}$  относительно  $L_{cp}$ . В случае, когда  $\Delta_p < \delta$ , настройка станка проверяется сравнением фактического смещения с допустимым.

Допустимое смещение подсчитывается по формуле

$$|E_{\delta}| = \frac{1}{2}(\delta - 6\sigma). \quad (8)$$

Фактическое смещение

$$E = \bar{X} - L_{cp}, \quad (9)$$

где  $E$  - фактическое смещение настройки станка относительно размера, соответствующего середине ноля допуска  $L_{cp}$ .

Если  $E < E_d$  - настройка хорошая;  
 если  $E = E_d$  - настройка удовлетворительная;  
 если  $E > E_d$  - настройка неудовлетворительная, а значит, возможен брак, который определяется по формулам:

$$q_1 = \left[ 0,5 - \Phi \left( \frac{\frac{\delta}{2} + E}{\sigma} \right) \right] \cdot 100\%, \quad (10)$$

$$q_2 = \left[ 0,5 - \Phi \left( \frac{\frac{\delta}{2} - E}{\sigma} \right) \right] \cdot 100\%. \quad (11)$$

Предельные значения  $\bar{X}_{\min}$  и  $\bar{X}_{\max}$ , при которых еще не будет брака, определяются из следующего соотношения:

$$\bar{X}_{\min} = L_{cp} - |E_{\delta}| \leq \bar{X} \leq L_{cp} + |E_{\delta}| = \bar{X}_{\max}. \quad (12)$$

Допуск на настройку определяется как удвоенная величина допустимого смещения, т. е.  $\Delta_n = 2|E_{\delta}|$ .

Тогда  $\bar{X}_{\min} = L_{cp} - \frac{\Delta_n}{2}$ ;  $\bar{X}_{\max} = L_{cp} + \frac{\Delta_n}{2}$ ,

$$a \bar{X}_{\min} \leq \bar{X} \leq \bar{X}_{\max} . \quad (13)$$

### Содержание отчета

1. Эскиз детали с заданным выдерживаемым размером.
2. Режимы резания обработки детали.
3. Характеристика мерительного инструмента.
4. Таблица распределения действительных размеров.
5. Определение характеристик распределения  $\bar{X}$  и  $\sigma$ .
6. Вычисление теоретических частот  $k'_i$  распределения.
7. Построение совмещенных практической и теоретической кривых распределения.
8. Определение точности процесса обработки и его настроенности.
9. Определение возможного (вероятного) процента брака.
10. Выводы по работе.

## Лабораторная работа № 2

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ РАЗМЕРНОЙ ТОЧНОСТИ СМЕЖНЫХ ОПЕРАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Цель работы - практическое освоение методики исследования взаимосвязи точностных характеристик качества двух смежных операций технологического процесса с помощью корреляционного анализа.

## Основные положения

Связь между значениями входных и выходных показателей качества деталей при изготовлении может быть описана корреляционной зависимостью. В большинстве случаев при нормальном распределении двух случайных величин  $x$  и  $y$  корреляционная связь между ними является линейной и уравнение регрессии  $y$  на  $x$  имеет вид

$$\bar{Y} = a_0 + a_1 \bar{X}, \quad (14)$$

где  $\bar{Y}$  и  $\bar{X}$  - средние значения одноименной погрешности на выходе и входе операции;  $a_0$  и  $a_1$  - коэффициенты уравнения регрессии.

Для полной характеристики погрешностей на выходе необходимо иметь два показателя точности:  $\bar{Y}$  и  $\sigma_y$  или  $\sigma_y^2$ .

Дисперсия погрешности на выходе

$$\sigma_y^2 = \sigma_{yx}^2 + a_1^2 \sigma_x^2, \quad (15)$$

где  $\sigma_{yx}^2$  - дисперсия собственных случайных погрешностей данной операции;  $\sigma_x^2$  - дисперсия погрешностей на входе.

Из приведенных зависимостей вытекает следующее. Средняя погрешность на выходе  $\bar{Y}$  данной операции складывается из двух частей:  $a_1 \bar{X}$  - пропорциональной средней величине входной погрешности  $\bar{X}$  и  $a_0$  — постоянной относительно  $\bar{X}$ .

Дисперсия погрешности на выходе  $\sigma_y^2$  также складывается из двух частей:  $a_1^2 \sigma_x^2$  - пропорциональной дисперсии

входной погрешности  $\sigma_x^2$  и  $\sigma_{yx}^2$  - постоянной относительно  $\sigma_x^2$ , т. е. от нее не зависящей.

Коэффициент  $a_1$  в уравнениях (14) и (15) показывает, какая часть входной погрешности перенесена на выходную. Поэтому его называют коэффициентом переноса или передаточной характеристикой процесса. Если  $a_1 = 0$ , то, следовательно, полученная на предшествующей операции погрешность полностью исправляется на данной операции. Если  $a_1 = 1$ , то исправление отсутствует, и имеет место полный перенос входной погрешности. При  $0 < a_1 < 1$  имеет место частичный перенос погрешности или частичное (неполное) ее исправление на данной операции.

Величина  $(1 - a_1)$  - коэффициент исправления, показывающий, какая часть входной погрешности исправляется на данной операции.

В соответствии с ГОСТ 16.305-74 теснота зависимости между погрешностями на двух смежных технологических операциях должна определяться путем расчета коэффициента корреляции

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}}, \quad (16)$$

где  $x_i$  и  $y_i$  — результаты измерений деталей по одноименному параметру качества после первой и второй операций соответственно;  $n$  - количество контролируемых деталей.

При прямой функциональной зависимости между входным и выходным значениями погрешности одноименного параметра качества  $r = 1$ . Если функциональная зависимость носит обратный характер, то  $r = -1$ . При отсутствии линейной зависимости  $r = 0$ . Во всех остальных случаях  $-1 < r < 1$ .



Коэффициент  $a_1$  в уравнениях (14) и (15) определяется по формуле

$$a_1 = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x}. \quad (17)$$

Подставляя это выражение в уравнение (15), можно определить  $\sigma_{yx}^2$ :

$$\sigma_{yx}^2 = \sigma_y^2 (1 - r^2). \quad (18)$$

Дисперсия на входе  $\sigma_x^2$  определяется также из уравнения (15)

$$\sigma_x^2 = \frac{\sigma_y^2 - \sigma_{yx}^2}{a_1^2}$$

или из формулы (17)

$$\sigma_x^2 = \sigma_y^2 \frac{r^2}{a_1^2}.$$

При неизменном технологическом процессе изготовления деталей (постоянство применяемого оборудования, инструмента, приспособления, режимов резания) значения  $r$  и  $a_1$  постоянны. В этом случае на основе выражений (16) и (17) можно решать две задачи. Прямая задача заключается в том, что по известным вероятностным характеристикам входной погрешности ( $\sigma_x$ ) и преобразующей системы ( $r$ ), а также коэффициенту уравнения связи (14) ( $a_1$ ) определяют показатель выходной точности:

$$\sigma_y = \sigma_x \frac{a_1}{r}.$$

В обратной задаче устанавливается, каков должен быть выходной показатель точности, чтобы точность обработки на данной операции была не ниже заданной

$$\sigma_x = \sigma_y \frac{r}{a_1}$$

### Методические указания

Для проведения лабораторной работы используется заранее подготовленный комплект пронумерованных деталей в количестве 50 штук, которые прошли черновую обработку. Детали комплекта представляют собой валики из стали 45 с четырьмя ступенями одинакового диаметра. Такая конструкция деталей обеспечивает их многократное использование. Диаметр ступеней  $D = 20 \div 25$  мм, длина ступени  $l = 10 \div 15$  мм, общая длина  $L = 110 \div 120$  мм (рис. 3).

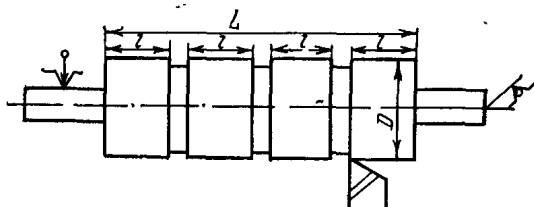


Рис. 3. Схема обработки детали [9]

В процессе выполнения работы производится чистовое обтачивание выбранной ступени валика. До чистового обтачивания детали имели точность по h9, после — по h8. Обработка деталей производится на токарно-винторезном станке мод. 16K20 проходным токарным резцом с твердосплавной пластижкой T15K6. Рекомендуемые режимы обработки приведены в табл. 6.

Таблица 6

## Режимы чернового и чистового обтачивания валика

Операция обтачивания	t, мм	s, мм/об	V, м/мин
Черновая	1,0	0,3 ÷ 0,4	160
Чистовая	0,5	0,18 ÷ 0,25	200

Экспериментальная часть работы заключается в измерении диаметра  $D$  выбранной ступени валика до и после чистовой обработки.

Далее проводится определение наличия и степени взаимосвязи между входными (после черновой обработки) и выходными (после чистовой обработки) отклонениями действительных размеров валиков от их номинальных значений, а также расчет допуска на черновое обтачивание, позволяющего обеспечить допустимую погрешность после чистового обтачивания.

Пример: Валики после черновой обработки на станке № 1 передаются последовательно на станок № 2 для чистовой обработки. Номинальные размеры диаметра валика после черновой обработки  $D_x = 54$  мм, после чистовой обработки  $D_y = 52$  мм. Отклонение действительных размеров диаметра валиков от номинального размера после черновой ( $x$ ) и чистовой обработки ( $y$ ) приведены в табл. 7.

Необходимо установить наличие и силу связи между размерами деталей после черновой и чистовой обработки; дисперсии  $\sigma_{yx}^2$  и  $\sigma_x^2$ ; погрешность размера  $D_x$  после черновой обработки, позволяющую обеспечить погрешность этого размера после чистовой обработки не более допустимой  $\delta_y = 75$  мкм.

В рассматриваемом примере количество интервалов  $K_x = 10$ , размер интервала  $C_x = 10$  мкм;  $K_y = 9$ ,  $C_y = 8$  мкм.

Таблица 7

Протокол измерения отклонений  $x$  и  $y$  после черного  
и чистового обтачивания (мкм)

№ детали	$x$	$y$	№ детали	$x$	$y$	№ детали	$x$	$y$	№ детали	$x$	$y$
1	-40	-10	16	-2	5	31	10	18	46	24	22
2	-38	-6	17	-5	6	32	5	12	47	21	20
3	-40	-4	18	-6	6	33	9	10	48	30	22
4	-36	-6	19	-5	10	34	7	10	49	26	28
5	-35	-10	20	-6	6	35	9	12	50	32	36
6	-45	6	21	14	6	36	15	6	51	42	37
7	-38	4	22	2	4	37	16	18	52	32	28
8	-29	-2	23	-3	10	38	11	20	53	42	24
9	-24	4	24	-4	12	39	16	20	54	38	28
10	-24	2	25	-3	10	40	25	18	55	34	44
11	12	6	26	3	10	41	25	20	56	47	30
12	-17	-2	27	6	10	42	23	18	57	40	34
13	-14	4	28	14	9	43	30	20	58	37	34
14	-17	-2	29	8	17	44	30	28	59	38	33
15	-14	4	30	3	4	45	29	30	60	35	52

Составим корреляционную табл. 8 и дополним ее строками и графами для вычисления статистических характеристик распределений  $x$  и  $y$ . Для упрощения вычислений заменим середины интервалов  $x$  на  $x' = \frac{x - a_x}{C_x}$  и  $y$  на  $y' = \frac{y - a_y}{C_y}$ .

Таблица 8

$y'$	$y$	$x'$										$m_y$	$m_{y''}$	$m_y (y'')^2$
		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5			
		$x$												
		$(-50) \div (-40)$	$(-40) \div (-30)$	$(-30) \div (-20)$	$(-20) \div (-10)$	$(-10) \div 0$	$0 \div 10$	$10 \div 20$	$20 \div 30$	$30 \div 40$	$40 \div 50$			
5	$48 \div 56$									1		1	5	25
4	$40 \div 48$									1		1	4	16
3	$32 \div 40$									3	2	5	15	45
2	$24 \div 32$								2	3	2	7	14	28
1	$16 \div 24$						2	4	5	2		12	12	12
0	$8 \div 16$					4	6	1				11	0	0
-1	$0 \div 8$		1	2	3	4	2	2				14	-14	14
-2	$(-8) \div 0$	1	3	1	2							7	14	28
-3	$(-16) \div (-8)$	1	1									2	-6	18
$\Sigma$												60	16	186
Номер строки	1	$n_x$	2	5	3	5	8	9	7	7	10	4	$\Sigma n_x = 60$	
	2	$n_x x'$	-8	-15	-6	-5	0	9	14	21	40	20	$\Sigma n_x x' = 70$	
	3	$n_x (x')^2$	32	45	12	5	0	9	28	63	160	100	$\Sigma n_x (x')^2 = 454$	
	4	$\Sigma n_{xy} y'$	-5	-10	-4	-7	-4	-1	2	9	26	10	$\Sigma \Sigma n_{xy} y' = 16$	
	5	$x \Sigma n_{xy} y'$	20	30	8	7	0	-1	4	27	104	50	$\Sigma (x' \Sigma n_{xy} y') =$	

Примечания:

1. В табл. 8 приводятся частоты  $n_{xy}$  наблюдаемых значений пары чисел  $(x_i, y_i)$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

2.  $n_x$  - частота наблюдаемых значений отклонений диаметра деталей после черногого обтачивания (сумма частот  $i$ -й строки).

3.  $m_y$  — частота наблюдаемых значений отклонений диаметра деталей после чистового обтачивания (сумма частот  $i$ -го столбца).

4. Контроль составления корреляционной таблицы:  $\Sigma n_x = \Sigma m_y = \Sigma n_{xy} = n$ .

Установим значения  $a_x$  и  $a_y$  такими, чтобы середины интервалов по  $x$  и  $y$  в новой системе координат принимали целые значения от  $(-p)$  до  $p$ . В примере принято  $a_x = -5$  и  $a_y = 12$ .

Корреляционную таблицу (табл. 8) заполняем, просматривая по порядку протокол измерений (табл. 7).

Корреляционная таблица

На основании данных табл. 8 определяем статистические характеристики распределений случайных величин  $x$  и  $y$ , учитывая вышеприведенную формулу:

$$\bar{X}' = \frac{1}{n} \sum n_x x' = \frac{70}{60} = 1,17;$$

$$\bar{X} = a_x + C_x \bar{X}' = -5 + 10 \cdot 1,17 = 6,7 \text{ мкм};$$

$$\bar{Y}' = \frac{1}{n} \sum m_y y' = \frac{16}{60} = 0,266;$$

$$\bar{Y} = a_y + C_y \bar{Y}' = 12 + 8 \cdot 0,266 = 14,1 \text{ мкм};$$

$$\sigma_x' = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_x (x')^2 - (\bar{X}')^2} = \sqrt{\frac{454}{60} - 1,17^2} = 2,5 \text{ мкм};$$

$$\sigma_x = C_x \sigma'_x = 10 \cdot 2,5 = 25 \text{ мкм};$$

$$\sigma'_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum m_y (y')^2 - (\bar{Y}')^2} = \sqrt{\frac{186}{60} - 0,266^2} = 1,76 \text{ мкм};$$

$$\sigma_y = C_y \sigma'_y = 8 \cdot 1,76 = 14 \text{ мкм}.$$

Для определения коэффициента корреляции вычисляем  $C'_{xy}$ :

$$C'_{xy} = \frac{1}{n} \sum (x' \sum n_{xy} y') - \bar{X} \bar{Y}' = \frac{249}{60} - 1,17 \cdot 0,266 = 3,84,$$

тогда коэффициент корреляции

$$r = \frac{C'_{xy}}{\sigma'_x \sigma'_y} = \frac{3,84}{2,5 \cdot 1,76} = 0,88.$$

Значение коэффициента корреляции свидетельствует о наличии тесной линейной взаимосвязи между погрешностями до и после операции чистового обтачивания.

Для составления уравнения связи  $y$  с  $x$  вычисляем коэффициенты  $a_1$  и  $a_0$ :

$$a_1 = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 0,88 \frac{14}{25} = 0,493;$$

$$a_0 = \bar{Y} - a_1 \bar{X} = 14,1 - 0,493 \cdot 6,7 = 10,8.$$

Уравнение связи имеет вид

$$\bar{Y} = 10,8 + 0,493 \bar{X}.$$

График полученной зависимости представлен на рис. 4, где числа над точками соответствуют значениям  $n_{xy}$  для данных квадратов координатной сетки. При  $n_{xy} = 1$  цифра над точкой отсутствует.

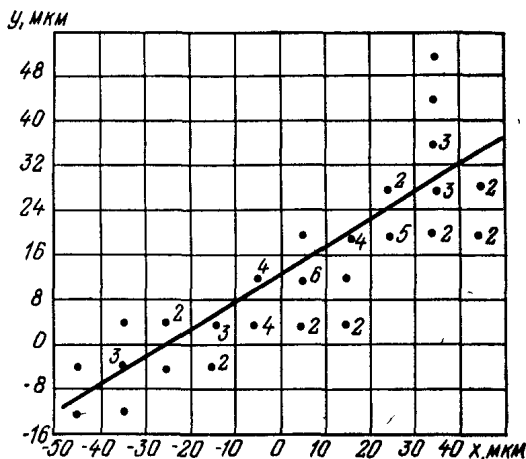


Рис. 4. Зависимость между входной (x) и выходной (y) погрешностями на операции обтачивания [9]

Таким образом, средняя погрешность на выходе операции чистового обтачивания складывается из двух компонентов: из исправленной в 0,493 раза погрешности после чернового обтачивания и погрешности 10,8 мкм, возникшей на данной операции.

Коэффициент исправления операции чистового обтачивания

$$1 - a_1 = 1 - 0,493 = 0,507.$$

Дисперсия собственных случайных погрешностей чистовой операции  $\sigma_{yx}^2$  и дисперсия исправленной входной погрешности  $a_1^2 \sigma_x^2$  вычисляются по формуле (18)



$$\sigma_{yx}^2 = \sigma_y^2(1 - r^2) = 14^2(1 - 0,88^2) = 45 \text{ мкм}^2,$$

$$a_1^2 \sigma_x^2 = 0,493^2 \cdot 25^2 = 153 \text{ мкм}^2.$$

Полагая, что распределение размеров на входе и выходе операции чистового обтачивания является нормальным, необходимое значение  $\sigma_y$  на выходе определяется из уравнения  $\delta_y = 6\gamma\sigma_y$ . Отсюда

$$\sigma_y = \frac{\delta_y}{6\gamma} = \frac{75}{6 \cdot 1,18} = 11,2 \text{ мкм},$$

где коэффициент  $\gamma$  при доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$

$$\gamma = 1 + \frac{t_\alpha}{\sqrt{2n}} = 1 + \frac{1,96}{\sqrt{2 \cdot 60}} = 1,18,$$

где  $t_\alpha$  - критерий Стьюдента,  $t_{0,05} = 1,96$ .

Дисперсия  $\sigma_x^2$  определяется по формуле

$$\sigma_x^2 = \frac{\sigma_y^2 - \sigma_{yx}^2}{a_1^2} = \frac{11^2 - 45}{0,493^2} = 326,$$

отсюда  $\sigma_x = \sqrt{326} \cong 18$  мкм. Тогда допуск на размер до операции чистового обтачивания

$$\delta_x = 6\gamma\sigma_x = 6 \cdot 1,18 \cdot 18 = 128 \text{ мкм}.$$

Порядок выполнения работы

1. Измерить диаметр одной из ступеней комплекта деталей. Результаты измерений  $x_i$  занести в табл.7.

2. Произвести чистовую обточку выбранной ступени комплекта деталей.

3. Измерить диаметр выбранной ступени вала комплекта деталей после чистового обтачивания. Результаты измерений  $y_i$  занести в табл. 7.

4. Составить корреляционную таблицу (табл. 8).

5. По ее данным рассчитать статистические характеристики случайных величин  $x$  и  $y$ , коэффициент корреляции  $r$ , коэффициенты  $a_1$  и  $a_0$ , дисперсии  $\sigma_{yx}^2$  и  $\sigma_x^2$ .

6. Построить график полученной зависимости.

7. Определить необходимое значение  $\delta_x$ .

8. Дать анализ полученных результатов.

9. Составить отчет.

Содержание отчета

1. Название работы.

2. Содержание задания и оснащение.

3. Результаты измерений (табл. 7).

4. Корреляционная таблица (табл. 8)

5. Расчет допустимой погрешности на входе операции чистового обтачивания  $\delta_x$ .

6. График зависимости  $y$  от  $x$ .

7. Выводы.

### Лабораторная работа № 3

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ НАСТРОЙКИ ТОКАРНОГО СТАНКА НА ЗАДАННЫЙ УРОВЕНЬ

Цель работы — практическое освоение методики расчета уровня настройки, осуществления настройки токарного станка на этот уровень методом обработки пробных деталей и контроля правильности настройки.

Основные положения

По ГОСТ 3.1109-73, наладка - это подготовка технологического оборудования и оснастки к выполнению определен-

ной технологической операции. Часть наладки, относящаяся к установке инструмента, рабочих элементов станка, установочных элементов приспособлений в положение, которое обеспечивает получение требуемого размера в поле допуска, называют настройкой станка на заданный размер или, иначе, на заданный уровень настройки. Настройка станка может осуществляться методом пробных деталей или методом эталонов.

Требования к планированию и проведению контроля точности настройки технологического оборудования для механической обработки при настройке методом пробных деталей или по эталону в условиях серийного и массового производства устанавливает ГОСТ 16309-75. При этом для каждого плана контроля точности настройки оборудования установлен трехзначный код. Кодирование планов контроля производится в соответствии с табл. 9.

Таблица 9

Обозначение планов контроля по ГОСТ 16.309-75

Место в коде	Код признака	Признак
Первая цифра	1	Настройка методом пробных деталей
	2	Настройка методом эталонов
Вторая цифра	1	Контролируется правильность настройки на заданный уровень
	2	Контролируется правильность настройки в пределах заданного допуска на настройку
Третья цифра	1	Контроль по среднему арифметическому значению $\bar{x}$ измерений
	2	Контроль по значению медианы $m$ измерений
	3	Контроль по индивидуальным значениям
	4	Контроль по сгруппированным индивидуальным значениям

В настоящей работе контроль точности настройки токарного станка ведется в соответствии с табл. 9 означает первая цифра кода - настройка методом пробных деталей; вторая - контролируется правильность настройки на заданный уровень; третьи цифры кода «1» и «2» соответственно означают, что в качестве результирующего значения измерений пробных деталей принимается их среднее арифметическое значение или медиана.

Если смещение центра группирования размеров деталей аппроксимируется линейной зависимостью, а среднее квадратическое отклонение случайных погрешностей этих размеров в процессе обработки деталей практически постоянно, то в соответствии с ГОСТ 16.308-75 уровень настройки  $X_0$  определяется по одной из следующих формул:

при смещении уровня настройки к верхнему предельному отклонению  $\Delta_v$  поля допуска на обработку (как, например, при наружном точении):

$$X_o = \Delta_v - \delta_c - 3\sigma_m - \frac{\delta_n}{2}, \quad (19)$$

при смещении уровня настройки к нижнему предельному отклонению  $\Delta_n$  поля допуска на обработку (например, при растачивании отверстий):

$$X_o = \Delta_n + \delta_c + 3\sigma_m + \frac{\delta_n}{2}, \quad (20)$$

где  $\Delta_v$  и  $\Delta_n$  — верхнее и нижнее отклонения размера, мм;

$\delta_c$  — смещение уровня настройки, мм;  $\sigma_m$  — среднее квадратическое отклонений размеров при обработке деталей на данной операции, мм;  $\delta_n$  — поле допуска на настройку, мм.

Смещение уровня настройки  $\delta_c = \bar{X}_k - \bar{X}_1$ , где  $\bar{X}_k$  и  $\bar{X}_1$  - центры группирования погрешностей контролируемого параметра, определяемые по мгновенным выборкам соответственно в конечный и начальный моменты обработки партии деталей.

Поле допуска на настройку при распределении погрешности настройки по нормальному закону можно определить по формуле

$$\delta_n = \sqrt{\delta^2 - \delta_m^2 - 3\delta_c^2 \Delta_{н.у} - \delta_{изм}^2}, \quad (21)$$

где  $\delta$  – поле допуска на обработку, мм;  $\delta_m$  - мгновенное поле рассеивания контролируемого параметра, мм;  $\Delta_{н.у}$  — абсолютное значение погрешности контроля точности настройки, мм;  $\delta_{изм}$  — погрешность измерения, мм.

Абсолютное значение погрешности контроля настройки представляет собой погрешность метода расчета среднего арифметического значения или медианы и может быть вычислено следующим образом:

$$\Delta_{н.у} = \Delta_{расч} = \frac{\delta_m}{\sqrt{n}}, \quad (22)$$

где  $n$  — количество пробных деталей.

Контроль точности настройки должен проводиться путем измерения пробных деталей, обработанных после осуществления настройки станка. При выполнении контроля в случаях, когда среднее квадратическое отклонение неизвестно, количество пробных деталей выбирается в пределах от 5 до 10 шт. Средства измерения выбираются по ГОСТ 8.051-73, согласно которому допускаемые погрешности измерения принимаются равными от 20 (для грубых допусков) до 35 % допуска на размер.

О правильности настройки следует судить по среднему арифметическому значению (план 1.1.1) или медиане (план 1.1.2), определяемым по результатам измерения контролируемого параметра обработанных после настройки станка пробных деталей. Наиболее точным является план 1.1.1, которому следует отдавать предпочтение при контроле настройки станков, на которых выполняются точные операции. Однако план 1.1.2 более прост в осуществлении ввиду меньшего объема вычислений.

Настройку следует считать правильной, т. е. соответствующей точности данного метода настройки, если удовлетворяются следующие условия:

при применении кода 1.1.1

$$\bar{X} - X_o \leq \varepsilon;$$

при применении кода 1.1.2

$$\tilde{X} - X_o \leq \varepsilon,$$

где  $\bar{X}$  - среднее арифметическое значение, мм;  $\tilde{X}$  - медиана;  $\varepsilon$  - абсолютная погрешность настройки (мм), определяемая по формуле

$$\varepsilon = \frac{t_p}{\sqrt{n}} \hat{\sigma}_{mo},$$

где  $\frac{t_p}{\sqrt{n}}$  - отношение, принимаемое по табл. 10, в зави-

симости от доверительной вероятности Р и количества пробных деталей n;  $\hat{\sigma}_{mo}$  - среднее квадратичное отклонение, вычисленное по результатам предварительной обработки и измерения контролируемого параметра трех-десяти деталей:

$$\hat{\sigma}_{mo} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}, \quad (23)$$

где N - число предварительно обработанных деталей.

При выполнении настоящей работы  $\hat{\sigma}_{то}$  можно принимать равным 15...20 мкм без предварительной обработки и измерения деталей.

### Методические указания

При выполнении настоящей работы необходимо проточить 5 - 6 пробных деталей типа вала напроход на длине 75 ÷ 80 мм. Рекомендуемые режимы резания:  $t = 0,5 \div 0,6$  мм;  $s = 0,2 \div 0,3$  мм/об;  $V = 100 \div 110$  м/мин (500, 630, 830 об/мин). Резец проходной из Т15К6. Допуск на обработку вала следует брать по h12, т. е. в пределах 0,25 ÷ 0,3 мм.

Значения  $\frac{t_p}{\sqrt{n}}$  при доверительной вероятности Р и количестве пробных деталей n

Таблица 10

n	Р				
	0,95	0,98	0,99	0,995	0,999
При контроле по среднему арифметическому значению					
5	1,15	1,5	1,8	2,13	3,07
6	1	1,28	1,51	1,76	2,44
При контроле по значению медианы					
5	1,806	2,355	2,826	3,344	4,82
6	1,57	2,01	2,371	2,763	3,831

При определении абсолютной погрешности настройки уровень доверия принимается из следующего ряда: 0,95; 0,98; 0,99; 0,955; 0,999. Объем партии деталей N, обрабатываемой при данной настройке, можно принять равным 100 шт.

Смещение уровня настройки  $\delta_c$  (мкм), используемое в расчетах для определения уровня настройки и поля допуска на

настройку, вычисляется исходя из допущения, что при точении оно в основном обусловлено размерным износом инструмента.

Тогда

$$\delta_c = \bar{X}_k - \bar{X}_1 \cong \Delta_u = \frac{2I_o l}{1000}, \quad (24)$$

где  $\Delta_u$  - погрешность, обусловленная износом режущего инструмента, мкм;  $I_o$  - относительный износ инструмента, мкм/км. Для случая точения стали твердосплавным резцом Т15К6 со скоростью более 100 м/мин  $I_o = 5 \div 7$  мкм/км;  $l$  - путь резания, м:

$$l = \frac{\pi d L N}{1000s}, \quad (25)$$

где  $d$  - диаметр заготовки, мм;  $L$  - длина обрабатываемой заготовки, мм.

Поле мгновенного рассеивания размеров  $\delta_m$  при точении заготовок диаметром 50 ÷ 80 мм на станках с жесткостью 6 ÷ 10 кН/мм можно принять равным 32 ÷ 33 мкм. Зная поле мгновенного рассеивания  $\delta_m$  контролируемого размера, можно определить предполагаемое среднее квадратическое отклонение размеров  $\sigma_m$  при обработке деталей на данной операции. По рекомендации ИСО 1938-71 принимается  $\delta_m = \pm 2 \sigma_m$  (при доверительной вероятности  $P = 0,95$ ). Откуда

$$\sigma_m = \frac{1}{4} \delta_m. \quad (26)$$

Погрешность измерения  $\delta_{изм}$  микрометром гладким с ценой деления 0,01 мм для диапазона размеров 25 ÷ 75 мм составляет 10 мкм (см. ГОСТ 8.051-73).



Отношение  $\frac{t_p}{\sqrt{n}}$ , входящее в формулу для определения

абсолютной погрешности настройки  $\varepsilon$ , находится по табл. 10 по заданным значениям  $P$  и  $n$ .

Порядок выполнения работы

1. Определить уровень настройки расчетно-аналитическим методом.

2. Закрепить заготовку в трехкулачковом патроне с использованием вращающегося центра задней бабки. Закрепить пиноль задней бабки рукояткой.

3. Настроить токарный станок на заданный уровень методом взятия пробных стружек и регулирования положения резца с помощью лимба поперечной подачи. Закрепить лимб в положении настройки.

4. Обработать на заданных режимах и уровне настройки  $5 \div 6$  деталей напроход на длине 75 мм.

5. Измерить микрометром диаметры обработанных деталей после их остывания,

6. Вычислить  $\bar{X}$  или  $\tilde{X}$  в соответствии с вариантом задания.

7. Определить значение  $\frac{t_p}{\sqrt{n}}$  и вычислить абсолютную

погрешность настройки  $\varepsilon$ .

8. Проверить выполнение условий неравенств  $\bar{X} - X_o \leq \varepsilon$

или  $\tilde{X} - X_o \leq \varepsilon$  в соответствии с вариантом задания.

9. Дать оценку точности настройки.

10. Составить отчет.

## Содержание отчета

1. Название работы.
2. Содержание задания.
3. Наименование и модель станка, данные об используемых приспособлениях, измерительном и режущем инструменте.
4. Эскиз установки детали на станке, материал детали и ее размеры.
5. Режимы резания.
6. Исходные и расчетные данные, необходимые для определения уровня настройки. Результат определения уровня настройки.
7. Результаты измерений пробных деталей и определения  $\bar{X}$ ,  $\tilde{X}$ .
8. Результаты определения абсолютной погрешности настройки.
9. Результаты проверки условия правильности настройки.
10. Выводы о точности настройки.

## Лабораторная работа № 4

### БАЗЫ И ПРИНЦИПЫ БАЗИРОВАНИЯ

Цель работы — ознакомление с теоретическими основами выбора технологической базы с учетом технических требований к детали, определения технологической базы, составление схемы базирования заготовки.

Чтобы осуществить обработку заготовки на станке, ее необходимо закрепить на нем, предварительно выбрав базы. Под базированием понимают придание заготовке требуемого

положения относительно станка и инструмента. От правильности базирования зависит точность обработки. При разработке схемы базирования решают вопросы выбора и размещения опорных точек. В производственных условиях всегда имеют место погрешности обработки  $\varepsilon_{уст}$ , зависящие от условий установки, т. е. от базирования  $\varepsilon_{баз}$ , закрепления  $\varepsilon_{закр}$  заготовки, и от неточности приспособления  $\varepsilon_{пр}$ . Погрешность установки выражается формулой

$$\varepsilon_{уст} = \sqrt{\varepsilon_{баз}^2 + \varepsilon_{закр}^2 + \varepsilon_{пр}^2} . \quad (25)$$

Для уменьшения этих погрешностей важно соблюдать правила базирования: правило «шести точек», правило «постоянства баз», правило «совмещения баз» и др.

Значения погрешности можно определить различными методами. Табличный метод позволяет определить погрешности установки в зависимости от производственных условий.

Расчетный метод определения погрешностей базирования, закрепления и вызванных неточностью приспособления выполняется с помощью формул.

При несоблюдении правила «совмещения баз» возникает необходимость в пересчете конструкторских размеров в технологические. Цель пересчета состоит в определении погрешности размера замыкающего звена и сравнении ее с допуском конструкторского размера.

Выбор технологической базы с учетом технических требований к детали

Пример 1. В технологическом процессе изготовления корпуса предусмотрена операция по расточке отверстия диаметром  $D$  (рис. 5). При выполнении отверстия должны быть выдержаны размер  $a$  и технические требования, касающиеся правильности взаимного расположения отверстия относительно других поверхностей детали.

Требуется: выбрать технологическую базу для рассматриваемой операции; разработать схему базирования.

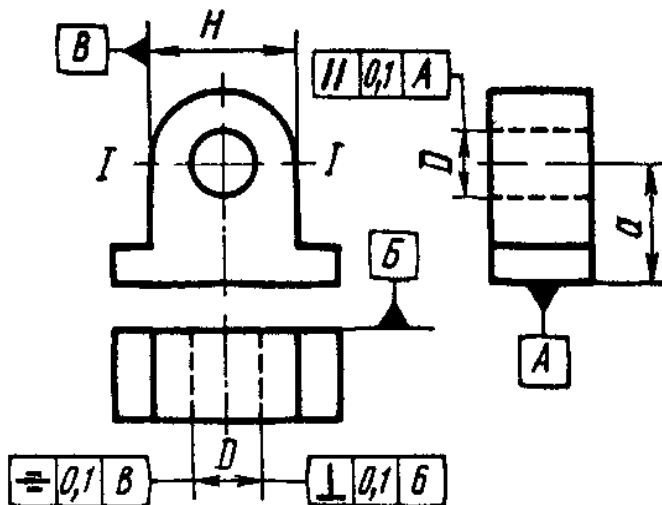


Рис. 5. Корпус [15]

Решение. 1. Одной из конструкторских баз является плоскость А основания. Ее и следует принять за технологическую установочную базу, создав под ее базирование три опорные точки 1, 2 и 3 (рис. 6).

Технологической направляющей базой следует принять плоскость Б с двумя опорными точками 4 и 5. Эта база позволит обработать отверстие перпендикулярно этой плоскости. Для обеспечения симметричности расположения отверстия относительно наружного контура можно использовать в качестве технологической базы поверхность В, но конструктивно легче воспользоваться для этого поверхностью Г полуцилиндра и использовать для этой цели приспособление с подвижной призмой.

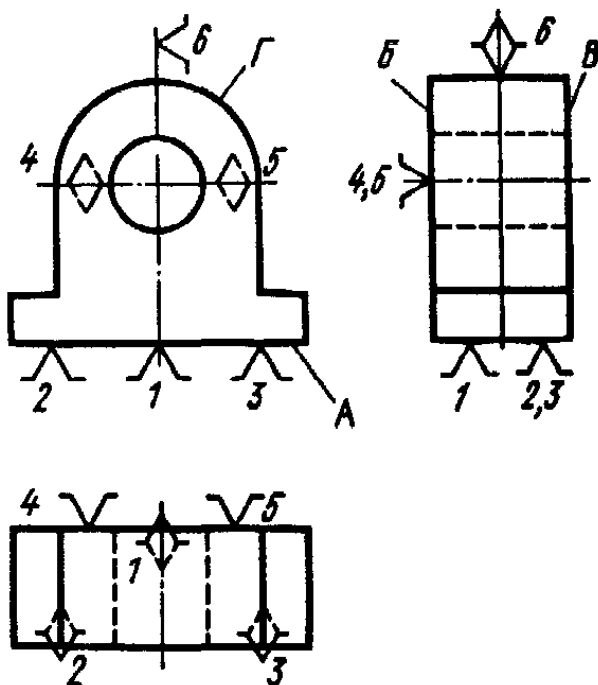


Рис. 6. Схема базирования [15]

На основании изложенного применим технологическую базу из трех поверхностей А, Б и Г (рис. 6).

2. Схема базирования, представляющая собой расположение опорных точек на базах заготовки, представлена на рис. 6.

Задача 3.1. Для станочной операции по обработке указанной поверхности детали требуется выбрать технологическую базу и составить схему базирования.

Варианты приведены на рис. 7 и в табл. 11.

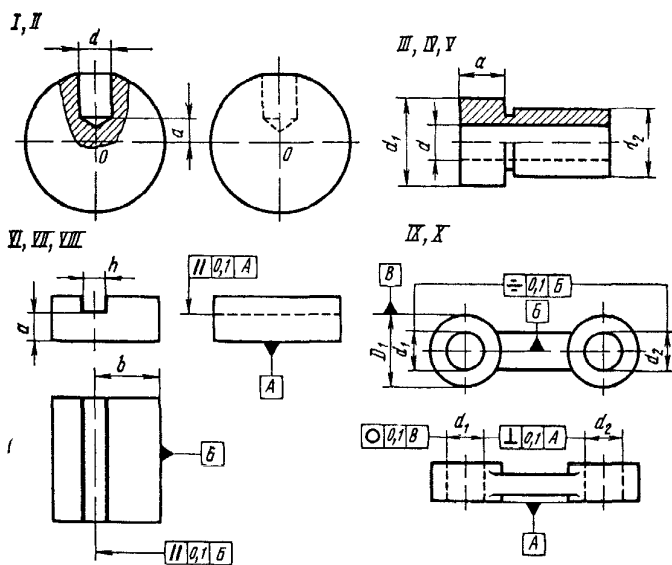


Рис. 7. Варианты заданий [15]

Таблица 11

№ варианта	Наименование операции	Содержание операции
I	Вертикально-сверлильная	Сверлить отверстие в шаре
II	Токарная	Сверлить отверстие в шаре
III	Токарная	Точить поверхности окончательно
IV, V	Круглошлифовальная	Шлифовать указанные поверхности окончательно
VI, VII	Горизонтально-фрезерная	Фрезеровать паз
VIII	Вертикально-фрезерная	Фрезеровать паз
IX	Вертикально-сверлильная	Сверлить два отверстия
X	Тонкорасточная	Расточить два отверстия

## Определение технологической базы и составление схемы базирования заготовки

Пример 2. Требуется рассмотреть установочные элементы имеющегося приспособления (рис. 8) и установить поверхности заготовки, составляющие технологическую базу при закреплении заготовки в приспособлении; разработать схему базирования заготовки и сделать вывод о соблюдении правила шести точек.

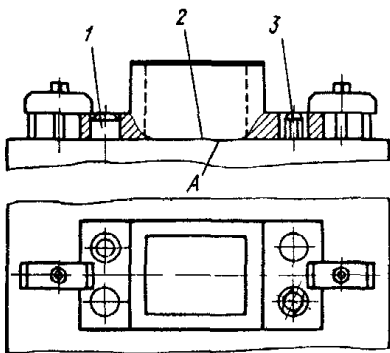


Рис. 8

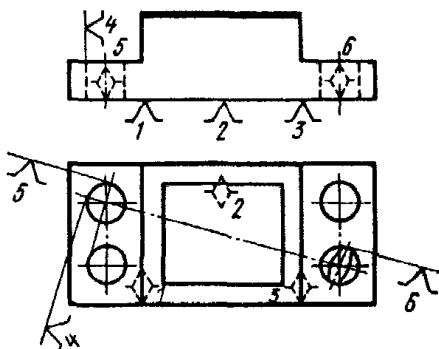


Рис. 9

Решение. 1. В представленном на рисунке приспособлении выявляем его установочные элементы: плоскость корпуса 2, установочный цилиндрический палец 1 и установочный срезанный палец 3. Технологической базой заготовки являются следующие поверхности: нижняя плоскость заготовки А и два отверстия расположенных по диагонали.

2. В соответствии с выявленными технологическими базами и использованными установочными элементами разрабатываем схему базирования (рис. 9): для базирования плоскости (установочной базы) образовано три опорные точки (1, 2, 3); для базирования по первому отверстию (с помощью цилиндрического пальца) образовано еще две опорные точки (4, 5), а

для базирования по второму отверстию используется срезанный палец (6) образующий 6-ю точку базирования.

3. Как видно из рис. 9 и приведенных рассуждений, правило базирования по шести точкам соблюдено.

Задача 3. На рис. 10 изображено приспособление для обработки на станке. Нужно, пользуясь рисунком, выявить технологическую базу, принятую для базирования заготовки, и представить схему базирования заготовки; сделать вывод о правильности выбора опорных точек по количеству и размещению их. Номер варианта указан на рисунке римской цифрой.

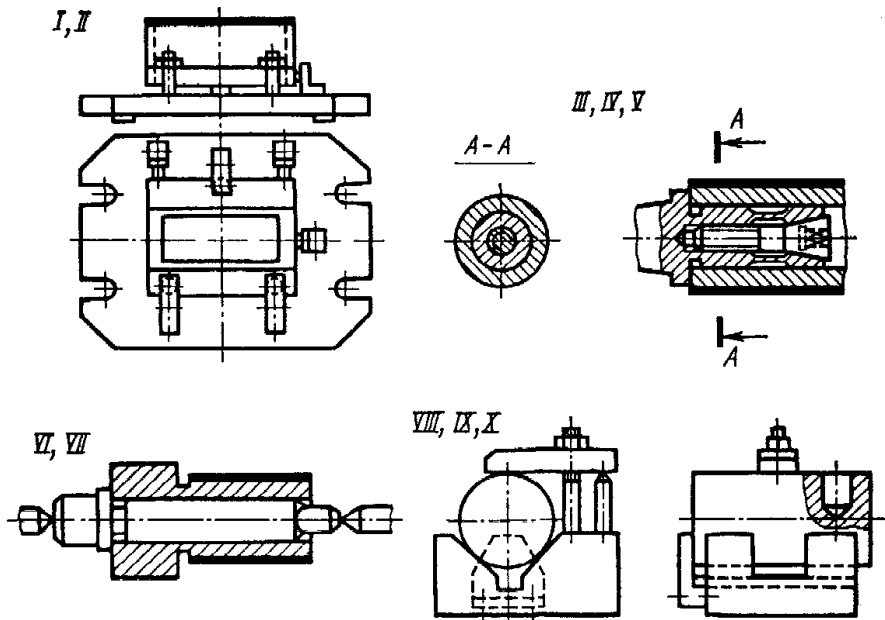


Рис. 10. Варианты заданий



## Содержание отчета

1. Название работы.
2. Содержание задания.
3. Выполнить эскизы в соответствии заданному варианту.
4. Выбрать технологическую базу для рассматриваемой операции; разработать схему базирования
5. Рассмотреть установочные элементы имеющегося приспособления и установить поверхности заготовки, составляющие технологическую базу при закреплении заготовки в приспособлении; разработать схему базирования заготовки и сделать вывод о соблюдении правила шести точек.

### **Лабораторная работа № 5**

## ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЯ

Цель работы – определение количественных показателей технологичности конструкции детали

В комплексе требований, предъявляемых к технико-экономическим показателям промышленных изделий, важное место занимают вопросы технологичности конструкций. Технологичность конструкции изделия определена ГОСТ 14205—83 как совокупность свойств конструкции изделия, определяющих ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

Стандартами ЕСТПП установлена обязательность обработки конструкции на технологичность и количественной оценки технологичности на всех стадиях создания изделий.

Производственная технологичность конструкции изделия проявляется в сокращении затрат, средств и времени на конструкторскую и технологическую подготовку производства, а также на изготовление (в том числе на контроль и испытания) изделий; эксплуатационная технологичность конструкции изделия — в сокращении затрат, времени и средств на техническое обслуживание, текущий ремонт и утилизацию изделия; ремонтная технологичность конструкции изделия — в сокращении затрат при всех видах ремонта, кроме текущего.

Главными факторами, определяющими требования к технологичности конструкции, являются вид изделия, объем выпуска и тип производства. Вид изделия определяет главные конструктивные и технологические признаки, обуславливающие основные требования к технологичности конструкции, объем выпуска и тип производства определяют степень технологического оснащения, механизации и автоматизации технологических процессов и специализации всего производства.

Оценка технологичности конструкции изделия может быть двух видов качественной и количественной. Качественная оценка характеризует технологичность конструкции обобщенно на основании опыта исполнителя. Качественная сравнительная оценка вариантов конструкции допустима на всех стадиях проектирования, когда осуществляется выбор лучшего конструктивного решения и не требуется определения степени различия технологичности сравниваемых вариантов. Количественная оценка технологичности конструкции изделия выражается показателем, численное значение которого характеризует степень удовлетворения требований к технологичности конструкции. Качественная оценка при сравнении вариантов конструкции в процессе проектирования изделия предшествует количественной и определяет целесообразность количественной оценки и соответственно затрат времени на определение численных значений показателей технологичности сравниваемых вариантов. Количественная оценка технологичности создает предпосылки для планомерного улучшения технологичности изделий.

Сравнение вариантов конструкции и отработку на технологичность осуществляют по базовым показателям. Базовый показатель технологичности конструкции — это показатель, принятый за исходный при сравнительной оценке технологичности конструкции изделия. Технологичной считается конструкция, значения показателей технологичности которой соответствуют базовым показателям технологичности или превосходят их.

Под отработкой конструкции на технологичность понимают комплекс мероприятий по обеспечению необходимого уровня технологичности конструкции изделия по установленным показателям. Номенклатуру показателей технологичности конструкции выбирают в зависимости от вида изделия, специфики и сложности конструкции, объема выпуска, типа производства и стадии разработки конструкторской документации.

Уровень технологичности конструкции изделия представляет собой показатель технологичности, выражаемый отношением значения показателя технологичности данного изделия к значению соответствующего базового показателя технологичности. Номенклатуру показателей технологичности конструкции устанавливают с учетом экономической эффективности показателей, методики их определения и опытно-статистических (или расчетных) данных. Номенклатура показателей может изменяться в зависимости от увеличения информации о конструкции изделия по стадиям разработки конструкторской документации.

Рассмотрим методику определения количественных показателей технологичности конструкции детали на конкретном примере.

Пример: Корпус массой  $m_d = 2$  кг (рис. 11) изготавливается из чугуна марки СЧ20 ГОСТ 1412-85. Метод получения исходной заготовки — литье в земляную форму, по 1 классу точности (ГОСТ 18-80), масса заготовки  $m_0 = 2,62$  кг.

Трудоемкость механической обработки детали  $T_{и} = 45$  мин при базовой трудоемкости (аналога)  $T_{би} = 58$  мин.

Технологическая себестоимость детали  $C_T = 31,5$  руб., при базовой технологической себестоимости аналога  $C_{бт} = 36,7$  руб.

Данные конструкторского анализа детали по поверхностям представлены в табл. 12.

Требуется определить показатели технологичности конструкции детали.

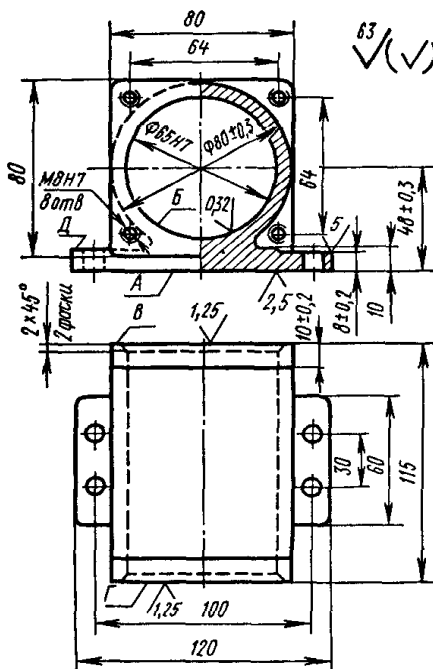


Рис. 11. Корпус цилиндра [15]

Решение.

1. К основным показателям технологичности относятся:

а) абсолютный технико-экономический показатель – трудоемкость изготовления детали  $T_{и} = 45$  мин;

Таблица 12

## Данные конструкторского анализа корпуса цилиндра

Наименование поверхности	Количество поверхностей	Количество унифицированных элементов	Качество точности	Параметр шероховатости $R_a$ , мкм
Отверстие главное	1	1	7	0,32
Торец фланца	2	-	12	1,25
Фаска	2	2	12	20
Резьбовое отверстие	8	8	9	20
Верх основания	2	-	12	5
Отверстия основания	4	4	12	40
Низ основания	1	-	12	2,5
Итого:	$Q_9 = 20$	$Q_{v3} = 15$		

уровень технологичности конструкции по трудоемкости изготовления

$$K_{yt} = T_{и} / T_{би} = 45 / 58 = 0,775.$$

Деталь по этому показателю технологична, т. к. трудоемкость ее сравнительно с базовым аналогом ниже на 22,5 %.

б) технологическая себестоимость детали  $C_T = 31,5$  руб;

уровень технологичности конструкции по технологической себестоимости

$$K_{yc} = C_T / C_{бт} = 31,5 / 36,7 = 0,858.$$

Деталь технологична, т. к. себестоимость ее сравнительно с базовым аналогом снизилась на 14,2 %.

2. Дополнительные показатели:

а) коэффициент унификации конструктивных элементов детали

$$K_{yэ} = Q_{yэ} / Q_э = 15 / 20 = 0,75.$$

По этому показателю деталь технологична, т. к.  $K_{yэ} > 0,6$ .

б) масса детали  $m_d = 2$  кг;

коэффициент использования материала

$$K_{им} = m_d / m_о = 2 / 2,62 = 0,76.$$

Для исходной заготовки этого типа такой показатель свидетельствует об удовлетворительном использовании материала.

в) коэффициент точности обработки

$$K_{тч} = 1 - 1 / A_{ср} , \quad (26)$$

где  $A_{ср}$  – средний квалитет точности:

$$A_{ср} = (n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + 19n_{19}) / \Sigma n_i . \quad (27)$$

В этой формуле  $n_i$  – число поверхностей детали точностью соответственно по 1...19 квалитетам. В нашем случае

$$A_{ср} = (731 + 938 + 12311) / 20 = 10,55;$$

$$K_{тч} = 1 - 1 / 10,55 = 1 - 0,095 = 0,905.$$

Так как  $K_{гч} > 0,8$ , то деталь по этому показателю является технологичной.

г) коэффициент шероховатости поверхности

$$K_{ш} = 1 / B_{ср}, \quad (28)$$

где  $B_{ср}$  – средняя шероховатость поверхности определяемая в значениях параметра  $R_{\alpha}$ , мкм:

$$B_{ср} = (R_{\alpha 1} \times n_1 + R_{\alpha 2} \times n_2 + \dots + R_{\alpha k} \times n_k) / \sum n_i. \quad (29)$$

В этой формуле  $n_i$  – количество поверхностей, имеющих шероховатость, соответствующую данному числовому значению параметра  $R_{\alpha i}$ . В нашем случае:

$$B_{ср} = (0,3231 + 1,2532 + 2,531 + 532 + 20310 + 4034) / 20 = 18,77 \text{ мкм.}$$

$$K_{ш} = 1 / 18,77 = 0,053.$$

Поскольку  $K_{ш} < 0,32$ , то по этому показателю деталь технологична. Здесь  $R_{\alpha} = 0,32$  мкм – минимальная шероховатость поверхности для данной детали.

## Лабораторная работа № 6

### ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ

Цель работы – ознакомиться с методикой выбора инструментальных материалов для токарных резцов.

Режущий инструмент является тем средством, без которого невозможно реализовать заложенные в станках технологические возможности и достичь высоких технико-экономических показателей обработки деталей. Для его изго-

товления используются разнообразные инструментальные материалы, обладающие различными технологическими возможностями. Поэтому перед технологом возникает задача по правильному выбору и применению того или иного инструмента в конкретных условиях обработки детали.

Надо помнить, что для осуществления процесса резания необходимы как минимум следующие условия:

а) инструмент должен иметь соответствующую форму и рациональную геометрию заточки;

б) твердость режущей части инструмента должна быть значительно выше твердости обрабатываемого материала;

в) инструмент и заготовка в процессе резания должны перемещаться относительно друг друга строго по заданным траекториям;

г) все взаимные перемещения должны происходить с определенными скоростями главного движения и движения подачи в зависимости от различных технологических факторов и условий обработки.

Пример 1. Выбрать материал режущей части токарного проходного резца, предназначенного для черновой обработки отливки из серого чугуна, твердостью НВ 220 по корке при неравномерном припуске и прерывистом резании.

Решение. Для обработки заготовок из чугуна рекомендуется твердый сплав вольфрамовой группы (ВК). Важнейшим требованием к материалу режущей части резца для черновой обработки, т. е. для работы с большими нагрузками на инструмент, является обеспечение прочности. Для черновой обработки по корке при неравномерном припуске и прерывистом резании рекомендуется твердый сплав ВК8. Сплав этой марки содержит 8 % Со и является достаточно прочным.

Пример 2. Выбрать материал режущей части резца, предназначенного для предварительного нарезания резьбы на заготовке из стали 40Х.

Решение. Для обработки заготовок из сталей рекомендуется твердый сплав титановольфрамовой группы (ТК). Для предварительного нарезания резьбы справочник рекомендует



твердые сплавы T15K6 и T14K8, так как в данном случае осуществляется резание по предварительно обработанной поверхности без ударных нагрузок. Принимаем сплав T15K6.

Задача. Выбрать материал режущей части резца для заданных условий обработки. Обосновать выбор материала (табл. 13).

Данные к задаче

Таблица 13

№ вари-ри-	Материал заготовки	Вид обработки	Характер обработки
1	2	3	4
1	Сталь 20Х, $\sigma_B = 580$ МПа ( $\sim 58$ кгс/мм <sup>2</sup> )	Нарезание резьбы	Предварительная
2	Серый чугун СЧ 10, НВ 170	Растачивание	Предварительная без ударных нагрузок
3	Сталь Ст.5, $\sigma_B = 600$ МПа, ( $\sim 60$ кгс/мм <sup>2</sup> )	Обтачивание	Предварительная после автогенной резки
4	Серый чугун СЧ 20, НВ 200	Подрезание торца	Окончательная
5	Ковкий чугун КЧ 37-12, НВ 150	Обтачивание	Предварительная с ударными нагрузками
6	Сталь 45, $\sigma_B = 700$ МПа ( $\sim 70$ кгс/мм <sup>2</sup> )	Обработка фасонным резцом	Окончательная

7	Бронза Бр. АЖ 9-4, НВ 120	Растачивание	Предварительное
8	Сталь 45ХН, $\sigma_B = 750$ МПа ( $\sim 75$ кгс/мм <sup>2</sup> )	Обтачивание	Окончательная с малым сечением среза (тонкая)
9	Сталь корро- зионно- стойкая 40Х13, НВ 200	Прорезание паза	Окончательная
10	Латунь ЛК 80- 3, НВ 110	Растачивание	Окончательная

### Лабораторная работа № 7

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И ОСНОВНОГО ВРЕМЕНИ

Цель работы – ознакомиться с методикой расчета режимов резания и основного (технологического) времени.

Параметрами режима резания являются скорость резания, подача и глубина резания.

Методики выбора элементов режимов резания при точении рассмотрим на конкретных примерах.

Пример 1. Определить скорость резания при обработке заготовки диаметром  $D = 120$  мм на токарном станке с частотой вращения шпинделя  $n = 500$  об/мин.

Решение. Скорость резания при точении

$$V = \pi \cdot D \cdot n / 1000 = 3,14 \cdot 120 \cdot 500 / 1000 = 189 \text{ м/мин.}$$

Задача 1. Определить скорость резания при обтачивании заготовки диаметром  $D$  (мм) на токарном станке с частотой

той вращения шпинделя  $n$  (об/мин) (табл. 14).

Данные к задаче 1

Таблица 14

№ варианта	D, мм	n, об/мин	№ варианта	D, мм	n, об/мин	№ варианта	D, мм	n, об/мин
1	80	860	5	220	250	8	95	630
2	150	315	6	180	315	9	110	400
3	45	1600	7	30	2000	10	60	1000
4	70	1250						

Пример 2. Определить частоту вращения шпинделя станка при обтачивании заготовки диаметром  $D = 80$  мм на токарном станке со скоростью резания  $v = 215$  м/мин ( $\sim 3,6$  м/с).

Решение. Частота вращения шпинделя токарного станка

$$n = 1000 \cdot v / \pi \cdot D = 860 \text{ об/мин.}$$

Задача 2. Определить частоту вращения шпинделя станка  $n$  (об/мин) (табл. 15) при обтачивании заготовки диаметром  $D$  (мм) на токарном станке со скоростью  $v$  (м/мин).

Данные к задаче 2

Таблица 15

№ варианта	D, мм	V		№ варианта	D, мм	V	
		м/мин	м/с			м/мин	м/с
1	140	88	1,47	6	64	200	3,33
2	37	233	3,89	7	160	80	1,33
3	90	177	2,95	8	54	170	2,84
4	120	119	1,98	9	43	216	3,6
5	72	280	4,67	10	210	133	2,22

Пример 3. Определить минутную подачу  $s_m$  при обтачивании заготовки на токарном станке с частотой вращения шпинделя  $n = 1000$  об/мин; подача резца за один оборот шпинделя  $s = 0,26$  мм/об.

Решение. Минутная подача резца

$$s_m = s \cdot n = 0,26 \cdot 1000 = 260 \text{ мм/мин.}$$

Задача 3. Определить минутную подачу  $s_m$  при обтачивании заготовки на токарном станке с частотой вращения шпинделя  $n$  (об/мин); подача резца за один оборот шпинделя  $s$  (мм/об) приведена в табл. 16.

Данные к задаче 3

Таблица 16

№ варианта	$n$ , об/мин	$s$ , мм/об	№ варианта	$n$ , об/мин	$s$ , мм/об	№ варианта	$n$ , об/мин	$s$ , мм/об
1	400	0,61	5	250	0,78	8	160	0,95
2	630	0,43	6	1600	0,17	9	1250	0,23
3	200	0,87	7	860	0,3	10	500	0,52
4	315	0,7						

Пример 4. Определить глубину резания  $t$  при растачивании отверстия  $d = 55$  мм до  $D = 60$  мм за один проход на токарном станке.

Решение. Глубина резания при точении за один проход

$$t = (D - d) / 2 = (60 - 55) / 2 = 2,5 \text{ мм.}$$

Пример 5. Определить глубину резания  $t$  при обтачивании заготовки диаметром  $D = 150$  мм на токарном станке в два перехода.

При переходе предварительной обработки заготовка обтачивается до  $D_0 = 142$  мм, а при окончательной обработке — до  $d = 140$  мм.

Решение. При предварительном обтачивании глубина резания

$$t = (D - D_0) / 2 = (150 - 142) / 2 = 4 \text{ мм.}$$

При окончательном обтачивании

$$t = (D_0 - d) / 2 = 1 \text{ мм.}$$

Задача 4. Определить глубину резания  $t$  при обтачивании заготовки диаметром  $D$  на токарном станке в два перехода. При переходе предварительной обработки заготовка обтачивается до  $D_0$ , а при окончательной обработке — до  $d$  (табл. 17).

Данные к задаче 4 (размеры в мм)

Таблица 17

№ варианта	D	D <sub>0</sub>	d	№ варианта	D	D <sub>0</sub>	d
1	188	182	180	6	87	81,5	80
2	67	61,5	60	7	216	208	206
3	56	51	50	8	50	43,5	42
4	120	114	112	9	140	132	130
5	95	88,5	87	10	73	66,5	65

Пример 6. Определить основное время при продольном обтачивании на проход шейки вала от  $D = 70$  мм до  $d = 64$  мм на длине  $l = 200$  мм. Частота вращения шпинделя станка  $n = 600$  об/мин; подача резца  $s = 0,4$  мм/об. Обработка производится за один проход. Резец проходной с главным углом в плане  $\omega = 45^\circ$ .

Решение. Основное время при точении

$$T_0 = (L \cdot i) / (n \cdot s).$$

По условию известны все величины, входящие в формулу, кроме длины прохода резца  $L = l + y + \Delta$ , где врезание резца  $y = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi$ ; перебег резца  $\Delta = 1 \div 3$  мм.

При числе проходов  $i = 1$  глубина резания

$$t = (D - d) / 2 = (70 - 64) / 2 = 3 \text{ мм};$$

$$\text{тогда } y = 3 \operatorname{ctg} 45^\circ = 3 \cdot 1 = 3 \text{ мм.}$$

Принимаем перебег резца  $\Delta = 2$  мм. Таким образом,

$$L = 200 + 3 + 2 = 205 \text{ мм.}$$

$$T_o = (205 \cdot 1) / (600 \cdot 0,4) = 0,85 \text{ мин.}$$

Задача 5. Определить основное время при продольном обтачивании на проход заготовки диаметром  $D$  (мм) до диаметра  $d$  (мм) на длине  $l$  (мм). Частота вращения шпинделя  $n$  (об/мин); подача резца  $s$  (мм/об). Обтачивание производится за один проход. Резец проходной с главным углом в плане  $\varphi$  (табл. 18).

Данные к задаче 5.

Таблица 18

№ варианта	D	d	l	n, об/мин	s, мм/об	$\varphi^\circ$
	мм					
1	54	50	200	1000	0,32	45
2	118	110	350	315	0,52	60
3	80	75	130	800	0,43	90
4	72	71	60	1250	0,21	30
5	90	82	150	630	0,57	60
6	43	40	55	1600	0,26	45
7	64	60	80	1000	0,34	90
8	37	35	45	2000	0,17	45
9	158	150	480	250	0,61	60
10	142	140	75	500	0,28	30

Пример 7. Определить основное время при подрезании сплошного торца заготовки диаметром  $D = 165$  мм на токарном станке за один проход. Частота вращения шпинделя  $n = 480$  об/мин; подача резца  $s = 0,3$  мм/об. Припуск на обработку (на сторону)  $h = 3,5$  мм. Резец проходной отогнутый с углом  $\varphi = 45^\circ$ .

Решение. Основное время при точении

$$T_o = (L \cdot i) / (n \cdot s).$$

Длина прохода резца при подрезке сплошного торца

$$L = D / 2 + y + \Delta.$$

Врезание резца  $y = t \cdot \text{ctg } \varphi$ . При числе проходов  $i = 1$  глубина резания  $t = h = 3,5$  мм. Тогда  $y = 3,5 \text{ ctg } 45^\circ = 3,5$  мм. Перебег резца  $\Delta = 1 \div 3$  мм; принимаем  $\Delta = 2$  мм.

Таким образом,

$$L = 165 / 2 + 3,5 + 2 = 88 \text{ мм};$$

$$T_o = 88 \cdot 1 / 480 \cdot 0,3 = 0,61 \text{ мин.}$$

Задача 6. Определить основное время при подрезании сплошного торца заготовки диаметром  $D$  (мм) на токарном станке за один проход. Припуск на обработку (на сторону)  $h$  (мм). Частота вращения шпинделя  $n$  (об/мин); подача резца  $s$  (мм/об). Резец проходной отогнутый с углом  $\varphi = 45^\circ$  (табл. 19).

Данные к задаче 6

Таблица 19

№ варианта	D	h	n, об/мин	s, мм/об	№ варианта	D	h	n, об/мин	s, мм/об
	мм	мм				мм			
1	60	2,5	1000	0,43	6	150	4	500	0,78
2	85	3	800	0,52	7	45	2,5	1250	0,39
3	30	2	2000	0,30	8	100	3,5	400	0,6
4	120	4	315	0,7	9	90	3,5	630	0,57
5	70	3	800	0,47	10	40	2,5	1250	0,34

Пример 8. Определить основное время при отрезании кольца от заготовки, имеющей форму трубы, на токарном станке резцом из твердого сплава. Наружный диаметр заготовки  $D = 100$  мм; внутренний диаметр  $d = 84$  мм.

Частота вращения шпинделя  $n = 250$  об/мин; подача резца  $s = 0,14$  мм/об.

Решение. Основное время

$$T = L / ns.$$

Длина прохода резца при отрезке кольца

$$L = (D - d) / 2 + (1 \div 2).$$

Второе слагаемое учитывает врезание и перебег резца; принимаем его равным 2 мм. Тогда  $L = 10$  мм;  $T_0 = 0,29$  мин.

Задача 7. Определить основное время при отрезании кольца от заготовки, имеющей форму трубы, на токарном станке резцом с пластиной из твердого сплава. Наружный диаметр заготовки  $D$  (мм); внутренний диаметр  $d$  (мм). Частота вращения шпинделя  $n$  (об/мин); подача резца  $s$  (мм/об) (табл. 20).

Данные к задаче 7

Таблица 20

№ вари-ан-та	D	d	n, об/ми н	s, мм/об	№ вари-анта	D	d	n, об/ми н	s, мм/об
	мм					мм			
1	90	60	315	0,15	6	80	65	400	0,14
2	120	100	200	0,17	7	65	50	500	0,12
3	75	50	400	0,13	8	50	40	630	0,10
4	60	50	500	0,12	9	70	50	400	0,13
5	150	120	160	0,18	10	85	70	315	0,14



## Лабораторная работа № 8

### АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

Цель работы – ознакомиться с методикой расчетно-аналитического метода расчета припуска на механическую обработку детали.

Рассмотрим методику аналитического расчета припусков для механической обработки на конкретном примере.

Исходные данные. Заготовка, штампованная из хромоникелевой стали (рис. 12). Обработка производится в патроне на токарном станке мод. 1К62 резцами, оснащенными пластинками твердого сплава Т15К6. Для обточки на проход в условиях жесткой системы выбирается следующая геометрия инструмента:  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 10^\circ$ ,  $\gamma = 12^\circ$ ,  $\alpha = 8^\circ$ ,  $\lambda = 5^\circ$ ,  $r = 1$  мм.

1. Технологический процесс изготовления детали. Анализ рабочего чертежа детали позволяет назначить операцию токарной обработки в качестве необходимой (как наиболее оптимальную), которая обеспечит получение заданных требований по точности и качеству поверхности. При этом операция токарной обработки включает в себя следующие технологические переходы:

- черновое точение  $\varnothing 33_{-0,1}$  на длину 40 мм;
- чистовое точение  $\varnothing 33_{-0,1}$  на длину 40 мм;
- обработку фаски;
- однократное точение  $\varnothing 31_{-0,34}$  на длину 83 мм.

Rz80  
✓

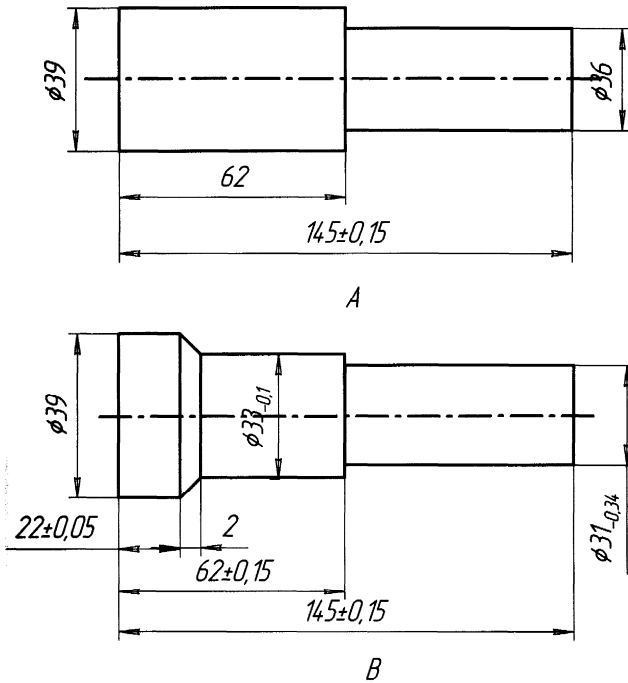


Рис. 12. Эскизы заготовки (А) и детали (В) [15]

2. Определение припусков на обработку. Припуски, а также предельные промежуточные размеры и исходные размеры заготовки удобно рассчитывать, заполняя специальную табл. 21.

Пользуясь рабочим чертежом детали и картой технологического процесса механической обработки, в графу 2 записывают элементарную поверхность детали и технологические переходы в порядке последовательности их выполнения.

Для выполнения расчета промежуточных припусков при обработке указанной шейки вала аналитическим методом необходимо собрать данные:  $R_{z_{i-1}}$ ,  $T_{i-1}$ ,  $\rho_{i-1}$ ,  $\varepsilon_i$  и  $\delta_i$ . Данные для заполнения граф 3 и 4 таблицы взяты из [7]. Допуск (графа 9) на диаметральный размер штамповки взят из [7], а численные значения допусков на промежуточные размеры установлены по данным [7].

Суммарное значение пространственных погрешностей (графа 5) определяют по формуле при обработке наружной поверхности в патроне [7]:

$$\rho_0 = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (30)$$

где  $\rho_{см}$  – допускаемые погрешности по смещению осей фигур, штампуемых в разных половинах штампа [7], тогда  $\rho_{см} = 800$  мкм;

$\rho_{кор}$  – общая кривизна заготовки, определяемая по формуле

$$\rho_{кор} = \Delta K \times L_3, \quad (31)$$

где  $\Delta K$  – удельная допускаемая кривизна [7],  $\Delta K = 10$  мкм/мм;

$L_3$  – длина заготовки, равная 145 мм.

$$\rho_{кор} = 10 \times 145 = 1450 \text{ мкм.}$$

Таким образом  $\rho_0 = 1656$  мкм.

Величину остаточной кривизны после выполнения перехода обработки следует определить по формуле

$$\rho_{ост} = K_y \times \rho_0, \quad (32)$$

где  $\rho_0$  – кривизна заготовки;

$K_y$  – коэффициент уточнения [7];

$K_y = 0,06$  - черновое точение,

$K_y = 0,05$  - чистовое точение.

$$\begin{aligned} \text{Тогда } \rho_1 &= 0,06 \times 1656 = 99,36 \text{ мкм,} \\ \rho_2 &= 0,05 \times 99,36 = 4,968 \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Таблица 21

Определение припусков на обработку

№ № п/п	Маршрут обработ- ки поверх- ности	Элементы припуска, мкм				Расчетный припуск $Z_{\text{min}}$ , мкм	Расчетный размер, мкм	Допуск по переходам $\delta$ , мкм	Предель- ные размеры, мм		Предель- ные припус- ки, мкм	
		$R_{z_{i-1}}$	$T_{i-1}$	$\rho_{i-1}$	$\varepsilon_{y_i}$				max	min	max	min
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1.  а) б)	Наруж- ная поверх- ность $\varnothing 33_{-0,1}$	16 0	20 0	165 6	- -	- -	37,3 56	120 0	38,6	37,4	-	-
	Точение черновое	50	50	99, 4	20 0	405 6	33,3	620	33,9 2	33,3 0	468 0	410 0
	Точение чистовое	25	25	5,0	12	400	32,9	100	33	32,9	920 560 0	400 450 0

Погрешность установки заготовок (графа б) в трехкулачковом патроне (самоцентрирующим) на переходе чернового обтачивания

$\varepsilon_{y1} = 200$  мкм [7], на переходе чистового обтачивания без переустановок определяется по формуле:

$$\varepsilon_{y2} = 0,06 \times \varepsilon_{y1} = 0,06 \times 200 = 12 \text{ мкм.}$$

Расчет минимального припуска (графа 7) при обработке наружной поверхности штамповки в патроне производится по формуле:

$$2Z_{i \min} = 2(R_{z, i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}). \quad (33)$$

Для первого перехода – черновое точение

$$2Z_{i \min} = 2(160 + 200 + \sqrt{1656^2 + 200^2}) = 4056 \text{ мкм.}$$

Для второго перехода – чистовое точение

$$2Z_{i \min} = 2(50 + 50 + \sqrt{99,4^2 + 12^2}) = 400 \text{ мкм.}$$

Расчет промежуточных минимальных (графа 8) диаметров по переходам проводится в порядке, обратном ходу технологического процесса обработки этой поверхности, т. е. от размера готовой детали к размеру заготовки, путем последовательного прибавления к наименьшему предельному размеру готовой поверхности детали минимального припуска  $2Z_{i \min}$ .

В графу 11 записываются размеры по всем технологическим переходам, округляя их увеличение до того же знака десятичной дроби, с каким задан допуск на размер для каждого перехода. Наибольшие предельные размеры (графа 10) определяются путем прибавления допуска к округленному минимальному предельному размеру.

Предельные размеры припусков  $Z_{i \max}$  (графа 12) определяются как разность предельных максимальных размеров и  $Z_{i \min}$  (графа 13) – как разность предельных минимальных размеров предшествующего и выполняемого переходов. Для определения общих припусков

$Z_{o \min}$  и  $Z_{o \max}$  суммируются соответствующие промежуточные припуски на обработку.

Правильность произведенных расчетов можно проверить по формуле:

$$Z_{o \max} - Z_{o \min} = \delta_{Дз} - \delta_{Дд},$$

где  $\delta_{Дз}$  – допуск на заготовку;

$\delta_{Дд}$  – допуск на готовую деталь.

В данном случае:  $5600 - 4500 = 1200 - 100$  или  $1100 = 1100$ .

Расчеты выполнены правильно.

## Лабораторная работа № 9

### АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Цель работы – ознакомление с методикой расчета режимов резания для токарной обработки

Рассмотрим на примере, условия для которого приведены в лабораторной работе № 8.

1. Черновое точение  $\varnothing 33_{-0,1}$ .

На данный переход производим аналитический расчет режима резания. Тогда:

а) глубина резания равна припуску, т.е.  $t = 2,34 \approx 2,5$  мм;

б) подача  $S = 0,5$  мм/об [8];

в) скорость резания [8]

$$V = \frac{C_v}{T^m \times t^{x_v} \times S^{y_v}} \times K_v = \frac{350}{60^{0.2} \times 2.5^{0.15} \times 0.5^{0.35}} \times 0.8 \approx 137$$

м/мин;

г) частота вращения шпинделя

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 137}{\pi \times 39} \approx 1119 \text{ об/мин}$$

После корректировки по паспорту станка назначаем:  
 $n_{\text{кор}} = 1000 \text{ об/мин}$ .

д) фактическая скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \times D \times n_{\text{кор}}}{1000} = \frac{\pi \times 39 \times 1000}{1000} = 122,5 \text{ м/мин}$$

2. Чистовое точение  $\varnothing 33_{-0,1}$ .

На переход определяем режимы резания по данным таблиц:

а) глубина резания  $t$  равна припуску, т. е.  $t = 0,46 \approx 0,5$  мм;

б) подача  $S = 0,3$  мм/об [8];  
 скорость резания (с учетом интерполяции)  $V = 203$  м/мин [8];

г) частота вращения шпинделя

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 203}{\pi \times 34} \approx 1901 \text{ об/мин}$$

После корректировки назначаем  $n_{\text{кор}} = 1600 \text{ об/мин}$ ;

д) фактическая скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \times D \times n_{\text{кор}}}{1000} = \frac{\pi \times 34 \times 1600}{1000} = 170,8 \text{ м/мин}$$

3. Обработка фаски

Режимы обработки назначаем такие же, как и на переходе чистового точения  $\varnothing 33_{-0,1}$

3.4. Однократное точение  $\varnothing 31_{-0,34}$

а) глубина резания  $t = 2,5$  мм;  
 б) подача  $S = 0,5$  мм/об [8];  
 в) скорость резания (с учетом интерполяции)  $V = 172$  м/мин [8];

г) частота вращения шпинделя

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D} = \frac{1000 \times 172}{\pi \times 31} = 1766 \text{ об/мин.}$$

После корректировки назначаем  $n_{\text{кор}} = 1600$  об/мин;

д) фактическая скорость резания

$$V_{\phi} = \frac{\pi \times D \times n_{\text{кор}}}{1000} = \frac{\pi \times 31 \times 1600}{1000} = 155,8 \text{ м/мин.}$$

## Лабораторная работа № 10

### ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ. ОПЕРАЦИОННЫЕ РАЗМЕРЫ И ИХ ДОПУСКИ

Цель работы – ознакомление с методикой назначения и расчета припуска опытно-статистическим методом.

При рассмотрении элементарной поверхности исходной заготовки и соответствующей ей поверхности готовой детали общий припуск на механическую обработку определяется сравнением их размеров: это — разность размеров соответствующей поверхности на исходной заготовке и готовой детали.

Припуск на механическую обработку удаляется обычно последовательно за несколько переходов и поэтому для поверхностей вращения и для плоских поверхностей

$$2\Pi_{\text{общ } d} = \Sigma 2\Pi_i; 2\Pi_{\text{общ } D} = \Sigma 2\Pi_i; \Pi_{\text{общ } h} = \Sigma \Pi_i, \quad (34)$$

где  $\Pi_i$ , — промежуточные припуски, выполняемые в течение  $i$ -го перехода, причем на каждом следующем переходе размер промежуточного припуска меньше, чем на предыдущем, а также с каждым последующим переходом увеличивается точность и уменьшается шероховатость обрабатываемой



поверхности;  $P_{\text{общ } d}$ ,  $P_{\text{общ } D}$  – общие припуски на механическую обработку (на сторону) наружной и внутренней поверхностей заготовки;  $P_{\text{общ } h}$  – общий припуск на сторону (торец, плоскость).

Важной и ответственной работой при проектировании технологических процессов механической обработки деталей является установление оптимального для данного перехода промежуточного припуска, после чего можно определить очень важные в технологии обработки детали параметры — промежуточные размеры заготовки, которые фигурируют в технологической документации, в зависимости от которых исполнители подбирают режущие и измерительные инструменты.

Промежуточные припуски на каждый переход можно установить двумя методами:

1) опытно-статистическим методом, пользуясь таблицами в технологических справочниках, ведомственных руководствах технологических материалах и других источниках. В этих источниках часто отсутствуют таблицы для определения операционных припусков на первый черновой переход. Операционный припуск на черновой переход определяют расчетом по формуле

$$P_1 = P_{\text{общ}} - (P_2 + P_3 + \dots + P_n), \quad (35)$$

где  $P_{\text{общ}}$  – общий припуск на механическую обработку, установленный при проектировании заготовки;

$P_1, P_2, \dots, P_n$  — промежуточные припуски соответственно на 1-й, 2-й, ..., n-й переходы;

2) расчетно-аналитическим методом по специальным формулам, с учетом многих факторов обработки. При расчете по этому методу операционные припуски получаются меньше, чем выбранные по таблицам, что позволяет экономить металл, снизить себестоимость обработки. Этот метод применяют при проектировании технологических процессов обработки деталей с большим годовым объемом выпуска. В технологической

документации и в практике обработки используют промежуточные номинальные размеры с допускаемыми отклонениями. Номинальные промежуточные размеры зависят от номинальных припусков, которые находят по формуле

$$П_{\text{ном } i} = П_{\text{min } i} + T_{i-1}, \quad (36)$$

где  $T_{i-1}$  - допуск на промежуточный размер на предыдущем переходе.

Выбор промежуточных припусков при обработке вала из проката и расчет промежуточных размеров

Пример 1. Ступенчатый вал длиной  $L_d = 480$  мм (рис. 13) изготавливается в условиях мелкосерийного производства из стального круглого горячекатаного проката обычной точности диаметром  $d_o = 100$  мм. Наибольшая по диаметру ступень вала  $\varnothing 90h10$  ( $90_{-0,35}$ ) с шероховатостью поверхности  $R_a 5$  ( $R_z 20$ ) обрабатывается двукратно: предварительным и окончательным точением.

Требуется, установить общий припуск на механическую обработку диаметрального размера; установить промежуточные припуски на оба перехода обработки статистическим методом, рассчитать промежуточный размер.

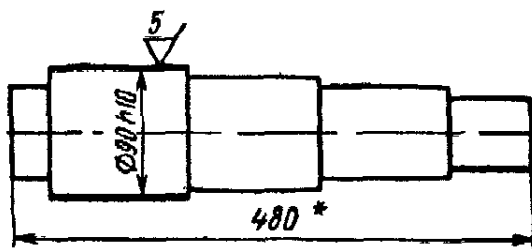


Рис. 13. Ступенчатый вал

Решение. 1. Определяем общий припуск на диаметр на механическую обработку

$$2\Pi_{\text{общ } d} = 100 - 90 = 10 \text{ мм.}$$

2. Промежуточный припуск на диаметр при чистовом точении вала равен  $2\Pi_2_{\text{табл}} = 1,2 \text{ мм.}$

Для мелкосерийного характера производства припуск увеличивается, для чего вводится коэффициент  $K = 1,3$ , т. е.  $2\Pi_{2 \text{ расч}} = 1,2 \cdot 1,3 = 1,56 \text{ мм} \approx 1,6 \text{ мм.}$

Так как указания относительно размера операционного припуска на диаметр при черновом точении в технологических справочниках отсутствуют, определяем его расчетом:

$$2\Pi_1 = 10 - 1,6 = 8,4 \text{ мм.}$$

Итак, исходный расчетный размер диаметра (наибольший предельный размер) равен  $d_{\text{исх}} = 90 \text{ мм}$ , операционный припуск на чистовое точение  $2\Pi_2 = 1,6 \text{ мм}$ . Диаметр заготовки после черного точения равен  $d_1 = d_{\text{исх}} + 2\Pi_2 = 91,6$ ; он же с допуском:  $d_1 = 91,6h12$ , или  $d_1 = 91,6_{-0,35}$ ; шероховатость поверхности  $R_a 20$ .

В технологической документации выполняются операционные эскизы на оба перехода (рис. 14, а, б).

Задача 1. Для изготовления ступенчатого вала (рис. 15) в качестве заготовки использован горячекатаный стальной круглый прокат обычной точности диаметром  $d_o$ . Наибольшая по диаметру ступень этого вала диаметром  $d_d$ , изготавливаемая с точностью по 11-му качеству и шероховатостью поверхности  $R_a 10$ , обрабатывается дважды предварительным и окончательным точением. Варианты задачи приведены в табл. 21.

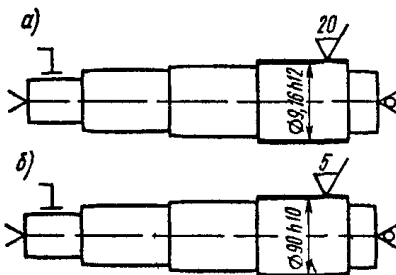


Рис. 14. Операционные эскизы

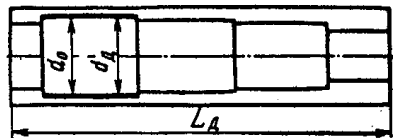


Рис. 15. Ступенчатый вал

Требуется: установить с помощью таблиц общий и промежуточный припуски; рассчитать промежуточный размер и выполнить операционные эскизы.

Варианты для задачи 1

Таблица 21

№ варианта	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
$d_d$ , мм	75h1 1	85a1 1	65b1 1	95a1 1	60d1 1	95d1 1	70a1 1	90h1 1	80d1 1	55h1 1
$d_o$ , мм	80	95	70	105	65	100	75	95	90	60
$L_d$ , мм	430	460	320	450	325	400	400	420	450	300

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии в краткой форме изложен материал, соответствующий рекомендациям государственного образовательного стандарта по дисциплине «Методы обеспечения точности» по направлениям 15.03.01 «Машиностроение», направленность «Технологии, оборудование, автоматизация машиностроительных производств», 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», направленность «Металлообрабатывающие станки и комплексы» и учебной программе по этой же дисциплине.

Представлены основные сведения по точности и качеству изделий машиностроительного производства. В лабораторно-практической части приведены примеры расчетов припусков на механическую обработку, аналитическим методом режимов резания. Представлены сведения по выбору инструментальных материалов для токарных резцов.

Учитывая, что в последнее десятилетие практически отсутствовал выпуск учебной литературы по заданному направлению, в учебном пособии в сжатой форме приводится материал, необходимый для подготовки специалистов по данной дисциплине.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица значений  $Z_t = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$

t	Сотые доли t									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,3989	3989	3989	3988	3986	3984	3982	3980	3977	3973
0,1	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0,2	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3856	3847	3836	3825
0,3	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3726	3712	3696
0,4	3683	3668	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0,5	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3352
0,6	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3189	3166	3144
0,7	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943	2920
0,8	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2755	2732	2709	2685
0,9	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1,0	0,2420	2396	2372	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1,1	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965
1,2	1942	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1781	1758	1736
1,3	1714	1691	1669	1647	1624	1604	1582	1561	1539	1518
1,4	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315
1,5	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1,6	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	0989	0973	0957
1,7	0941	0925	0909	0893	0878	0863	0848	0833	0818	0804
1,8	0789	0775	0761	0748	0734	0721	0707	0694	0681	0669
1,9	0656	0644	0632	0620	0608	0596	0584	0573	0562	0551
2,0	0,0540	0529	0519	0508	0498	0488	0478	0468	0459	0449
2,1	0440	0431	0422	0413	0404	0396	0387	0379	0371	0363
2,2	0355	0347	0339	0332	0325	0317	0310	0303	0297	0290
2,3	0283	0277	0270	0264	0258	0252	0246	0241	0235	0229
2,4	0224	0219	0213	0208	0203	0198	0194	0189	0184	0180

## Продолжение прил. 1

2,5	0175	0171	0167	0163	0158	0154	0151	0147	0143	0139
2,6	0136	0132	0129	0126	0122	0119	0116	0113	0110	0107
2,7	0104	0101	0099	0096	0093	0091	0088	0086	0084	0081
2,8	0079	0077	0075	0073	0071	0069	0067	0065	0063	0061
2,9	0060	0058	0056	0055	0053	0051	0050	0048	0047	0046
3,0	0,0044	0043	0042	0040	0039	0038	0037	0036	0035	0034
3,1	0033	0032	0031	0030	0029	0028	0027	0026	0025	0025
3,2	0024	0023	0022	0022	0021	0020	0020	0019	0018	0018
3,3	0017	0017	0016	0016	0015	0015	0014	0014	0013	0013
3,4	0012	0012	0012	0011	0011	0010	0010	0010	0009	0009
3,5	0009	0008	0008	0008	0008	0007	0007	0007	0007	0006

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Нормированная функция Лапласа  $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$

t	Сотые доли t									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0000	0040	0080	0120	0160	0199	0239	0279	0319	0359
0,1	0398	0438	0478	0517	0557	0596	0636	0675	0714	0753
0,2	0793	0832	0871	0910	0948	6987	1026	1064	1103	1141
0,3	1179	1217	1255	1293	1331	1368	1406	1443	1480	1517
0,4	1554	1591	1628	1664	1700	1736	1772	1808	1844	1879
0,5	1915	1950	1985	2019	2054	2088	2123	2157	2190	2224
0,6	2257	2291	2324	2357	2389	2422	2454	2486	2517	2549
0,7	2580	2611	2642	2673	2703	2734	2764	2794	2823	2852
0,8	2881	2910	2939	2967	2995	3023	3051	3078	3106	3133
0,9	3159	3186	3212	3238	3264	3289	3315	3340	3365	3389
1,0	3413	3437	3461	3485	3508	3531	3554	3577	3599	3621
1,1	3643	3665	3686	3708	3729	3749	3770	3790	3810	3830
1,2	3849	3869	3888	3907	3925	3944	3962	3980	3997	4015
1,3	4032	4049	4066	4082	4099	4115	4131	4147	4162	4177
1,4	4192	4207	4222	4236	4251	4265	4279	4292	4306	4319
1,5	4332	4345	4357	4370	4382	4394	4406	4418	4429	4441
1,6	4452	4463	4474	4484	4495	4505	4515	4525	4535	4545
1,7	4554	4564	4573	4582	4591	4599	4608	4616	4625	4633
1,8	4641	4649	4656	4664	4671	4678	4686	4693	4699	4706
1,9	4713	4719	4726	4732	4738	4744	4750	4756	4761	4767
2,0	4772	4778	4783	4788	4793	4798	4803	4808	4812	4817



## Продолжение прил.2

2,1	4821	4826	4830	4834	4838	4842	4846	4850	4854	4857
2,2	4861	4864	4868	4871	4874	4878	4881	4884	4887	4890
2,3	4893	4896	4898	4901	4904	4906	4909	4911	4913	4916
2,4	4918	4920	4922	4925	4927	4929	4930	4932	4934	4936
2,5	4938	4940	4941	4943	4945	4946	4948	4949	4951	4952
2,6	4953	4955	4956	4957	4959	4960	4961	4962	4963	4964
2,7	4965	4966	4967	4968	4969	4970	4971	4972	4973	4974
2,8	4974	4975	4976	4977	4977	4978	4979	4979	4980	4981
2,9	4981	4982	4982	4983	4984	4984	4985	4985	4986	4986

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маталин, А. А. Технология машиностроения [Текст]: учебник / А.А. Маталин. Л.: Машиностроение, 1985.- 512 с.
2. Корсаков, В. С. Основы технологии машиностроения [Текст]: учебник / В.С. Корсаков. М.: Высшая школа, 1974. – 336 с.
3. Колев, К. С. Технология машиностроения [Текст]: учебник / К.С. Колев. М. Высшая школа, 1977. – 255 с.
4. Гаврилов, А. М. Основы технологии приборостроения [Текст]: учебник / А.М. Гаврилов. М.: Высшая школа, 1976. – 328 с.
5. Ковшов, А. Н. Технология машиностроения [Текст]: учебник / А.Н. Ковшов. М.: Машиностроение, 1987. – 319 с.
6. Кузнецов, Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. [Текст] / Ю.И. Кузнецов, А.Р. Маслов, А.Н. Байков – 2-е изд. – М.: Машиностроение. 1990. – 512 с.
7. Справочник технолога – машиностроителя. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. т. 1 М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
8. Справочник технолога – машиностроителя. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. т. 2 М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.
9. Бабук, В. В. Лабораторный практикум по технологии машиностроения [Текст] / учеб. пособие для машиностр. вузов В.В. Бабук, И.Л. Баршай, В.А. Шкред и др. под ред. В.В. Бабука. / Минск.: Вышэйск шк., 1983. 220 с.
10. Солонин, И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения [Текст]: учебник / М.: Машиностроение, 1972. 215 с.
11. Гельфгат, Ю. И. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения [Текст]: учеб. пособие для машиностр. спец. техникумов / Ю.И. Гельфгат – 2-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 1986. 271 с.

12. Колесов, И. М. Основы технологии машиностроения [Текст]: учеб. для машиностр. спец. вузов / И.М. Колесов - 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 1999. 591 с.
13. Данилевский, В. В. Справочник молодого машиностроителя [Текст] / В.В. Данилевский 3-е изд. - М.: Машиностроение, 1973.
14. Косилова, А. Г. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении. Справочник технолога [Текст] / А.Г. Косилова, Р.К. Мещеряков, М.А. Калинин. - М.: Машиностроение, 1976. 288 с.
15. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: учеб. пособие для техникумов по предмету "Основы учения о резании металлов и режущий инструмент" [Текст] / Н.А. Нефедов, К.А. Осипов. - 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. 400 с.
16. Монахов, Г. А. Обработка металлов резанием. Справочник технолога [Текст] / Г. А. Монахов, В. Ф. Жданович, Э. М. Радинский и др.; под ред. Г. А. Монахова - М.: Машиностроение, 1974. 600 с.
17. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках [Текст] / 2-е изд. Ч 1. - М.: Машиностроение, 1974. 416 с.
18. Допуски и посадки [Текст]: Справочник. В 2 ч. Ч. 1. / М. А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский – Л.: Политехника, 1991. 576 с.
19. Брахман, Л. А. Режимы резания металлов. Справочник. [Текст] / Л. А. Брахман, Ц. З. Бродский, Л. А. Быков и др; под ред. Ю. В. Барановского - 3-е изд., - М.: Машиностроение, 1972. 407 с.
20. Справочник металлиста. В 5-и т. Т. 3. / Под ред. А. Н. Малова / Е. Д. Баклунов, А. К. Белопухов, М. И. Жебин и др. - М.: Машиностроение, 1977. 748 с.
21. Справочник металлиста. В 5-и т. Т. 5. / Под ред. Б. Л. Богуславского В. П. Бобров, Б. Л. Богуславский, Д. Е. Гиндин, и др. - М.: Машиностроение, 1978. 673 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	4
1.1. Точность обработки.....	4
1.1.1. Факторы, определяющие точность обработки.....	4
1.1.2. Факторы, влияющие на точность обработки..	5
1.1.3. Методы исследования точности.....	6
1.1.4. Методы обеспечения заданной точности.....	8
1.2. Качество поверхности.....	9
1.2.1. Основные понятия и определения.....	9
1.2.2. Параметры оценки и измерение шероховатости поверхности.....	10
1.2.3. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин.....	12
1.2.4. Нормирование шероховатости на типовые поверхности деталей машин.....	13
1.3. Технологичность конструкций деталей машин.....	18
1.3.1. Базирование детали.....	23
1.3.1. Понятие о базах, их классификация и назначение.....	23
1.3.2. Основные схемы базирования по опорным базам.....	25
2. ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	29
Лабораторная работа № 1. Статистический метод исследования точности обработки.....	29
Лабораторная работа № 2. Исследование взаимосвязи размерной точности смежных операций технологического процесса.....	38
Лабораторная работа № 3. Определение точности настройки токарного станка на заданный уровень.....	50
Лабораторная работа № 4. Базы и принципы базирования.....	58
Лабораторная работа № 5. Оценка технологичности конструкции изделия.....	65

Лабораторная работа № 6. Выбор инструментальных материалов для токарных резцов.....	71
Лабораторная работа № 7. Определение элементов режимов резания и основного времени.....	74
Лабораторная работа № 8. Аналитический расчет припусков на механическую обработку.....	81
Лабораторная работа № 9. Аналитический расчет режимов резания.....	86
Лабораторная работа № 10. Припуски на механическую обработку. Операционные размеры и их допуски.....	88
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	93
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	94
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	96
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	98

**Учебное издание**

**Симонова** Юлия Эдуардовна  
**Краснова** Марина Николаевна

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ТОЧНОСТИ»**

Компьютерная верстка Ю.Э. Симоновой

Подписано к изданию 11.05.2018.  
Объем данных 824 Кб

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический  
университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14