

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
"Воронежский государственный технический университет"**

**Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению лабораторных и практических работ
по дисциплине «Технологические основы обеспечения
качества изделий в машиностроении»
для студентов направления подготовки бакалавров
15.03.01 «Машиностроение»
(профиль «Технологии, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств»)
всех форм обучения**



Воронеж 2021

УДК 621.01 (07)
ББК 34.5 я7

Составители:

д-р техн. наук, проф. С. Ю. Жачкин,
канд. техн. наук, доц. М. Н. Краснова

Методические указания к выполнению лабораторных и практических работ по дисциплине «Технологические основы обеспечения качества изделий в машиностроении» для студентов направления подготовки бакалавров 15.03.01 «Машиностроение» (профиль «Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. М. Н. Краснова, С. Ю. Жачкин. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. 40 с.

В методических указаниях изложены общие вопросы по выполнению лабораторных и практических работ, сформулированы задания и представлен теоретический материал.

Выполнение лабораторных и практических работ дает студентам возможность получения навыков при решении типовых инженерных задач с использованием мерительных инструментов, государственных стандартов, учебной и справочной литературы.

Предназначены для студентов направления 15.03.01 «Машиностроение» всех форм обучения.

Подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ.ТООКИ ЛР и ПР.pdf.

Ил. 4. Табл. 3. Библиогр.: 6 назв.

УДК 621.01 (07)
ББК 34.5 я7

Рецензент - С. Н. Яценко, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ

Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета

ВВЕДЕНИЕ

Технологическое обеспечение качества изделий в автоматизированном машиностроительном производстве обеспечивается, во-первых, путем современного представления информации о параметрах заготовок, инструмента и другого технического оснащения, а во-вторых, реализуется в системе функциональной поддержки работоспособного состояния всех систем технологического оснащения и контроля.

В составе систем автоматизации информационных потоков и управления оборудованием одно из главных мест занимает система контроля качества технологического процесса, обеспечивающая выход с каждого производственного модуля годной продукции. Сюда же относятся системы диагностирования режущего инструмента, исполнительных механизмов и сложных электронных систем в режиме оперативного и профилактического контроля. Для решения многовариантных технологических задач случайного характера и системы проверки правильности принятия решения плодотворными оказываются методы имитационного моделирования технологических процессов.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Методическое указание разработано для проведения четырех лабораторных и двенадцати практических работ, связанных с изучением технологических путей достижения заданных параметров качества по точности и взаимозаменяемости, по надежности и технологичности деталей, технических измерений и особенностями их практического применения для выбора режимов резания и характеристик режущих инструментов.

Цель работ: закрепление теоретических знаний и приобретение практических навыков в подборе оптимальных методов измерения и измерительных средств заданных деталей, проведение измерений в реальных условиях и выборе маршрутно-операционного технологического процесса для обеспечения качества исследуемого изделия.

Время выполнения одной лабораторной работы - 4 часа, практической работы – 2 часа.

Не позднее, чем за две недели до проведения лабораторной работы студент должен знать номер той работы, которую он должен выполнять на следующем занятии. За это время студент знакомится с описанием лабораторной работы, изучает теоретические вопросы, продумывает возможные варианты выполнения работы.

Отчет по лабораторным работам оформляется в отдельной тетради. Он проводится в виде защиты. Студент отчитывается в присутствии всей подгруппы. Каждый присутствующий может задавать вопросы и высказывать свое мнение по поводу выполненной работы.

1.1. Качество поверхности

Взаимодействие деталей при внешнем трении и их изнашивание зависит от качества их поверхностей.

Под качеством поверхности понимают совокупность геометрических и физико-механических характеристик поверхностных слоев, определяющих состояние поверхности.

Физико-механические свойства поверхности определяются наклепом и внутренними или остаточными напряжениями.

Наклеп поверхностного слоя характеризуется критериями качественной оценки пластической деформации: степенью наклепа и глубиной наклепного слоя. Степени наклепа представляют собой отношения поверхностной твердости (микротвердости) к твердости исходного материала. Поверхностная твердость в результате наклепа, в том числе

при механической обработке, может повышаться более чем в 2 раза. Глубина наклепного слоя может изменяться от нескольких микрометров до 1 мм и выше. Микротвердость поверхности, определяющая степень наклепа, измеряется царапанием или вдавливанием алмазной пирамиды при небольших нагрузках. В исследовательской практике для этой цели используются микротвердомер ПМТ-3.

Остаточные напряжения подразделяются на остаточные напряжения растяжения и сжатия. Кроме этого, остаточные напряжения бывают первого, второго и третьего родов. Наибольшее влияние на изменение формы детали оказывает остаточное напряжение первого рода, которое при изменении состояния детали (например, увеличении температуры) могут привести к существенной деформации детали. Остаточные напряжения первого рода определяются методом травления образцов, вырезанных из исследуемого участка. Скорость изгиба образца характеризует величину напряжения.

Эксплуатационные свойства деталей машин и долговечность их работы в значительной степени зависят от геометрического 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 совокупность 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.

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 Ra или Rz , 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 (табл. 1) 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 ощупывании рукой (пальцем, ладонью, ногтем) и сопоставления результатов наблюдений под микроскопом.

В таблице 2 приведены обобщенные данные шероховатости поверхности, достигаемые различными методами механической обработки.

Таблица 2

**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							+	+	+									
Внутренние цилиндрические	Сверление			+	+	+													
	Зенкерование	Черновое (по корке)			+	+	+												
		Чистовое				+	+	+	+										
	Развертывание	Нормальное								+	+								
		Точное									+	+							
		Тонкое										+	+						
Протягивание							+	+	+	+									
Внутреннее шлифование	Предварительное								+	+									
	Чистовое									+	+	+							

1.2. Влияние шероховатости, волнистости, отклонений формы и расположения поверхностей деталей на качество изделий в автоматизированном машиностроительном производстве

Шероховатость, волнистость, отклонения формы и расположение поверхностей деталей, возникающие при изготовлении, а также в процессе работы машины под влиянием силовых и температурных деформаций и вибрации, уменьшают контактную жесткость стыковых поверхностей деталей и изменяют установленный при сборке начальный характер посадок.

В подвижных посадках, когда трущиеся поверхности деталей разделены слоем смазочного материала и непосредственно не контактируют, указанные погрешности приводят к неравномерности зазора в продольных и поперечных сечениях, что нарушает ламинарное течение смазочного материала, повышает температуру и снижает несущую способность масляного слоя. При пуске, торможении, уменьшении скоростей, перегрузках машин условия для трения со смазочным материалом не могут быть созданы, так как масляный слой не полностью разделяет трущиеся поверхности. В этом случае из-за отклонений формы, расположения и шероховатости поверхности контакт сопрягаемых поверхностей деталей машин происходит по наибольшим вершинам неровностей поверхностей.

При таком характере контакта давление на вершинах неровностей часто превышает допустимые напряжения, вызывая вначале упругую, а затем пластическую деформацию неровностей. Возможно отделение вершин некоторых неровностей из-за повторной деформации, вызывающей усталость материала или выравнивание частиц материала с одной из трущихся поверхностей при «схватывании» (сцеплении) неровностей при их совместной пластической деформации под действием больших контактных напряжений.

Происходит также сглаживание отдельных соприкасающихся участков трущихся пар. Вследствие этого в начальный период работы подвижных соединений (участки OA_1 и OA_2 на кривых, рис. 1, а) происходит интенсивное изнашивание деталей (процесс приработки), что увеличивает зазор между сопряженными поверхностями.

В процессе приработки размеры и даже форма неровностей поверхности изменяются, при этом возникает определенная, в сторону движения детали, направленность неровностей.

Получающуюся после приработки (при трении скольжения или качения с проскальзыванием) шероховатость, обеспечивающую минимальный износ и сохраняющуюся в процессе длительной эксплуатации машин (участки A_1B_1 и A_2B_2), называют оптимальной. Оптимальная шероховатость характеризуется высотой, шагом и формой неровностей (радиусом вершин, углом наклона неровностей в направлении движения и др.). Параметры оптимальной шероховатости зависят от качества смазочного материала и других условий работы трущихся деталей, их конструкции и материала; Изменение начальной шероховатости можно проследить на примере испытаний компрессора. Перед испытаниями шероховатость наружной поверхности поршня соответствовала $Ra = 0,7 \dots 1$ мкм, а зеркала цилиндра $Ra = 0,2 \dots 0,3$ мкм. При работе компрессора применяли масло высокого качества, без твердых включений и загрязнений. После окончания испытаний (через 1000 ч) шероховатость поршня не изменилась, а шероховатость зеркала цилиндра соответствовала $Ra = 0,7 \dots 1,2$ мкм.

Процесс приработки зависит от размеров начальных неровностей трущихся поверхностей, свойств материала деталей, режима и условий работы механизма. Чем больше начальная шероховатость отличается от оптимальной, тем больше износ деталей (рис. 1, б), поэтому параметры шероховатости необходимо знать заранее и получать их при

механической обработке или приработке деталей на станках.

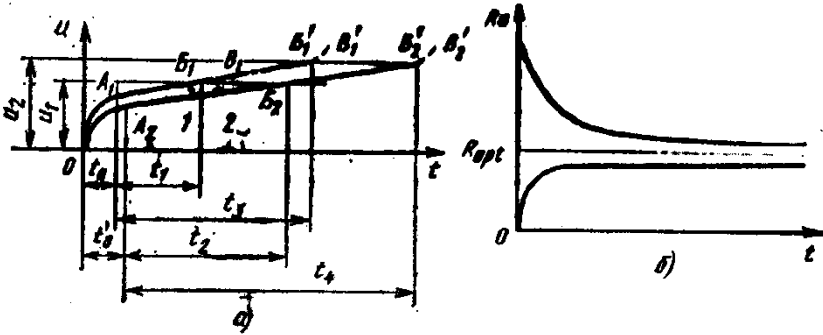


Рис. 1. Кривые, характеризующие износ вращающихся деталей: *а* - при разной износостойкости (1 - пониженной; 2 - повышенной); *б* - при разной начальной шероховатости

Средства контроля шероховатости поверхности.

Оценка шероховатости поверхности производится с использованием бесконтактных и контактных средств измерений.

Наиболее распространенным способом оценки качества обработанных поверхностей является сравнение этих поверхностей с поверхностями рабочих образцов.

Рабочие образцы шероховатости поверхности стандартизованы и выпускаются с шероховатостью разной величины, полученной точением, фрезерованием, строганием, шлифованием, растачиванием, развертыванием, протягиванием, полированием и доводкой.

Образцы по видам обработки комплектуются в оправках, а по применяемому материалу наборы помещаются в футляры.

Для определения величины шероховатости в микрометрах применяют различные микроскопы (интерференционный, двойной) и контактные щуповые

приборы, для более точной оценки шероховатости – микроскопы сравнения.

Микроскопы сравнения устроены таким образом, что в окуляре визуального тубуса изображения поверхностей проверяемой детали и образца оказываются рядом, при соответствующем увеличении изображения определяется шероховатость поверхности обработанной детали.

В приборах, работающих по принципу интерференции света (МИИ-4, МИИ-5, МИИ-11), пучок световых лучей от источника разделяется и направляется различными путями к контролируемой поверхности. Отражаясь от нее, пучки света соединяются вновь, и, накладываясь друг на друга, создают интерференционные полосы, наблюдаемые в окуляре прибора. Если контролируемая поверхность ровная, то интерференционная картина будет представлять собой параллельные прямые линии, находящиеся на расстоянии друг от друга, равном половине длины световой волны (для белого света $\lambda/2 = 0,27 \text{ мкм}$).

При наличии микронеровностей на поверхности линии искривляются, образуя гребни (рис. 2). С помощью окулярного микрометра прибора измеряют величину искривления интерференционной полосы "а" и расстояние между полосами "б".

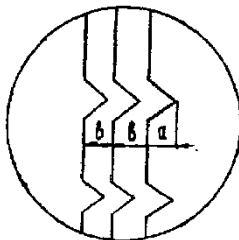


Рис. 2. Схема искажений интерференционных линий на неровностях поверхности детали

Затем проводят расчет значений величин микронеровностей по формуле:

$$R = \frac{a}{b} \cdot \frac{\lambda}{2},$$

где λ - длина световой волны для данного прибора.

К приборам, используемых для определения высоты неровностей по принципу светового сечения, относится двойной микроскоп МИС-11. Он состоит из двух тубусов, расположенных под углом 90° друг к другу, и наклоненных к контролируемой поверхности под углом 45° . Луч света из осветительного тубуса падает на проверяемую поверхность. Полученное световое сечение рассматривается в окуляр визуального тубуса. Наблюдатель видит увеличенное изображение неровностей и отсчитывает высоту их при помощи шкалы, имеющееся в окулярном микрометре.

Для того, чтобы выразить высоту неровностей в микрометрах, проводится определение цены деления шкалы барабана окулярного микрометра при помощи объект-микрометра, который представляет собой стеклянную пластинку с нанесенной на ней шкалой с ценой деления 0,01 мм.

К контактно-щуповым приборам относятся профилометры и профилографы. Профилометры предназначены для непосредственного показа параметров шероховатости поверхности, а профилографы - для записи профиля поверхности в виде профилограммы. Щуповые приборы основаны на перемещении алмазной иглы с радиусом кривизны 2,5 - 12,5 мкм по определенной трассе относительно контролируемой поверхности. Ось иглы располагают по нормали к поверхности. Опускаясь во впадины, а затем, поднимаясь на выступы во время движения ощупывающей головки относительно контролируемой поверхности, игла начинает колебаться относительно головки, повторяя по величине и форме огибаемый профиль поверхности. Механические колебания иглы преобразуются в подобные им

электрические при помощи электромеханического преобразователя того или иного типа. Снятый с преобразователя полезный сигнал усиливают, а затем измеряют его параметры, подобные параметрам неровностей исследуемой поверхности (профилометрирование), или записывают профиль поверхности в выбранных вертикальном и горизонтальном масштабах (профилографирование).

Измерение с помощью контактно-щуповых приборов выполняется следующим образом. Деталь устанавливается на столике прибора и ориентируется так, чтобы угол наклона исследуемой поверхности к линии движения измерительного преобразователя был незначительным. Для этого осуществляют пробные проходы измерительного преобразователя с оценкой результата по шкале прибора без включения записывающего устройства. Базовую длину выбирают в соответствии с назначенными параметрами шероховатости, если ее значение не нормировано. После установки детали на столике прибора и выбора базовой длины, измеряют параметры шероховатости и записывают профилограммы. Измерения повторяют на ряде участков, чтобы получить достаточное представление о контролируемой поверхности. Число и расположение трасс измерений выбирают в зависимости от конфигурации и размеров поверхности, а также от разброса получаемых результатов измерений. Направление измерений, если оно не оговорено, должно обеспечивать выявление максимальных значений параметров шероховатости поверхности. Если на поверхности детали есть явно выраженные регулярные следы обработки, трасса измерений должна быть направлена перпендикулярно к ним. наклона исследуемой поверхности к линии движения измерительного преобразователя был незначительным. Для этого осуществляют пробные проходы измерительного преобразователя с оценкой результата по шкале прибора без включения записывающего устройства. Базовую длину выбирают в соответствии с назначенными параметрами

шероховатости, если ее значение не нормировано. После установки детали на столике прибора и выбора базовой длины, измеряют параметры шероховатости и записывают профилограммы. Измерения повторяют на ряде участков, чтобы получить достаточное представление о контролируемой поверхности. Число и расположение трасс измерений выбирают в зависимости от конфигурации и размеров поверхности, а также от разброса получаемых результатов измерений. Направление измерений, если оно не оговорено, должно обеспечивать выявление максимальных значений параметров шероховатости поверхности. Если на поверхности детали есть явно выраженные регулярные следы обработки, трасса измерений должна быть направлена перпендикулярно к ним.

1.3. Универсальные средства измерений

Основные параметры средств измерений. Длина деления шкалы (рис. 3) – расстояние между осями (центрами) двух соседних отметок шкал, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы. Цена деления шкалы – разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкал (1 мкм для оптиметра, длиномера и т.п.).

Градуированная характеристика — зависимость между значениями величин, на выходе и входе средства измерений. Градуировочную характеристику снимают для уточнения результатов измерений.

Диапазон показаний — область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы, т. е. наибольшим и наименьшим значениями измеряемой величины. Например, для оптиметра типа ИКВ-3 диапазон показаний составляет $\pm 0,1$ мм.

Диапазон измерений — область значений измеряемой величины с нормированными допускаемыми погрешностями средства измерений.

Отсчет показаний измерительного средства выполняют в соответствии с уравнением:

$$A = M + \sum_{k=1}^p n_k i_k + m_p i_p, \quad (1)$$

где A — значение отсчета;

M — размер меры, по которому отсчетное устройство установлено на ноль;

n — число целых делений, отсчитываемое по шкалам отсчетного устройства;

i — цена деления шкалы;

k — номер шкалы,

m — доля деления шкалы с наименьшей ценой деления, оцененная визуально.

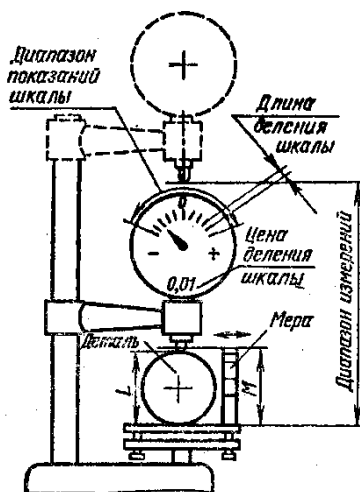


Рис. 3. Схема, поясняющая основные параметры средств измерений

Влияющая физическая величина — физическая величина, не измеряемая данным средством, но оказывающая влияние на результаты измеряемой величины (например, температура,

оказывающая влияние на результат измерения линейного размера).

Нормальные (рабочие) условия применения средств измерений — условия их применения, при которых влияющие величины имеют нормальные значения или находятся в пределах нормальной (рабочей) области значений.

Чувствительность измерительного прибора - отношение изменения сигнала на выходе измерительного приборам вызывающему его изменению измеряемой величины. Так, если при измерении диаметра вала с номинальным размером $\chi = 100$ мм изменение измеряемой величины $\Delta\chi = 0,01$ мм вызвало перемещение стрелки показывающего устройства на $\Delta l = 10$ мм, абсолютная чувствительность прибора составляет $S = \Delta l / \Delta\chi; = 10/0,01 = 1000$, относительная чувствительность

$$S_0 = \Delta l (\Delta\chi / \chi) = 10 (0,01/100) = 10\ 000. \quad (2)$$

Для шкальных измерительных приборов абсолютная чувствительность численно равна передаточному отношению. С изменением цены деления шкалы чувствительность прибора остается неизменной. На разных участках шкалы часто чувствительность может быть различной. Стабильность средства измерений — свойство, выражающее неизменность во времени его метрологических характеристик (показаний).

Измерительные приборы бывают контактные (существует механический контакт с поверхностью контролируемого изделия) и бесконтактные (непосредственного соприкосновения измерительного наконечника с поверхностью контролируемого изделия нет). К последним, например, относятся оптические, радиоизотопные, индуктивные. Важной характеристикой контактных приборов является измерительное усилие, создаваемое в месте контакта измерительного наконечника с поверхностью контролируемого изделия и направленное по линии измерения.

В соответствии с техническим регламентом

геометрический объект контроля содержит одну или несколько контрольных точек. Введем дополнительные термины, необходимые для оценки результатов контроля (измерений). Зона контроля (измерения) — область взаимодействия средства контроля (измерения) с объектом контроля (измерения). Контролируемая (измеряемая) поверхность — поверхность объекта контроля (измерения), на которой расположена одна или несколько контрольных точек. Линия контроля (измерения) — прямая, проходящая через контролируемый (измеряемый) размер. Плоскость контроля (измерения) — плоскость, проходящая через линию контроля (измерения) и выбранную линию расположения контрольных точек.

В технических регламентах выделены следующие общие для средств измерений структурные элементы: преобразовательный и чувствительный элементы, измерительная цепь, измерительный механизм, отсчетное устройство со шкалой и указателем и регистрирующее устройство. Кроме того, контактные измерительные приборы обычно снабжены одним или несколькими наконечниками. Измерительный наконечник — элемент в измерительной цепи, находящийся в контакте с объектом контроля (измерения) в контрольной точке под непосредственным воздействием измеряемой величины. Базовый наконечник — элемент измерительной цепи, расположенный в плоскости измерения и служащий для определения длины линии измерения. Опорный наконечник — элемент, определяющий положение линии измерения в плоскости измерения. Координирующий наконечник - элемент, служащий для определения положения плоскости измерения на объекте контроля (измерения).

1.4. Критерии оценки погрешностей измерений

Погрешности измерения. Под погрешностью измерения подразумевают отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Точность измерений —

качество измерения, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Количественно точность измерения может быть выражена обратной величиной модуля относительной погрешности. Абсолютная погрешность измерения — разность между значением величины, полученным при измерении, и ее истинным значением, выражаемая в единицах измеряемой величины. Относительная погрешность измерения — отношение абсолютной погрешности, измерения к истинному значению измеряемой величины. Систематическая погрешность измерения — составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или изменяющаяся по определенному закону при повторных измерениях одной и той же величины; случайная погрешность — составляющая погрешности измерения, изменяющаяся при этих условиях случайным образом. Следует выделять также грубую погрешность измерения, существенно превышающую ожидаемую погрешность.

В зависимости от последовательности причины возникновения различают следующие виды погрешностей. Инструментальная погрешность — составляющая погрешности измерения, зависящая от погрешностей применяемых средств (качества их изготовления). Погрешность метода измерения — составляющая погрешности измерения, вызванная несовершенством метода измерений. Погрешность настройки — составляющая погрешности измерения, возникающая из-за несовершенства осуществления процесса настройки. Погрешность отсчитывания — составляющая погрешности измерения, вызванная недостаточно точным отсчитыванием показаний средств измерений (например, погрешность параллакса). Погрешность поверки — погрешность измерений при поверке средств измерений. Таким образом, в зависимости от способа выявления следует различать поэлементные (составляющие) и суммарные погрешности измерения.

Результат наблюдения — значение величины, полученное при отдельном наблюдении; результат измерения — значение величины, найденное путем ее измерения, т. е. после обработки результатов наблюдения.

Поправка — значение величины, одноименной с измеряемой, прибавляемое к полученному при измерении значению величины с целью исключения систематической погрешности. Сходимость — качество измерений, отражающих близость результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях, воспроизводимость — то же, в различных условиях (в разное время, в различных местах, различными методами и средствами). Точность отражает близость к нулю случайных и систематических погрешностей средства измерения, правильность — систематических, сходимость — случайных. Для средств измерения различают статическую погрешность как отклонение постоянного значения измеряемой величины на выходе средства измерения от истинного ее значения в установившемся состоянии и динамическую погрешность как разность между погрешностью средства измерения в динамическом режиме (в неустановившемся состоянии) и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени.

Погрешность средства измерения, возникающая при использовании его в нормальных условиях, когда влияющие величины находятся в пределах нормальной области значений, называют основной. Если значение влияющей величины выходит за пределы нормальной области значений, появляется дополнительная погрешность.

Обобщенной характеристикой средства измерений, определяемой пределами основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерения, является класс точности средства измерений. Класс точности характеризует свойства

средства измерения, но не является показателем точности выполненных измерений, поскольку при определении погрешности измерения необходимо учитывать погрешности метода, настройки и др. на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерения, является класс точности средства измерений. Класс точности характеризует свойства средства измерения, но не является показателем точности выполненных измерений, поскольку при определении погрешности измерения необходимо учитывать погрешности метода, настройки и др.

1.5. Этапы проектирования технологических процессов

Процесс проектирования состоит из комплекса взаимосвязанных и выполняемых в определенной последовательности этапов. К ним относятся:

1. Получение исходных данных.
2. Определение типа производства и формы организации работ.
3. Технологический контроль чертежа.
4. Выбор метода получения заготовки и определение предъявляемых к ней требований.
5. Выбор установочных баз.
6. Выбор маршрута обработки элементарных плоскостей.
7. Расчет припусков. Определение вида заготовки и ее размеров.
8. Разработка операционной технологии.
9. Выбор оборудования, приспособлений, режущего и мерительного инструментов.
10. Расчет режимов резания.
11. Техническое нормирование.
12. Заполнение технологической документации.

1.6. Составление маршрута обработки детали

Составление маршрута представляет сложную задачу с большим количеством возможных вариантов решения. Его цель - дать общий план обработки детали, наметить содержание операций технологического процесса и выбрать тип оборудования.

Для решения этой задачи могут быть даны следующие методические указания. При установлении общей последовательности обработки сначала обрабатывают поверхности, принятые за установочные базы. Затем обрабатывают остальные поверхности в последовательности, обратной степени их точности; чем точнее должна быть обработана поверхность, тем позже она обрабатывается. Заканчивается обработка той поверхностью, которая является наиболее точной и имеет наибольшее значение для детали. В конце маршрута часто выносят обработку легкоповреждаемых поверхностей, к которым, например, относят наружные резьбы и другие элементы деталей.

В целях своевременного выявления раковин и других дефектов материала сначала производят черновую, а если потребуется, и чистовую обработку поверхностей, на которых эти дефекты не допускаются. В случае обнаружения дефектов заготовку либо бракуют без дальнейшей излишней затраты труда, либо принимают меры для исправления брака.

В производстве точных ответственных машин маршрут обработки часто делят на три последовательные стадии: черновую, чистовую и отделочную. На первой снимают основную массу материала в виде припусков и напусков, вторая имеет промежуточное значение, на последней обеспечивается заданная точность и шероховатость поверхностей детали. В пользу такого расчленения маршрута могут быть приведены следующие соображения. На черновой стадии обработки имеют место сравнительно большие погрешности, вызываемые деформациями технологической системы от сил резания и сил закрепления заготовки, а также

ее интенсивный нагрев. Чередование черновой и чистовой обработок в этих условиях не обеспечивает заданную точность.

После черновой обработки наблюдаются наибольшие деформации заготовки в результате перераспределения остаточных напряжений в ее материале. Группируя обработку по указанным стадиям, мы увеличиваем разрыв во времени между черновой и отделочной обработкой и даем возможность более полно выявиться деформациям до их устранения на последней стадии обработки.

Вынесением отделочной обработки в конец маршрута уменьшается риск случайного повреждения окончательно обработанных поверхностей в процессе обработки и транспортировки. Кроме этого, черновая обработка может выполняться на специально выделенном изношенном или неточном оборудовании рабочими более низкой квалификации.

Изложенный принцип построения маршрута, однако, не во всех случаях является обязательным. Слепое следование ему иногда может привести к созданию нереальных процессов. При жесткой заготовке и малых размерах обрабатываемых поверхностей окончательная обработка отдельных элементов может выполняться и в начале маршрута без каких-либо вредных последствий. Данный принцип в определенной мере противоречит также принципу концентрации обработки, когда в одной операции могут выполняться переходы черновой и чистовой обработок (изготовление деталей из прутка на автоматах).

Если деталь подвергается термической обработке, то технологический процесс механической обработки расчленяется на две части: процесс до термической обработки и после нее. Для устранения возможных короблений часто приходится предусматривать правку деталей или повторную обработку отдельных поверхностей для обеспечения заданных точности и шероховатости. Отдельные виды термической

обработки в большей степени усложняют процесс механической обработки. Так, при цементации обычно требуется науглеродить отдельные участки детали. Это достигается защитным омеднением остальных участков или оставлением на них припуска, который снимается дополнительной обработкой после цементации, но до закалки.

Последовательность обработки в определенной степени зависит от системы простановки размеров. В первую очередь следует обрабатывать ту поверхность, относительно которой на чертеже координировано большее количество других поверхностей детали. При простановке размеров согласно рис. 4 сначала обрабатывают поверхность А, а затем в произвольном порядке поверхности a_1 , a_2 , a_3 . Операции вспомогательного или второстепенного характера (сверление мелких отверстий, снятие фасок, прорезка канавок, зачистка заусенцев и т. п.) обычно выполняют на стадии чистовой обработки. На данном этапе маршрута последовательность выполнения этих операций часто может меняться; она не влияет на качественные показатели и экономику процесса в целом.

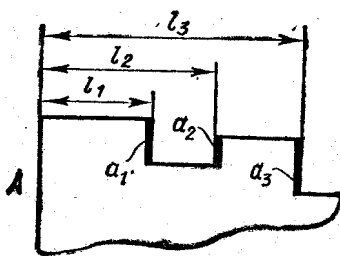


Рис. 4. Последовательность обработки

Операции технического контроля намечают после тех этапов обработки, где вероятно повышенное количество брака, перед сложными и дорогостоящими операциями, а также в конце обработки. При выполнении большинства операций функции технического контроля выполняются выборочно

«летучими» контролерами, а также станочниками и наладчиками. На отдельных, в основном предварительных, операциях, где используется мерный режущий инструмент (сверла, зенкеры) контроль обычно не производят, полагаясь на правильность размера стандартного инструмента. Это сокращает количество контролеров и издержки производства. Размер выборок при выборочной приемке массовых деталей производят по правилам математической статистики.

При проектировании технологических процессов для существующих заводов, где цехи организованы по видам обработки, последовательность обработки устанавливают с учетом возможного сокращения путей транспортировки деталей. В данном случае, например, выполняется токарная обработка, затем фрезерная и т. д.

Предварительное содержание операций устанавливают объединением тех переходов на данной стадии обработки, которые могут быть выполнены на выбранном типе станка. В массовом производстве содержание операций определяют из условия, чтобы их длительность была равна или кратна темпу. На содержание операций влияет также необходимость сокращения количества перестановок деталей со станка на станок, что имеет большое значение для условий тяжелого машиностроения.

Принципиально правильный подход к составлению маршрута обработки деталей различного класса точности для данных производственных условий должен определяться на базе типизации технологических процессов.

1.7. Расчет припусков в зависимости от обработки

Припуском на обработку называется слой металла, подлежащий удалению с поверхности заготовки в процессе обработки для получения готовой детали.

Размер припуска определяют разностью между размером заготовки и размером детали по рабочему чертежу;

припуск задается на сторону.

Припуски подразделяют на общие, т. е. удаляемые в течение всего процесса обработки данной поверхности, и межоперационные, удаляемые при выполнении отдельных операций.

Величина межоперационного припуска определяется разностью размеров, полученных на предыдущей и последующей операциях.

Общий припуск на обработку равен сумме межоперационных припусков по всем технологическим операциям - от заготовки до размеров детали по рабочему чертежу

Для наружных поверхностей значение разности размеров, получаемых на предшествующей и последующей операциях, является положительной величиной, а для внутренних - отрицательной.

Размер припуска зависит от толщины поврежденного поверхностного слоя, т. е. от толщины корки для литых заготовок, обезуглероженного слоя для проката, глубины поверхностных неровностей, раковин, трещин и т. п., а также от неизбежных производственных и технологических погрешностей, зависящих от способа изготовления заготовки, ее обработки, геометрических погрешностей станка и других технологических факторов.

Результативные погрешности являются совокупностью погрешностей заготовки и погрешностей, возникающих при выполнении отдельных технологических операций.

Микронеровности учитывают при расчете припусков характеристикой значений R_z , так как каждой технологической операции свойственна определенная шероховатость поверхности. Глубина дефектного поверхностного слоя зависит от способа изготовления заготовок. В отливках из серого чугуна дефектный поверхностный слой представляет собой перлитную корку, которую удаляют для сохранения режущих свойств инструмента при последующей обработке

подкоркового слоя.

Поверхностный слой проката характеризуется обезуглероженной зоной, снижающей предел прочности металла. Удаление этого слоя повышает прочностные свойства обрабатываемой заготовки. Наряду с этим при обработке заготовок из проката в поверхностном слое возникает наклеп, постепенно уменьшающийся по мере удаления от поверхности.

При обработке целесообразно удалять зону резко выраженной деформации, т. е. верхнюю часть наклепанного слоя, в которой обычно наблюдается изменение структуры металла.

Отклонения взаимосвязанных поверхностей (непараллельность и неперпендикулярность осей и поверхностей, эксцентриситет отверстий, увод оси отверстия и др.) также следует учитывать при расчете припусков, но так как эти отклонения не связаны с погрешностями на размеры поверхностей, их нужно учитывать отдельно.

Наряду с перечисленными отклонениями в процессе обработки возникают погрешности установки, которые также должны быть компенсированы соответствующим увеличением припуска.

Таким образом, наименьший межоперационный припуск на обработку r при наименьшем предельном размере заготовки для наружных поверхностей и при наибольшем предельном размере для внутренних поверхностей может быть определен из формулы (3).

$$z_{mb} = (R_{z_{cp}} + T_a) + \rho_a + \varepsilon_{y_b}, \quad (3)$$

где $R_{z_{cp}}$ - средняя величина микронеровностей;

T_a – глубина дефектного поверхностного слоя;

ρ_a – геометрическая сумма пространственных отклонений взаимосвязанных поверхностей;

ε_{y_b} - погрешность установки;

a - индекс, характеризующий предшествующую операцию;

b - индекс, характеризующий данную операцию. Отсюда следует, что в величину межоперационного припуска входят погрешности предшествующей операции и погрешности установки данной операции.

При обработке плоских поверхностей учитывают наибольшее из пространственных отклонений взаимосвязанных поверхностей по нормали к обрабатываемой поверхности; тогда суммарное значение ρ_a будет определяться как векторная сумма пространственных отклонений.

Наименьшая величина межоперационного припуска на диаметральный размер (при обработке поверхностей тел вращения) удваивается.

Тогда

$$2z_{mb} = 2\left[\left(R_{z_{cp}} + T_a\right) + \left(\rho_a + \varepsilon_{y_b}\right)\right]. \quad (4)$$

В некоторых случаях в формуле определения наименьшей величины припуска могут отсутствовать некоторые составляющие например: величина T_a (глубина дефектного поверхностного слоя), которая учитывается только для заготовки; после черновой и чистовой обработки отдельных заготовок значение T_a принимается равным глубине наклепанного слоя, составляющего после притирки 3 - 5 мкм, тонкого обтачивания и растачивания 15 - 20 мкм, шлифования 15 - 20 мкм, протягивания 10 - 20 мкм, чистового развертывания 10 - 20 мкм, продавливания шариком и раскатки 20 - 25 мкм. При обработке заготовок из чугуна и цветных сплавов значение T_a после черновой операции исключается из формулы, так же как и после термообработки; при обработке отверстий плавающим режущим инструментом исключается значение ρ_a (векторная сумма отклонений взаимосвязанных поверхностей); при установке

обрабатываемой заготовки на плиту, т. е. при совмещении установочной и измерительной баз, из формулы выпадает величина ε_y (погрешность установки) и т. п. Некоторые требования к качественно-точностным параметрам типовых поверхностей деталей машин представлены в табл.3.

Таблица3

Требования к качественно-точностным параметрам
типовых поверхностей деталей машин

Типовые поверхности и детали	Квалитет	Параметры шероховатости, R_{a3} , мкм
1	2	3
Нерабочие контуры деталей	>12	80 40
Отверстия на проход крепежных деталей Выточки, проточки Отверстия масляных каналов на силовых валах Разделка кромок под сварку	10-12	20
Внутренний диаметр шлицевых соединений (не шлифованных) Свободные несопрягаемые торцовые поверхности валов, муфт, втулок	9	10
Торцовые поверхности под подшипники качения Поверхности втулок, колец, ступиц, прилегающие к другим поверхностям, но не являющиеся посадочными	9	5
Шаровые поверхности ниппельных соединений Канавки под уплотненные резиновые кольца для подвижных и неподвижных торцовых соединений Радиусы скруглений на силовых валах Поверхности осей эксцентров Опорные плоскости реек	7-8	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	7	1,25

Окончание табл. 3

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

1.8. Установление режимов резания

Режимы резания (глубина, подача и скорость резания) определяют точность, качество обработанной поверхности, производительность и себестоимость обработки. Вначале устанавливают глубину резания, потом подачу и, в последнюю очередь скорость резания.

Глубина резания при однопроходной обработке на предварительно настроенном станке определяется величиной ранее рассчитанного промежуточного припуска на обработку данной поверхности. При многопроходной обработке глубину

резания стремятся назначить наибольшей, соответственно уменьшив число проходов. На последних проходах глубина резания обычно уменьшается в целях обеспечения заданных точности и шероховатости поверхности.

Подачу назначают максимально допустимую. При черновой обработке подача ограничивается прочностью самого слабого звена данной технологической системы (инструмент, заготовка или отдельные элементы станка). При чистовой обработке и отделке подача определяется в зависимости от заданных точности и шероховатости поверхности. Подачу выбирают по нормативам или рассчитывают, согласовывая ее величину с паспортными данными станка.

Найденную из условий точности обработки подачу проверяют по условиям обеспечения заданной шероховатости поверхности (по нормативам) и окончательно согласовывают с паспортными данными станка.

Скорость резания рассчитывают по формулам теории резания или устанавливают по нормативным таблицам, зная условия выполнения данного перехода обработки. В обычных условиях при расчете скорости резания ориентируются на экономическую стойкость режущего инструмента. В особых случаях принимают во внимание стойкость наибольшей производительности.

Эмпирическая формула устанавливается для каждого вида обработки и имеет общий вид

$$v = \frac{C_a}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot k \quad (5)$$

Значения коэффициента C_a и показателей степени, содержащихся в этих формулах, так же как и периода стойкости T инструмента, применяемого для данного вида обработки, приведены в таблицах. Вычисленная с использованием табличных данных скорость резания учитывает конкретные значения глубины резания t , подачи s и стойкости T и действительно при определенных табличных

значениях ряда других факторов. Поэтому для получения действительного значения скорости резания с учетом конкретных значений упомянутых факторов вводится поправочный коэффициент k , являющийся произведением ряда частных коэффициентов, отражающих:

- качество обрабатываемого материала;
- состояние поверхности заготовки;
- качество материала инструмента.
- стойкость инструмента T (это период работы инструмента до затупления, приводимой для различных видов обработки в условиях одноинструментной обработки).

Частоту вращения шпинделя находят по формуле

$$n = 1000v/\pi D, \quad (6)$$

где v – найденная ранее скорость резания, а D – максимальный диаметр обработки данной поверхности (при сверлении это диаметр отверстия, при фрезеровании – диаметр фрезы).

Эту величину согласовывают с паспортными данными станка, принимая ближайшую меньшую.

На основании скорректированной частоты вращения шпинделя по формуле

$$v = \pi \cdot D \cdot n / 1000 \quad (7)$$

окончательно определяют скорость резания.

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

План выполнения лабораторных работ и их тема представлена ниже.

Цель работы: исследовать объект измерения, выбрать метод его обработки в зависимости от заданных условий и разработать маршрутно-операционный технологический процесс.

Оборудование, приборы, инструменты: штангенциркуль ШЦ-I, штангенциркуль ШЦ-II, штангенциркуль ШЦ-III, штангенглубиномер, штангенрейсмас; гладкий микрометр, микрометрический глубиномер, микрометрический нутромер, стойка, установочные меры, выполненные в виде цилиндров с отверстием и плоскими измерительными торцами, установочная мера в виде скобы для установки микрометрического нутромера на нуль, набор концевых мер, державка с боковинами, комплект удлинителей; индикаторы часового типа, индикаторные и рычажные скобы, рычажные микрометры, стойка или зажимное приспособление, индикаторные нутромеры; набор плоскопараллельных концевых мер длины; образцы (эталоны) шероховатости поверхности, двойной микроскоп МИС-11, микроинтерферометр МИИ-4, блочный профилограф-профилометр; объекты измерения (детали).

Общие положения согласно п. 1.

Задание

Лабораторная работа включает в себя ряд этапов, выполняемых под руководством преподавателя и лаборанта:

- 1) выполнить подбор оптимальных методов измерения и измерительных средств заданных деталей;
- 2) провести измерения в реальных условиях, результаты измерений привести в таблице;
- 3) составить маршрутно-операционный технологический процесс для обеспечения качества исследуемого изделия.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется в соответствии с пунктами задания.

Содержание отчета

В отчете указывается цель работы и задание, список используемого для выполнения работы оборудования, приборов и их назначение. Приводятся результаты всех измерений, составляется маршрутно-операционный технологический процесс обработки детали.

2.1. Лабораторная работа № 1

Выбор оптимального метода обработки точных валов в зависимости от заданных условий

2.2. Лабораторная работа № 2

Выбор оптимального метода обработки внутренних поверхностей вращений в зависимости от заданных условий

2.3. Лабораторная работа № 3

Выбор оптимального метода обработки плоскостей в зависимости от заданных условий

2.4. Лабораторная работа № 4

Выбор оптимального метода обработки поверхностей сложной формы в зависимости от заданных условий

3. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Общие положения согласно п. 1.

3.1. Практическая работа № 1

Выбор режимов резания для растачивания точных отверстий

Выбрать режимы резания по заданию преподавателя.

3.2. Практическая работа № 2

Выбор характеристики режущего инструмента при растачивании отверстий

Выбрать характеристики режущего инструмента по заданию преподавателя.

3.3. Практическая работа № 3

Выбор режимов резания при внутреннем шлифовании

Выбрать режимы резания по заданию преподавателя.

3.4. Практическая работа № 4

Выбор характеристики режущего инструмента при внутреннем шлифовании

Выбрать характеристики режущего инструмента по заданию преподавателя.

3.5. Практическая работа № 5

Выбор режимов резания при тонком точении валов

Выбрать режимы резания по заданию преподавателя.

3.6. Практическая работа № 6

Выбор характеристики режущего инструмента при тонком точении валов

Выбрать характеристики режущего инструмента по заданию преподавателя.

3.7. Практическая работа № 7

Выбор режимов резания при отделочном шлифовании вала

Выбрать режимы резания по заданию преподавателя.

3.8. Практическая работа № 8

Выбор характеристики режущего инструмента при шлифовании валов

Выбрать характеристики режущего инструмента по заданию преподавателя.

3.9. Практическая работа № 9

Выбор условий обработки при суперфинише

Выбрать условия обработки по заданию преподавателя.

3.10. Практическая работа № 10

Выбор режимов резания при тонком фрезеровании плоскостей

Выбрать режимы резания по заданию преподавателя.

3.11. Практическая работа № 11

Выбор характеристики режущего инструмента при фрезеровании плоскостей

Выбрать характеристики режущего инструмента по заданию преподавателя.

3.12. Практическая работа № 12

Выбор режимов резания и характеристики инструмента при шлифовании

Выбрать режимы резания по заданию преподавателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пачевский В.М. Методы обеспечения точности: учеб. пособие [Электронный ресурс]. - Электрон. текстовые и граф. данные (2,2 Мб) / В.М. Пачевский, М.Н. Краснова, С.В. Сафонов. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017.

2. Базаров Б.М. Модульная технология в машиностроении / Б.М. Базаров. М.: Машиностроение, 2001.

3. Марков Н.Н. Нормирование точности в машиностроении / Н.Н. Марков. М.: Машиностроение, 1993.

4. Схиртладзе А.Г. Технология автоматизированного машиностроения / А.Г. Схиртладзе, В.Ю. Новиков. Тераполь, 2001.

5. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Технология машиностроения» для студентов всех форм обучения и экстернов экономических специальностей / Воронеж гос. техн. ун-т; сост. В.М. Пачевский, Е.В. Пачевский, А.В. Шевцов, М.Н. Краснова. Воронеж, 2002.

6. Пачевский В.М. Режущий инструмент: учеб. пособие / В.М. Пачевский, Э.М. Янцов. Воронеж: ВГТУ, 2003.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ	3
1.1. Качество поверхности	4
1.2. Влияние шероховатости, волнистости, отклонений формы и расположения поверхностей деталей на качество изделий в автоматизированном машиностроительном производстве	10
1.3. Универсальные средства измерений	16
1.4. Критерии оценки погрешностей измерений	19
1.5. Этапы проектирования технологических процессов	22
1.6 Составление маршрута обработки детали	23
1.7 Расчет припусков в зависимости от обработки	26
1.8. Установление режимов резания	31
2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	33
3. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ	35
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	38

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных и практических работ
по дисциплине «Технологические основы обеспечения
качества изделий в машиностроении»
для студентов направления подготовки бакалавров
15.03.01 «Машиностроение»
(профиль «Технологии, оборудование и автоматизация
машиностроительных производств»)
всех форм обучения

Составители:
Жачкин Сергей Юрьевич
Краснова Марина Николаевна

В авторской редакции

Компьютерный набор Е. Д. Зотовой

Подписано к изданию 22.09.2021.
Уч.-изд. л. 2,5.

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