

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

М.А. БОЛОТОВ, Р.А. ВДОВИН, А.И. ХАЙМОВИЧ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ГТД

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 24.04.05 Двигатели летательных аппаратов и 13.03.03 Энергетическое машиностроение

С А М А Р А
Издательство Самарского университета
2018

УДК 621.452.3(075)
ББК 39.55я7
Б 795

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. А. А. Макаров,
д-р техн. наук, проф. Н. В. Носов

Болотов, Михаил Александрович

Б795 Использование инновационных технологий при изготовлении деталей ГТД: учеб.-метод. пособие / *М.А. Болотов, Р.А. Вдовин, А.И. Хаймович.* – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. – 216 с.: ил.

ISBN 978-5-7883-1267-5

Рассматриваются вопросы повышения точности при изготовлении деталей ГТД на основе анализа поведения инновационной технологической системы. Теоретически рассматриваются первичные погрешности, влияющие на точность геометрических параметров деталей. Выявленные наиболее значимые погрешности изучаются на основе экспериментальных исследований, которые реализуются при выполнении лабораторных работ.

Учебно-методическое пособие направлено на формирование у студентов понимания основ инновационных технологических процессов изготовления деталей ГТД (технологии 3D печати, быстрого прототипирования и координатных измерений).

Пособие разработано в соответствии с программами курсов «Теоретические основы проектирования технологических процессов», «Инновационные технологии производства двигателей», «Автоматизированная разработка заготовительных технологических процессов».

УДК 621.452.3(075)
ББК 39.55я7

ISBN 978-5-7883-1267-5

© Самарский университет, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ	7
1.1 Точность и погрешность	7
1.2 Структура погрешности геометрических параметров	8
1.3 Определение первичных погрешностей обработки	12
1.3.1 Определение погрешностей, возникающих в результате упругих деформаций технологической системы под действием сил резания	12
1.3.2 Погрешности обработки, обусловленные деформацией заготовки под действием усилий закрепления	13
1.3.3 Определение погрешностей, связанных с упругими деформациями системы под влиянием нагрева	14
1.3.4 Погрешности, возникающие в результате размерного износа инструмента	16
1.3.5 Кинематические погрешности	16
1.3.6 Погрешности обработки, связанные с неточностью размерного и профильного инструмента	16
1.3.7 Погрешности обработки, связанные с геометрической неточностью станков	17
1.3.8 Погрешности, связанные с деформацией заготовок из-за перераспределения остаточных напряжений	17
1.3.9 Погрешности настройки станка	18
1.4 Базирование и установка заготовки	18
1.4.1 Понятие о базах	18
1.4.2 Понятие погрешности установки и ее структура	21
1.4.3 Первичные погрешности установки заготовки в приспособлении	22
1.4.4 Методы определения результирующей операционной погрешности	26
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛИ	31
2.1 Изучение влияния жесткости технологической системы на точность раз- меров в продольном сечении заготовки при токарной обработке	31

2.2	Влияние усилия закрепления кольца на точность его формы при обработке в патроне.....	42
2.3	Влияние размерного износа инструмента на точность обработки поверхностей заготовки.....	51
2.4	Исследование точности формы поверхности при торцевом фрезеровании.....	62
2.5	Анализ точности обработки фрезерованием.....	70
2.6	Исследование чистового этапа технологического процесса изготовления вала	76
2.7	Исследование точности обработки на токарном станке статистическим методом.....	82
2.8	Определение точности групповой обработки деталей на револьверном станке.....	97
2.9	Определение точности при нарезании зубьев цилиндрических шестерен на зубодолбежных станках.....	110
2.10	Определение припусков и операционных размеров на обработку цилиндрических поверхностей	124
3	ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОСЛОЙНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ НА 3D ПРИНТЕРЕ	131
3.1	Цель и задачи работы	131
3.2	Последовательность выполнения работы.....	131
3.3	Программное обеспечение, оборудование, инструменты и средства измерений	132
3.4	Конструкция 3D принтера Objet Eden 350	132
3.5	Описание технологии послойного выращивания PolyJet	134
3.6	Принцип проектирования 3D моделей для установки послойного выращивания Eden 350	139
3.7	Выращивание тестовых образцов на 3D принтере	157
3.8	Содержание отчета	164
	Контрольные вопросы.....	165
4	ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ И СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ	166
4.1	Цель и задачи работы	166
4.2	Последовательность выполнения работы.....	166
4.3	Программное обеспечение, оборудование, инструменты и средства измерений	167
4.4	Современные методы и средства измерений геометрических параметров деталей машиностроения.....	167

4.4.1 Контактный метод измерений	168
4.4.2 Бесконтактные методы измерений	171
4.4.3 Структурная схема и базовые компоновки контактных КИМ	176
4.4.4 Конструкция оптического средства измерений СОМЕТ 6	186
4.5 Схемы измерения геометрических параметров	191
4.6 Точность измерений	195
4.7 Выполнение измерений на координатно-измерительных машинах	202
4.8 Последовательность выполнения практических заданий	206
4.8.1 Проведение конструкторско-метрологического анализа рабочего чертежа детали.....	206
4.8.2 Разработка схемы выполнения измерений геометрических параметров на координатно-измерительных машинах.....	209
4.8.3 Проведение сравнительного анализа погрешностей	209
Контрольные вопросы	210
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	211

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития двигателестроительного производства предприятия отрасли проводят перевооружение, широко внедряют инновационные технологии. При этом ставятся задачи повышения производительности и качества деталей. Решения этих задач требуют пересмотра нормативной технологической базы, создания электронной технологической среды, а также совершенствования методики проектирования технологических процессов. В этих условиях возрастают требования к подготовке специалистов технологов.

В процессе обучения студенты должны понять особенности работы инновационных технологических систем, выявить наиболее значимые первичные погрешности, которые будут определять точность мало-жестких деталей ДЛА.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Развитие всех отраслей машиностроения, характеризуется непрерывным повышением требований к точности изготовления деталей и сборки изделий.

Не менее важной является задача повышения точности всех технологических операций. Повышение точности заготовок и повышение точности каждой из операций механической обработки, начиная с черновых, позволяет уменьшить количество ступеней обработки каждой из поверхностей детали (число операций), что дает экономию металла и снижение трудовых затрат. Следует также отметить, что повышение точности механической обработки детали сокращает трудоемкость сборки машин благодаря частичному или полному устранению пригоночных работ.

Сказанное выше указывает на необходимость уделять серьезное внимание вопросам точности на всех этапах создания изделия – при проектировании, при изготовлении его деталей, в процессе сборки и испытания.

1.1 Точность и погрешность

Под точностью обработки детали понимают степень ее приближения или степень ее соответствия заранее установленному прототипу или образцу. Основной целью механической обработки является достижение заданных значений геометрических параметров. Поэтому можно сформулировать понятие точности обработки следующим образом. Точность обработки детали (точность обработки) – это степень соответствия действительных геометрических параметров детали заданным.

Количественной характеристикой точности служит погрешность обработки – степень или величина несоответствия действительных полученных при обработке детали геометрических параметров заданным. Различают погрешности: формы, размеров поверхностей, координирующих размеров и соотношений.

С методической точки зрения целесообразно также различать три категории точности: заданную, действительную и ожидаемую. Заданная или требуемая точность регламентируется с помощью допусков, назначаемых конструктором на отдельные параметры детали или машины; действительная точность характеризуется погрешностью, которая может быть выявлена при измерении отдельных деталей, а ожидаемая или расчетная – погрешностью, которую предположительно или на основании расчетов можно ожидать после обработки.

Следовательно, ожидаемая точность – это точность, которую рассчитывают получить у всех деталей, которые будут изготовлены по данному технологическому процессу, на данном приспособлении, данным инструментом.

Она характеризуется величиной поля рассеяния ω заданного размера у некоторой совокупности деталей:

$$\omega = A_{д \max} - A_{д \min},$$

где $A_{д \max}$ и $A_{д \min}$ – наибольший и наименьший действительные размеры в пределах совокупности детали.

1.2 Структура погрешности геометрических параметров

Для анализа точности обработки целесообразно классифицировать погрешности по источникам и причинам их возникновения (по «происхождению»). Такими причинами могут считаться заготовка, оборудование и оснастка, но целесообразнее в основу классификации положить физические явления, обуславливающие появление погрешностей: упругие деформации от действия сил резания, тепловые деформации, износ и т.д.

Заданные по чертежу значения геометрических параметров могут выполняться либо прямо, непосредственно либо косвенно, через другие параметры процесса. Например, требуемая глубина цементированного слоя выдерживается не непосредственно, а через ряд параметров: состав и массу карбюризатора, температурный режим, время цементации и т.д.

На рис.1.1 слева приведен эскиз детали с заданными чертежными размерами, а справа – технологический процесс, состоящий из операций; 1 – токарной обработки детали и 2 – фрезерования паза. Сопоставление чертежных и операционных размеров показывает, что чертежные

размеры $20_{-0,28}$, $50 \pm 0,4$ и $8^{+0,2}$ выполняются непосредственно, им соответствуют операционные размеры D , A_1 и A_2 . Заданный же по чертежу размер $12 \pm 0,4$ выдерживается косвенно, через размеры A_1 и A_3 . В размерной цепи, приведенной на рис. 1.1а размер $12 \pm 0,4$ выдерживается косвенно, через размеры A_1 и A_3 . В размерной цепи, приведенной на рис. 1.1а размер $12 \pm 0,4$ является замыкающим звеном A_Δ . Возможные предельные значения этого размера

$$A_{\Delta \max} = A_{1\max} - A_{3\min};$$

$$A_{\Delta \min} = A_{1\min} - A_{3\max}.$$

Оп.10 Фрезерная

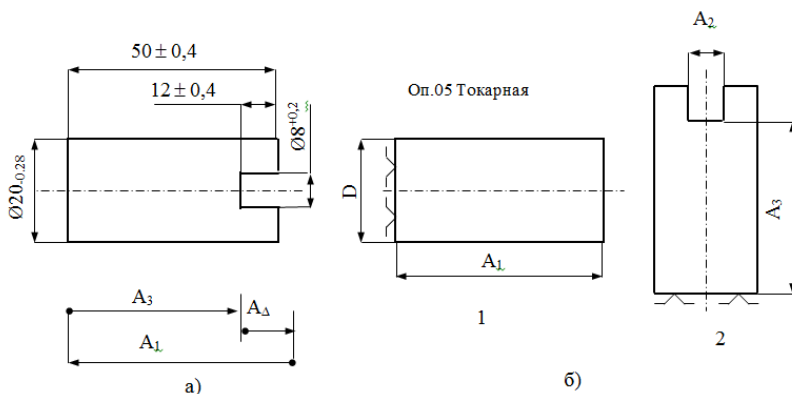


Рис. 1.1. Эскиз детали (а) и технологический процесс ее обработки (б):
1-токарная обработка; 2– фрезерование паза

Вычитая нижнее уравнение из верхнего и, учитывая, что

$$A_{\Delta \max} - A_{\Delta \min} = \omega_\Delta, A_{1\max} - A_{1\min} = \omega_1, A_{3\max} - A_{3\min} = \omega_3, \text{ получим } \omega_\Delta = \omega_1 + \omega_3.$$

Погрешность ω_1 размера A_1 возникает в операции токарной обработки, а погрешность ω_3 размера A_3 – при фрезеровании. Поэтому обобщая, можно сказать, что погрешность размера или другого геометрического параметра в общем случае, при косвенном выполнении этого параметра, равна сумме операционных погрешностей, т.е. $\omega_\Sigma = \sum \omega_i$.

Теперь рассмотрим состав операционной погрешности.

Из двух схем – односторонней и двухсторонней обработки общим случаем будет односторонняя обработка.

Для этого общего случая операционная погрешность может быть представлена состоящей из двух частей:

$$\omega_i = \omega_{oi} + \omega_{yi}, \quad (1.1)$$

где ω_{oi} – часть операционной погрешности, связанная с методом обработки. В последующем для краткости будем называть ее погрешностью обработки;

ω_{yi} – часть операционной погрешности, связанная с методом установки детали и базированием. В последующем для краткости будем называть ее погрешностью установки.

На рис. 1.2 показана операция фрезерования паза с выдерживанием размера A_3 по схеме односторонней обработки.

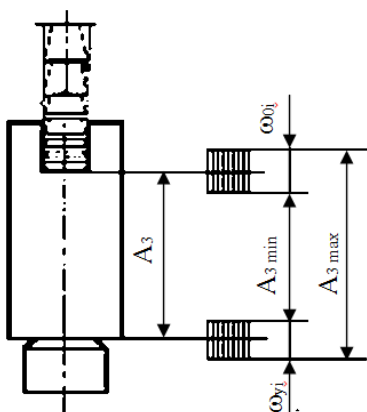


Рис. 1.2. Схема образования операционной погрешности

Размер A_3 координирует обработанную поверхность (дно паза) относительно нижнего торца детали, являющегося базой. Вследствие воздействия различных факторов, связанных с методом обработки (упругие деформации узлов станка, износ инструмента и др.), обработанная поверхность у различных деталей партии будет занимать различное положение относительно базы обработки – станка в пределах поля ω_{oi} . Аналогично будет иметь место изменение положения базы (нижнего торца) у партии деталей за счет воздействия причин, связанных с установкой и базированием детали. На рис.1.2 показано поле этого колебания ω_{yi} .

Тогда операционная погрешность – погрешность размера A_3 будет равна

$$\omega_i = A_{3 \max} - A_{3 \min} = \omega_{oi} + \omega_{yi}.$$

Последнее равенство является доказательством уравнения (1.1). При выполнении размеров по схеме двухсторонней обработки, а также для размеров между поверхностями, обрабатываемыми при одной установке, способ не будет влиять на точность таких размеров, т. е. $\omega_{yi} = 0$. Для этого случая операционная погрешность $\omega_i = \omega_{oi}$.

В свою очередь, каждая из составляющих ω_{oi} и ω_{yi} представляет собой сумму первичных или элементарных погрешностей соответственно обработки и установки. Первичной называют погрешность, обусловленную действием какого-либо (одного) производственного фактора, например, износа инструмента, тепловых деформаций детали и т.д.

Для наглядности на рис. 1.3 изложенная классификация погрешностей представлена в виде схемы.

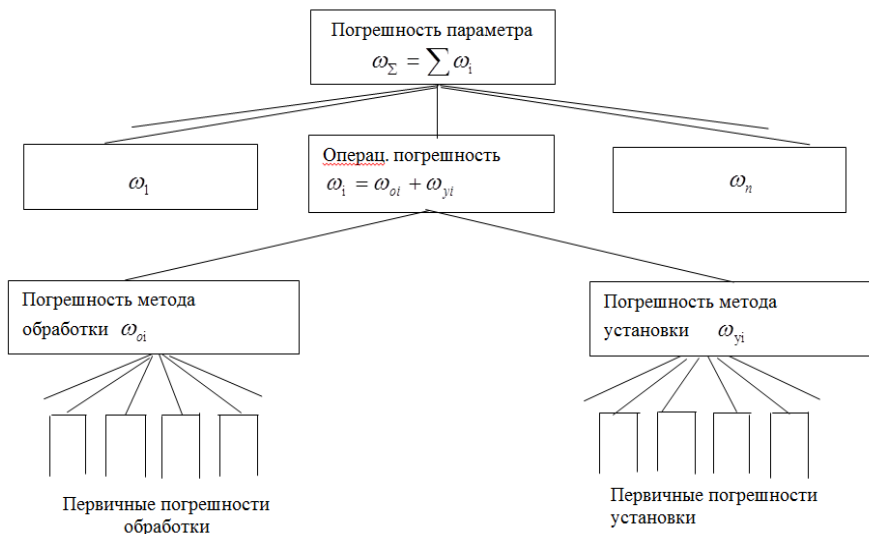


Рис. 1.3. Схема классификации погрешностей

1.3 Определение первичных погрешностей обработки

Определение первичных (элементарных) погрешностей обработки выполняется с целью получить качественные и количественные зависимости для оценки влияния основных производственных факторов на точность обработки, изыскать пути повышения точности обработки, получить исходные данные для определения расчетным путем результирующей (суммарной) операционной погрешности.

Каждая из первичных погрешностей может быть определена аналитическими или экспериментальными методами. Наиболее достоверные результаты получаются при сочетании, совместном использовании обоих названных методов.

В реальных производственных условиях факторы, вызывающие появление погрешности обработки, действуют одновременно, совместно. При установлении же зависимости между отдельно взятым производственным фактором и обусловленной его воздействием первичной погрешностью допускают, что в это время другие факторы как бы отсутствуют, не действуют. Такой методический прием является вынужденным, так как не представляется возможным определить одновременно влияние всех причин.

1.3.1 Определение погрешностей, возникающих в результате упругих деформаций технологической системы под действием сил резания

Механическая обработка заготовок на металлорежущих станках выполняется с использованием приспособлений и инструментов. Все узлы и устройства, участвующие в процессе обработки, и обрабатываемая заготовка образуют упругую технологическую систему: станок – приспособление – инструмент – заготовка. Для оценки величины погрешности важной характеристикой системы является ее жесткость, т.е. способность оказывать сопротивление действию деформирующих ее сил.

Жесткость упругой технологической системы выражается отношением составляющей усилия резания, направленной по нормали обрабатываемой поверхности P_y , к смещению лезвия инструмента относительно заготовки y , отсчитываемому в том же направлении:

$$j = \frac{P_y}{y} \text{ (Н/мм)} \quad (1.2)$$

Упругие деформации технологической системы возникают под действием всех составляющих силы резания. Но формула жесткости учитывает влияние только составляющей P_y . Это объясняется тем, что деформация системы $y=P_y/j$ влияет на точность размера (например, диаметра) прямо, непосредственно, в то время как деформация под действием других составляющих влияет на точность размера косвенно, незначительно.

Для практических целей удобнее пользоваться понятием податливости, численно равной обратной величине жесткости

$$w = \frac{1}{j} \text{ (мкм/Н)} \quad (1.3)$$

Величина податливости равна отношению величины смещения лезвия инструмента y к величине нормальной составляющей усилия резания P_y

$$w = \frac{y}{P_y} \text{ (мкм/Н)} \quad (1.4)$$

Жесткость системы зависит от жесткости составляющих ее элементов: станка, инструмента, приспособления и заготовки. Жесткость станка, в свою очередь, зависит от жесткости его узлов.

Подробно действия этой первичной погрешности студенты должны проверить и исследовать при выполнении экспериментальной работы (см. раздел 2.1).

1.3.2 Погрешности обработки, обусловленные деформацией заготовки под действием усилий закрепления

При закреплении заготовок усилия зажима достигают больших значений. Так, при закреплении заготовки в трехкулачковом патроне диаметром 240 мм зажимное усилие, передаваемое каждым кулачком на заготовку, может составлять 7000–8000 Н. При этом недостаточно жесткие заготовки (например, тонкостенные втулки) получают значительные упругие деформации.

Если расточить отверстие втулки в деформированном состоянии, оно будет круглым при зажатом положении (рис.1.4 а). Но если заготовку после обработки снять со станка, обработанное отверстие будет иметь погрешность формы – гранность (рис.1.4 б).

При закреплении в патроне с четырьмя и большим числом кулачков, а также при использовании сегментных кулачков, деформация заготовок и погрешности формы будут значительно меньше.

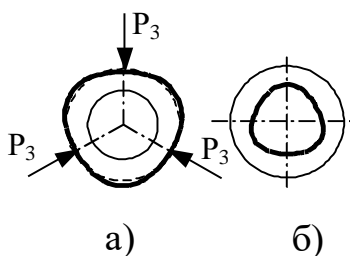


Рис. 1.4. Погрешность формы нежесткой заготовки в результате деформации от сил закрепления: а) после закрепления во время обработки, б) после обработки и снятия

Характер действия этой погрешности студенты проверяют экспериментально (см. раздел 2.2.).

1.3.3 Определение погрешностей, связанных с упругими деформациями системы под влиянием нагрева

В процессе обработки заготовок элементы системы – станок, заготовка, инструмент, приспособление находятся под непрерывным воздействием различных тепловых источников. Нагревание элементов системы ведет к их температурным деформациям и к возникновению погрешностей обработки.

а) погрешности от температурных деформаций станка

При работе станков в наибольшей степени нагреваются шпиндельные бабки: температура в различных точках бабки повышается от 10 до 50° С. Нагрев узлов станка обуславливает изменение их взаимного расположения. Для оценки точности обработки необходимо учитывать перемещение передней и задней бабок и суппорта относительно станины

в направлении нормали к обрабатываемой поверхности. Температурные деформации узлов станка невелики – 8-12 мкм. Для предупреждения появления погрешностей от температурных деформаций станков при точных работах производят их предварительный прогрев обкаткой вхолостую в течение 2-3 ч.

б) погрешности от температурных деформаций инструмента

Теплота резания, переходящая в инструмент, вызывает его нагревание и удлинение. В связи с тем, что при обработке твердосплавным инструментом без охлаждения температурные деформации его бывают значительными: удлинение резца, например, может достигать 30-50 мкм. Вся тепловая деформация инструмента может переноситься на размер детали.

в) погрешности от температурных деформаций заготовки

При механической обработке более 10% теплоты резания переходит в заготовку, вызывая ее нагревание и деформации. Характер погрешности обработки зависит от равномерности нагрева. При неравномерном нагревании заготовки возникает ее коробление, приводящее к образованию погрешности формы.

Количество теплоты резания, переходящее в заготовку, зависит от режимов резания и других факторов. При увеличении глубины резания температура заготовки t возрастает. С увеличением скорости резания v увеличивается скорость перемещения температурного поля, в результате чего нагрев заготовки уменьшается.

При прочих равных условиях повышение температуры заготовки зависит в большей степени от конструкции детали: тонкостенные, ажурные детали нагреваются значительно сильнее, чем массивные, сплошные заготовки. Если заготовка в период обработки имела размер в пределах допуска, то при остывании обнаружится погрешность размера. Величина этой погрешности в значительной степени зависит от теплопроводности материала детали. Например, для титановых деталей имеющих низкую теплопроводность, эта погрешность увеличивается. Для уменьшения этой погрешности обеспечивается эффективное охлаждение и увеличивается скорость перемещения источника нагрева (зоны резания) и снижения его интенсивности за счет режимов обработки.

1.3.4 Погрешности, возникающие в результате размерного износа инструмента

Износ инструмента, измеряемый по нормали к обрабатываемой поверхности и непосредственно влияющий на точность, принято называть размерным. Применительно к обтачиванию резцами размерный износ – это радиальный износ.

Величина этой первичной погрешности зависит от свойств материала заготовки и режущего инструмента, режимов обработки, вида СОЖ и др. Эта погрешность проявляется как в традиционных, так и в инновационных технологических системах, при обработке протяженных поверхностей, при обработке мерным инструментом, при обработке высоколегированных вязких сталей и сплавов, а также при твердом точении и фрезеровании.

Следует иметь в виду, что износ инструмента может приводить к усилению действия других первичных погрешностей (например связанных с деформациями технологической системы), так как при износе возрастают силы резания.

Подробно характер действия этой первичной погрешности студенты изучают при выполнении практической работы (см. раздел 2.3).

1.3.5 Кинематические погрешности

Кинематическими называют погрешности, возникающие при замене точной схемы обработки приближенной схемой.

Например, при фрезеровании резьбы дисковой фрезой ось ее устанавливается под углом наклона винтовой линии, относительно оси изделия схема обработки получается точной. Но при фрезеровании резьбы групповой фрезой используется приближенная схема: ось фрезы устанавливается параллельно оси изделия, вследствие чего возникает погрешность профиля резьбы, которая по своему характеру является кинематической.

1.3.6 Погрешности обработки, связанные с неточностью размерного и профильного инструмента

Всегда имеет место копирование (перенос на деталь) неточностей размерных и профильных инструментов. Если, например, размер протяжки будет на 0,03 мм больше требуемого, то во всех заготовках, обработанных этой протяжкой, размер отверстий будет превышен на такую

величину. Сказанное объясняет, почему допуски на размерные режущие инструменты (развертки, зенкера, сверла, пазовые резцы и фрезы) назначаются во много раз меньшими допусков на размеры соответствующих обрабатываемых поверхностей.

Профильные инструменты – резьбовые резцы и фрезы, зуборезные инструменты, фасонные резцы, фрезы и шлифовальные круги. Неточность профиля таких инструментов, независимо от причины ее возникновения, переносится на деталь, обуславливая появление погрешностей формы.

1.3.7 Погрешности обработки, связанные с геометрической неточностью станков

Существуют нормы точности станков, которыми регламентируются неточности станка в ненагруженном состоянии – геометрические неточности. Каждая из геометрических неточностей станка служит причиной появления соответствующей погрешности обработки. Например, непараллельность оси шпинделя токарного станка направлению движения суппорта в горизонтальной плоскости служит причиной возникновения конусности заготовок, обрабатываемых с установкой в патроне.

В процессе эксплуатации происходит интенсивный износ рабочих поверхностей станков. В результате износа, и особенно вследствие неравномерного износа частей станка, геометрические неточности его значительно возрастают, обуславливая увеличение соответствующих погрешностей обработки.

1.3.8 Погрешности, связанные с деформацией заготовок из-за перераспределения остаточных напряжений

Остаточными называют напряжения, которые существуют в материале заготовки при отсутствии воздействия внешних сил. Остаточные напряжения возникают в процессе выполнения предшествующей обработки и остаются после ее окончания.

Это происходит как при литье, сварке, обработке давлением, так и при всех видах механической обработки. Механизм их образования довольно сложен. Причиной могут быть: силовой фактор, неравномерный нагрев и охлаждение, структурно– фазовые превращения и пр.

Причем остаточные напряжения, растягивающие и сжимающие, уравновешены в детали. Если, например, взять стальную пластину после фрезерования и проштамповать с одной стороны, то $\sigma_{ост}$ перераспределяется, придя вновь в равновесное состояние, но изделие при этом деформируется. Поэтому, перед окончательной чистовой обработкой целесообразно принять отжиг для уменьшения $\sigma_{ост}$, полученных до этого.

1.3.9 Погрешности настройки станка

Настройка станков представляет собой процесс первоначального установления требуемой точности относительного положения и движения исполнительных поверхностей инструмента, станка и приспособления с целью получения заданной точности обрабатываемых заготовок.

В практике машиностроения используются два метода настройки станков: настройка с обработкой пробных заготовок и статическая настройка или настройка по эталонам. В первом случае установку режущего инструмента в требуемое положение производят путем последовательного приближения к заданному настроечному размеру (часто $L_{ср}$) в результате обработки на станке пробных заготовок. По данным измерения размеров пробных заготовок определяют величину и направление необходимой корректировки инструмента. По второму методу режущий инструмент настраивают в требуемое положение по эталону в нерабочем статическом состоянии станка или вне его.

Погрешность настройки будет зависеть от точности средств настройки и метода настройки. При установке по жестким упорам погрешность настройки обычно 20...25 мкм, а по индикаторным упорам – 10...15 мкм. Эту погрешность студенты изучают при проведении исследований процесса фрезерования плоской поверхности (см. раздел 2.4).

1.4 Базирование и установка заготовки

1.4.1 Понятие о базах

Для обработки заготовки должны быть установлены в технологической системе с высокой точностью и надежно закреплены. Существуют три вида установки заготовки при обработке:

1. Установка с выверкой, применяется в единичном и мелкосерийном производстве. При этом требуется большой опыт и квалификация рабочего. Установка отнимает много времени.

2. Установка с выверкой по разметочным рискам, применяется главным образом при изготовлении деталей имеющих обрабатываемые и необрабатываемые поверхности, но при этом вырастает трудоемкость операции.

3. Установка детали в приспособлении это наиболее совершенный способ установки при минимальной затрате времени. Приспособления применяют в серийном и массовом производствах.

Элементы заготовки, определяющие ее положение при установке, называются базами.

Соответственно базированием называют (ГОСТ 21495-76) придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

В машиностроении различают три класса баз: конструкторские, технологические и измерительные.

Конструкторская база (ГОСТ 21495-76) – это база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. То есть эта база ориентирует деталь в собранном механизме относительно других деталей. Это, например, осевые отверстия втулок и шестерен, опорные шейки валов, направляющие станины, суппортов и др. (КБ)

Исходной базой – называют поверхности, относительно которых требуется выдержать расположение обрабатываемой поверхности. Часто такая поверхность создается искусственно, только для установки детали во время обработки, как, например, центровые отверстия валов. (ИБ)

Измерительная база – (ГОСТ 21495-76) поверхности, от которых производится контроль размеров детали. С точки зрения технологии механической обработки, измерительная база– это поверхность, образующая поверхности, точка поверхности, относительно которой, измерением проверяют положение обработанной поверхности, т.е. проверяют выполненный при обработке размер. (ИБ)

Установочная база – это поверхность (линия, точка) при установке по которой, достигается заданное положение заготовки относительно станка, приспособления, инструмента (УБ). Установочные базы могут быть опорными и проверочными.

Измерительная и исходная базы во многих случаях совпадают.

Для достижения максимальной точности нужно стремиться к тому, чтобы конструкторская, исходная и измерительная базы совпадали.

В процессе обработки заготовка должна занимать определенное положение. Для этого необходимо, чтобы она не имела возможности перемещаться в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, а так же поворачиваться вокруг трех взаимно перпендикулярных осей, т.е. она должна быть лишена шести степеней свободы (рис.1.5).

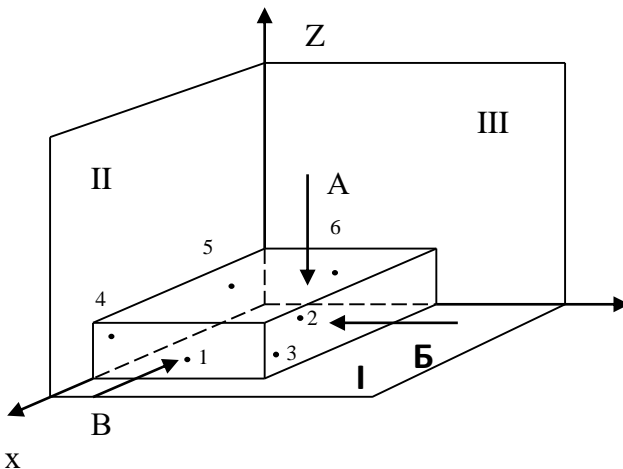


Рис. 1.5. Схема базирования

Плоскость XOY называется установочной. Опоры 1,2,3 и сила А лишает деталь трех степеней свободы: перемещения вдоль оси OZ и вращения вокруг осей OX и OY . Плоскость XOZ называется направляющей.

Опоры 4, 5 и сила Б лишают деталь еще двух степеней свободы: перемещения вдоль оси OY и вращения вокруг оси OZ . Плоскость ZOY называют упорной. Опора 6 и сила В лишают деталь последней степени свободы: перемещения вдоль оси OX .

Таким образом, положение детали в приспособлении определяется с помощью правила шести точек, согласно которому для устойчивого положения детали необходимо иметь шесть жестких опорных точек: три в установочной плоскости, две в направляющей и одна в упорной. Правило шести точек – основное правило при базировании.

1.4.2 Понятие погрешности установки и ее структура

Как было установлено ранее, операционная погрешность в общем случае (при односторонней обработке) может быть представлена в виде суммы двух слагаемых: погрешности ω_0 , зависящей от принятого метода обработки, и погрешности ω_y , связанной с методом базирования и установки заготовки:

$$\omega_i = \omega_{0i} + \omega_{yi} \quad (1.5)$$

Погрешностью установки называется часть операционной погрешности, связанная с базированием и установкой заготовки и представляющая собой разность предельных расстояний исходной базы, измеренных относительно настроенного инструмента в направлении операционного размера.

Размерный анализ точности обработки на настроенном станке показывает, что погрешность установки включает две составляющие:

$$\omega_{yi} = \omega_{y.z} + \omega_{np} \quad (1.6)$$

$\omega_{y.z}$ – погрешность установки заготовки в приспособлении; ω_{np} – погрешность расположения установочных элементов приспособления относительно станка. Первая из них – $\omega_{y.z}$ представляет собой разность предельных расстояний исходной базы заготовки, отсчитываемых относительно установочных элементов приспособления в направлении заданного размера; вторая составляющая ω_{np} – разность предельных расстояний установочных элементов приспособления относительно станка. $\omega_{y.z}$ и ω_{np} являются также составными: $\omega_{y.z}$ состоит из первичных (элементарных) погрешностей установки детали в приспособлении, а ω_{np} является суммой первичных погрешностей приспособления и погрешностей установки его на станке. Сказанное можно выразить следующими соотношениями:

$$\omega_{y.z} = \sum \omega_{y.zi} \quad (1.7)$$

$$\omega_{np} = \sum \omega_{npi} \quad (1.8)$$

Причины, обуславливающие возникновение первичных или элементарных погрешностей установки заготовки в приспособлении, будут рассмотрены ниже. Факторы, влияющие на состав и величину первичных погрешностей приспособления, рассматриваются при анализе приспособлений.

1.4.3 Первичные погрешности установки заготовки в приспособлении

Как уже отмечалось, на точность установки заготовки в приспособлении влияет большое число производственных факторов. В результате воздействия каждого из них возникают первичные или элементарные погрешности установки заготовки в приспособлении $\omega_{y.zi}$. Цель и методика определения $\omega_{y.zi}$ полностью аналогичны целям и способам определения первичных погрешностей обработки. Следует оговорить, что излагаемый ниже анализ относится к случаям установки заготовок в приспособлении без выверки, характерным для условий крупносерийного и массового производства.

Факторами, ощутимо влияющими на точность установки заготовки в приспособлении, являются:

- а) упругие и пластические деформации установочной поверхности заготовки под действием сил закрепления и сил резания;
- б) геометрические и динамические погрешности приспособлений;
- в) система простановки операционного размера;
- г) схема установки;
- д) погрешности формы и размеров базирующей поверхности;
- е) несовмещение исходной и установочной баз.

Из всех приведенных первичных погрешностей наибольший интерес представляет анализ по точности в зависимости от простановки операционного размера.

На рис.1.6, а показан операционный эскиз фрезерования площадки на цилиндрическом валике, диаметр которого $D-\delta_D$.

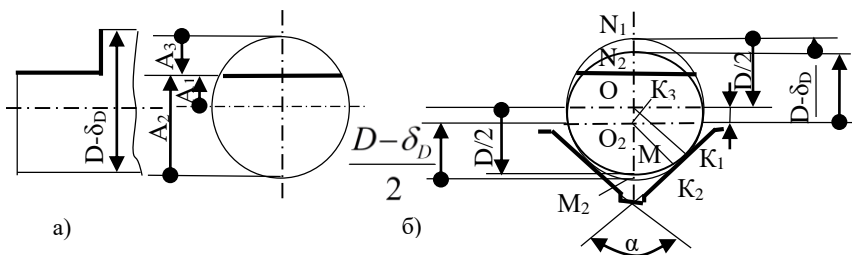


Рис.1.6. Схемы к определению погрешности установки цилиндрической заготовки на призме при различных схемах простановки операционного размера

Приведены 3 возможных варианта простановки операционного размера A_1 – от исходной базы – оси детали, A_2 – от нижней образующей цилиндра и A_3 , когда в качестве исходной базы принимается верхняя образующая.

Для анализа принята одна из возможных схем установки на призме с углом при вершине α . На рис.1.6, б приведена расчетная схема, на которой показаны два контура с предельно допустимыми значениями диаметра: D и $(D-\delta)$. Определение искомой величины погрешности установки заготовки будет сводиться к расчету разности предельных расстояний исходной базы относительно установочного элемента приспособления – призмы в направлении заданного размера, т. е. в вертикальном направлении.

Студенты изучают точность обработки при установке заготовки на призме при проведении экспериментов (см. раздел. 2.5).

Для первого варианта (рис.1.6, б), когда за исходную базу принята ось валика, искомая величина будет $\omega_{y.zi} = O_1O_2$. На рисунке обозначены: O_1 и O_2 – оси окружностей, соответствующих предельным контурам детали; O_1K_1 и O_2K_2 – радиусы окружностей, проведенные перпендикулярно к плоскости призмы.

Из прямоугольного треугольника $O_1O_2K_3$

$$O_1O_2 = \frac{O_1K_3}{\sin \alpha} < O_1O_2K_3, \text{ но } O_1K_3 = \frac{\delta_D}{2}, \text{ а } \alpha < O_1O_2K = \frac{\alpha}{2}.$$

Тогда

$$\omega_{y.zi} = O_1O_2 = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (1.9)$$

Для **второго варианта** когда за исходную базу принята нижняя образующая цилиндрической поверхности, искомая величина будет равна колебанию положения этой образующей в направлении заданного размера (вертикальном): $\omega_{y.zi} = M_1M_2$.

По приведенной слева на рис.1.6, б цепи

$$M_1M_2 = \frac{D - \delta_D}{2} + O_1O_2 - \frac{D}{2}.$$

Но $O_1O_2 = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$ (было найдено в предыдущем варианте).

После подстановки получаем

$$\omega_{y,zi} = M_1 M_2 = \frac{\delta_D}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right). \quad (1.10)$$

Для **третьего варианта**, когда за исходную базу принята верхняя образующая цилиндрической поверхности, искомая величина погрешности установки будет равна отрезку N_1N_2 , т.е. разности предельных расстояний этой образующей. Из приведенной справа на рис.10, б размерной цепи

$$\omega_{y,zi} = N_1 N_2 = \frac{D}{2} + O_1 O_2 - \frac{D - \delta_D}{2}, \text{ но } O_1 O_2 = \frac{\delta_D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (1.11)$$

После подстановки и небольших преобразований получаем:

$$\omega_{y,zi} = N_1 N_2 = \frac{\delta}{2} \left(\frac{1}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right). \quad (1.12)$$

Сравнение уравнений (1.9), (1.10) и (1.12) показывает, что система простановки операционного размера оказывает большое влияние на величину погрешности установки заготовки в приспособлении. Наибольшее значение $\omega_{y,zi}$ принимает при простановке размера от верхней образующей (3-й вариант), наименьшее – при выборе в качестве исходной базы нижней образующей (2-й вариант). Уравнения показывают также на большую зависимость $\omega_{y,zi}$ от угла при вершине призмы; с увеличением α до значения $\alpha = \pi$ значения $\omega_{y,zi}$ будут уменьшаться, при уменьшении α величина $\omega_{y,zi}$ значительно возрастает.

Зависимость погрешности установки от точности базирующих поверхностей можно проанализировать на примере операции подрезки торца заготовки, которая установлена на жесткую (вариант, а рис.1.7)

или плавающую (вариант, б рис. 1.7), коническую оправку (например, обработка валика в центрах с использованием жесткого и плавающего центров). Подрезка торца Б проводится настроенным инструментом, при этом выдерживается операционный размер ℓ . Для варианта а рис.1.7 погрешность установки $\omega_{y,z} = \frac{\delta}{2} \operatorname{tg} \alpha$, для варианта б рис.1.7 $\omega_{y,z} \rightarrow 0$ и не зависит от точности базового отверстия.

Обобщением этих погрешностей является погрешность, возникающая при не совмещении измерительной (исходной) и установочной баз.

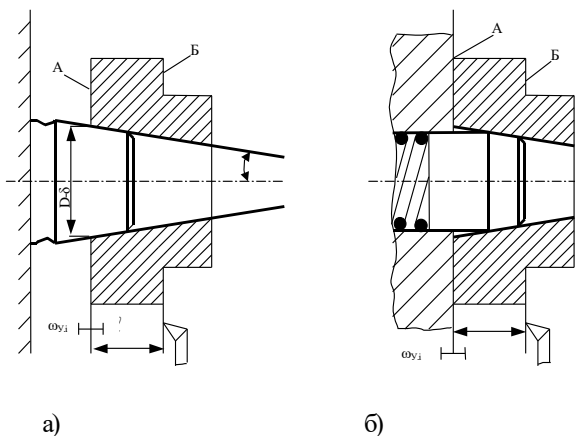


Рис. 1.7. Схема к определению погрешности установки на
а) жесткой и б) плавающей оправках

В практике машиностроения встречается много случаев, когда по тем или иным причинам не удается совместить исходную и установочную базы (ИБ \neq УБ). При этом возникает погрешность установки заготовки. На рис.1.8 показан эскиз обработки плоскости на размер А. Исходной базой является верхняя плоскость, установочной – нижняя плоскость.

Даже если отсутствуют другие факторы, нарушающие точность установки, то за счет колебания размера N связывающего исходную и установочную базы, в пределах допуска, расстояние исходной базы от установочных элементов приспособления будет меняться от N_{\max} до N_{\min} . Согласно определению, эта разность предельных расстояний исходной базы и является погрешностью установки. Количественно она

равна допуску на размер, связывающий исходную и установочную базы. В некоторых случаях эту погрешность выделяют в отдельную группу и называют **погрешностью базирования**. Очевидно, что эта погрешность будет непосредственно влиять на точность операционного размера A .

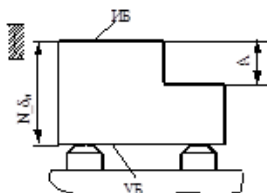


Рис.1.8. Погрешность от несовмещения установочной и исходной баз

Следует обратить внимание на принципиальное отличие погрешности от несовмещения баз (погрешности базирования) от первичных погрешностей установки заготовки в приспособлении в результате влияния других причин. Если в рассмотренных выше случаях изменение положения исходной базы происходило через изменение положения установочной базы и, следовательно, через изменение положения всей заготовки, то при не совмещении исходной и установочной баз $\omega_{у.з.і}$ возникает в результате изменения положения исходной базы относительно установочной при стабильном положении установочной поверхности и всей заготовки.

1.4.4 Методы определения результирующей операционной погрешности

При выполнении каждой операции механической обработки действует одновременно много причин, нарушающих точность, и, стало быть, одновременно возникает много первичных погрешностей обработки и установки. Полная операционная погрешность ω_{Σ} может быть названа суммарной, результирующей: она является результатом суммирования, наложения отдельных первичных погрешностей обработки и установки.

Знание результирующей погрешности ω необходимо для решения многих задач проектирования технологических процессов механической

обработки, проектирования приспособлений и инструментов: при решении задач о выборе операционных допусков на обработку, о соответствии того или иного метода обработки заданной точности. Если суммарная погрешность не превышает допуск, т. е. если условие $\omega_{\Sigma} < T$ выполняется, то метод обеспечивает обработку деталей без брака; при $\omega_{\Sigma} > T$ возможен брак.

Суммарную погрешность можно определить одним из следующих методов:

- а) расчетно-аналитическим или поэлементным;
- б) опытно-статистическим.

Прежде чем изучать непосредственно каждый из названных методов определения суммарной погрешности, необходимо предварительно рассмотреть два важных вопроса – классификацию производственных факторов по характеру действия их во времени, т. е. по характеру их влияния на величину размера последовательно обрабатываемых заготовок, и основные законы распределения и суммирования погрешностей.

Погрешности систематические постоянные, закономерно изменяющиеся и случайные. Законы распределения погрешностей. Причины, вызывающие погрешности обработки и установки, различаются по характеру действия на протяжении обработки партии заготовок. Одна группа причин за время обработки всех заготовок действует в одном направлении и с постоянной интенсивностью. В результате их влияния возникают погрешности, постоянные по величине и знаку для всех заготовок одной или нескольких партий. Их принято называть систематическими постоянными погрешностями $\omega_{п}$.

Примером подобных погрешностей могут служить: неперпендикулярность оси отверстия при сверлении к базовой плоскости детали вследствие неперпендикулярности оси шпинделя сверлильного станка к плоскости его стола, погрешность межосевого расстояния отверстий в детали из-за неправильно выполненного расстояния между осями кондукторных втулок. Наиболее же часто встречающейся причиной, обуславливающей появление систематической постоянной погрешности обработки, будет погрешность настройки станка на размер, а так же погрешность мерного инструмента.

Следует особо оговорить, что название «постоянные погрешности» справедливо только применительно к одной или небольшому числу партий заготовок.

Так, упомянутая выше погрешность настройки станка даст $\omega_{п}$, постоянную (одинаковую) только для тех заготовок, которые будут обработаны при данной настройке.

Другая группа производственных факторов изменяет направление или интенсивность (или то и другое) своего влияния на точность во времени обработки заготовок партии по определенному закону. Погрешности, возникающие в результате действия таких факторов, будут систематическими переменными или закономерно изменяющимися $\omega_{з.н}$. Закономерно изменяющейся называется погрешность, которая закономерно изменяет свою величину или знак при переходе от одной обрабатываемой заготовки к следующей. Типичным примером может служить погрешность, вызываемая размерным износом инструмента.

Действие причин третьей группы при обработке отдельно взятых заготовок партии заранее не может быть предусмотрено – оно обуславливает появление случайных погрешностей $\omega_{сл}$. Случайной называется такая погрешность, которая для различных заготовок рассматриваемой партии имеет различные значения, причем ее появление не подчиняется никакой видимой закономерности. Случайные погрешности возникают в результате действия большого количества не связанных между собой факторов.

Наличие случайных $\omega_{сл}$ и закономерно изменяющихся $\omega_{з.н}$ погрешностей обуславливает рассеивание размеров или других геометрических параметров. Рассеивание выражается в том, что одноименные размеры заготовок, обработанных при внешне стабильных условиях (на одном станке, при одной настройке, в одном кондукторе и т. д.), различаются между собой.

Закон распределения закономерно изменяющейся погрешности зависит от характера действия причины, обусловившей появление этой погрешности.

Распределение случайных погрешностей характеризуется законом нормального распределения или законом Гаусса. Такому закону будет соответствовать распределение размеров (или погрешностей размеров)

партии деталей, изготовленных на настроенном станке при условии хорошей отлаженности и стабильности технологического процесса, когда влияние закономерно изменяющихся факторов отсутствует или проявляется незначительно.

Расчетно-аналитический метод определения суммарной погрешности. Определение суммарной операционной погрешности по этому методу выполняется в следующей последовательности:

а) Изучение условий выполнения операций (способа обработки, способа выполнения размера, характеристик станка, режущего и мерительного инструментов, режимов резания и т. д.);

б) Выявление и составление перечня факторов, обуславливающих появление первичных (элементарных) погрешностей обработки и установки;

в) Определение значений первичных (элементарных) погрешностей, вызываемых действием каждого из факторов, внесенных в перечень. В большинстве случаев задача будет заключаться в определении **поля погрешности**. При решении этой задачи можно применить аналитический (расчетный) метод, используя приведенные в разд. 3.1-3.3 формулы и зависимости и аналогичные им. В тех случаях, когда для определения какой либо первичной погрешности аналитические зависимости еще не установлены, величину такой погрешности принимают по нормативным или справочным данным (например, погрешность установки деталей в патроне, в тисках и т.п.);

г) Установление законов распределения для каждой из первичных погрешностей обработки и установки. Найденные (вычисленные, принятые по справочным и нормативным источникам) первичные погрешности нельзя просто сложить арифметически, полученная при таком суммировании величина операционной погрешности будет значительно больше действительной. Это можно объяснить тем, что каждая из первичных погрешностей определялась для экстремальных (худших) условий и является предельной максимально возможной. Но сочетание худших условий по всем погрешностям при обработке каждой детали мало вероятно.

Достоверное значение суммарной погрешности можно получить, если суммирование первичных погрешностей выполнять по правилам

теории вероятностей и математической статистики. Эти правила заключаются в следующем:

1. Случайные погрешности, подчиняющиеся закону нормального распределения, складываются по правилу квадратичного корня.

2. Случайные погрешности, не подчиняющиеся закону нормального распределения, и закономерно изменяющиеся погрешности суммируются с учетом закона их распределения.

3. Систематические постоянные погрешности между собой складываются алгебраически с учетом их знака. При определении суммарной погрешности для генеральной совокупности постоянные систематические погрешности со случайными и закономерно изменяющимися суммируются арифметически.

При этом суммарная погрешность может быть определена по формуле

$$\omega_{\Sigma} = \sum \omega_{i\Pi} + \frac{1}{k_{\Sigma}} \sqrt{\sum k_i^2 \omega_{i\text{сл}}^2 + \sum k_i^2 \omega_{i3,\Pi}^2} , \quad (1.13)$$

где k_1 и k_{Σ} коэффициенты относительного рассеивания первичных погрешностей и их сумм.

Опытно-статистический метод определения суммарной погрешности студенты подробно изучают при выполнении практической экспериментальной работы (см. раздел 2.7).

Этот метод предполагает проведение исследований по определению точности обработки в конкретных операциях технологического процесса. Проводятся такие исследования при обработке новых технологий, а также при сертификации системы качества.

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРВИЧНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛИ

Практическое освоение студентами учебного материала, является очень важной составляющей подготовки специалистов высокого уровня. Этот этап обучения позволяет формировать умения и навыки, которые нужны для практической работы. Поэтому выполнение заданий с элементами исследований позволяет закрепить теоретические знания и существенно углубить понимание явлений, которые действуют в технологической системе при механической обработке заготовок.

2.1 Изучение влияния жесткости технологической системы на точность размеров в продольном сечении заготовки при токарной обработке

Задача практического лабораторного исследования – изучить влияние жесткости технологической системы станок – приспособление – инструмент – заготовка на точность формы заготовки в продольном сечении при обработке ее на токарном станке с закреплением консольно в патроне. Как упоминалось выше, жесткостью технологической системы называют способность этой системы оказывать сопротивление действию деформирующих ее сил. Количественно жесткость j системы в Н/мкм обычно выражают отношением нормальной составляющей P_y силы резания к суммарному смещению y лезвия режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки, измеренному в направлении нормали к этой поверхности, т.е.

$$j = P_y / y . \quad (2.1)$$

При расчете погрешностей обработки, связанных с упругими деформациями системы, удобно пользоваться понятием податливости. Податливость системы (в мкм/Н), – величина, обратная жесткости.

Численно податливость выражается уравнением

$$W = \frac{1}{j} = \frac{y}{P_y} . \quad (2.2)$$

Для, перевода значений податливости из ранее употреблявшейся системы единиц мкм/кгс в новую и наоборот можно использовать следующие переводные приближенные формулы:

$$W(\text{мкм}/H) = 0,1 \cdot W(\text{мкм}/\text{кгс}), \quad (2.3)$$

$$W(\text{мкм}/\text{кгс}) = 10 \cdot W(\text{мкм}/H). \quad (2.4)$$

Хотя в уравнениях (2.1) и (2.2) при определении жесткости j и податливости W учитывается действие только нормальной составляющей силы резания P_y , в действительности на величину деформации системы влияют также тангенциальная P_z и осевая P_x составляющие. Это учитывается тем, что при экспериментальном определении жесткости система нагружается не одной силой P_y , а силами P_z и P_y . При определении j для случая закрепления заготовок типа дисков система нагружается силами P_z , P_y и P_x . Соотношение их выбирают таким, какое реально возникает при резании (обычно $P_z:P_y:P_x = 1:0,6:0,4$).

Жесткость технологической системы зависит от способа закрепления заготовки, ее размеров, жесткости узлов станка (для токарного станка-шпинделя, суппорта, задней бабки), жесткости приспособления и инструмента. Для случая обтачивания заготовки валика на токарном станке с консольным закреплением в патроне (рис. 2.1) податливость W^l системы на расстоянии l от места приложения силы резания до торца кулачков будет равна

$$W^l = W_c + W_{\text{шп}}^l + W_n^l + W_{\text{заг}}^l, \quad (2.5)$$

где $W_c, W_{\text{шп}}^l, W_n^l, W_{\text{заг}}^l$ – податливость соответственно суппорта, шпинделя, патрона и заготовки.

При неизменной величине P_y с увеличением l будет возрастать нагрузка (изгибающий момент) на шпиндель, патрон и заготовку. Вследствие этого увеличатся деформации и значения податливости шпинделя $W_{\text{шп}}$, патрона W_n и заготовки $W_{\text{заг}}$ следовательно, возрастает и податливость системы W^l . Отсюда следует, что податливость системы при консольном закреплении валика в патроне токарного станка является переменной величиной: наибольшей в начале обработки резанием (на конце заготовки) и наименьшей в конце обработки (у патрона) при движении резца к патрону. Изменение жесткости приводит к появлению погрешности формы в продольном сечении обточенной поверхности.

Механизм образования такой погрешности рассмотрим на примере (рис. 2.2).

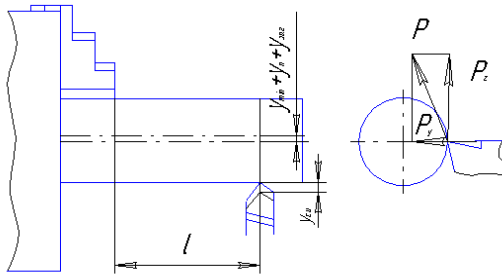


Рис.2.1. Схема определения суммарной податливости технологической системы при обработке валика

Пусть перед началом обработки резец установлен на размере d_0 .

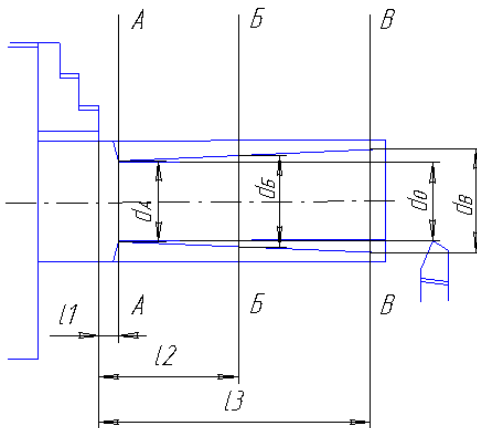


Рис.2.2. Схема образование погрешности обработки при обточке валика

Если бы система была абсолютно жесткой (т.е. не деформировалась бы под действием сил резания), то после обточки мы могли бы получить валик строго цилиндрической формы размером d_0 . Но система обладает податливостью. Деформация системы в сечениях А-А, Б-Б и В-В в соответствии с уравнением (2.2) будет равна

$$y_A = P_y W^A; \quad y_B = P_y W^B; \quad y_C = P_y W^C.$$

Так как $W^A < W^B < W^C$, то $y^A < y^B < y^C$. Действительные размеры заготовки после обточки в сечениях А, Б и В будут равны соответственно:

$$\left. \begin{aligned} d^A &= d_0 + 2y^A, \\ d^B &= d_0 + 2y^B, \\ d^C &= d_0 + 2y^C. \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Так как $y^A < y^B < y^C$, то $d^A < d^B < d^C$ (рис. 2.2). Пренебрегая кривизной образующей обработанной поверхности, можно принять полученную погрешность формы в виде конусности, величину которой можно определить следующим образом:

$$\omega_\phi = d^B - d^A.$$

Подставляя вместо d^B и d^A их значения по (2.6), после преобразования получим

$$\omega_\phi = 2(y^B - y^A).$$

Заменяя y^B и y^A на их значения, приведенные выше, получим расчетное уравнение для определения погрешности формы:

$$\omega_\phi = 2P_y(W^B - W^A). \quad (2.7)$$

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа состоит из двух частей: определение податливости технологической системы и изменения податливости по длине обрабатываемой заготовки; определение погрешности формы заготовки.

Податливость системы измеряется в статическом состоянии по схеме, приведенной на рис.2.3. Заготовка 1 закреплена в трехкулачковом патроне. Нагружение системы осуществляется через динамометр

7, закрепленный в резцедержателе 4 суппорта станка. Для создания нагрузки вращают винт 5. При этом через шток 6 усилие P передается на заготовку 1, а через него на патрон и шпиндель. Такая же по величине, но обратная по направлению сила P (точнее – реакция) передается через динамометр и резцедержатель на суппорт станка. Величина силы нагружения P регистрируется с помощью токовихревого датчика 3 ДС. При принятом, направлении действия силы P под углом 30° к вертикали получаем соотношение составляющих силы резания $P_z:P_y=1,0:0,57$, что весьма близко общепринятому при точении $P_z:P_y=1:0,6$. При этом остальные составляющие определяются следующим образом: $P_y=0,5P$, а $P_z=0,87P$.

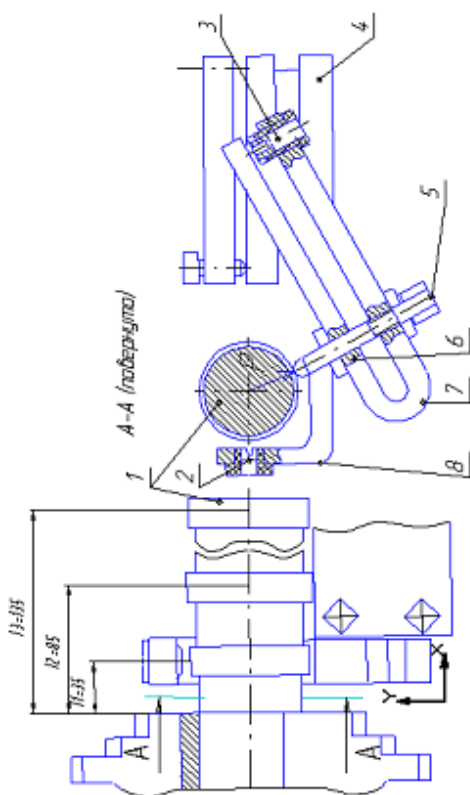


Рис. 2.3. Схема измерения податливости системы

При нагружении системы происходит деформация ее элементов (шпинделя, патрона, заготовки, суппорта). Суммарная относительная деформация системы u измеряется с помощью токовихревого датчика 2 ДП, закрепленного на кронштейне 8, который жестко связан с державкой динамометра.

В чисто механических схемах и устройствах экспериментального определения податливости измеряют и регистрируют величину силы нагружения P_y по заданным, ступеням нагружения и соответствующие каждой ступени значения деформации системы u . После окончания измерений вычисляют значения податливости $W = u_i / P_{yi}$. Затем находят податливость системы W (путем осреднения, линеаризации).

В данной работе в схеме измерений использован микропроцессор, осуществляющий непрерывное вычисление податливости W по измеренным значениям P_y и u . В заданном диапазоне нагружения (от нуля до $P_{y\max}$) – может быть зафиксировано любое число точек измерения W .

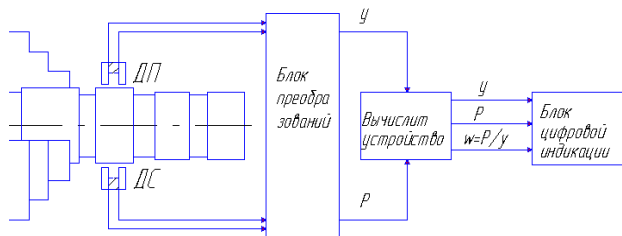


Рис. 2.4. Принципиальная электрическая блок-схема измерительной системы:
ДП – датчик перемещений; ДС – датчик силы

Принципиальная электрическая блок-схема измерительного устройства приведена на рис. 2.4. Электрические сигналы от датчиков силы нагружения ДС и датчика перемещений ДП поступают в блок преобразования БП. Из блока БП электрические сигналы, соответствующие величине силы нагружения P_y и перемещения u , поступают в вычислительное устройство (ВУ). По значениям P_y и u в ВУ происходит вычисление податливости $W = u / P_y$, значение которой регистрируется на блоке цифровой индикации (БЦИ). Там же регистрируются значения u и P_y .

Для определения зависимости $W=f(l)$ измерение податливости производится в трех сечениях подлине детали на расстояниях 35, 85 и 135 мм от торца кулачков.

Исследованиями установлено, что деформация системы, а значит и ее податливость, зависят от направления действия силы по отношению к расположению кулачков патрона. Если сила P направлена на кулачок (рис. 2.5, а) деформация технологической системы будет меньше, при действии силы P в направлении между кулачками (рис. 2.5, б) – больше. В связи с этим измерение податливости в каждом сечении следует производить для двух возможных угловых положений патрона.

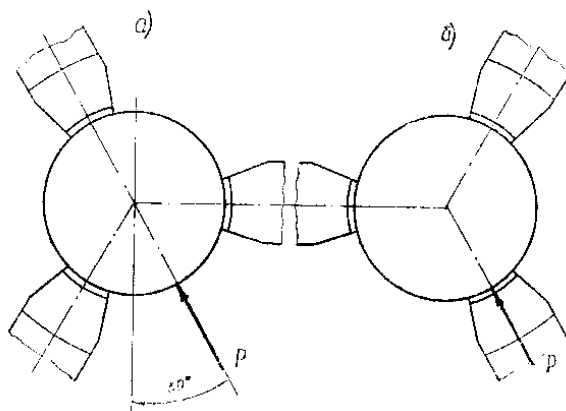


Рис. 2.5. Схема расположения силы P по отношению к кулачкам:
а – на кулачок, б – между кулачками

Определение податливости системы производится при нагружении ее силой P от 0 до 1500Н ступенями через 500Н. При этом составляющая P_y будет изменяться от 0 до 750Н ступенями через 250Н.

Для исключения влияния зазоров в системе на величину измеряемой податливости перед проведением эксперимента в каждом сечении по длине и для каждого углового положения патрона необходимо «спрессовать» систему, т. е. нагрузить ее силой $P=1000-1200Н$, снять нагрузку и только после этого установив показания индикатора деформации на нуль.

По результатам измерений определяют величину податливости для каждого сечения (вылета) по методике, излагаемой в п.3 настоящей инструкции.

Во второй части работы необходимо определить действительную и расчетную погрешность обработки (погрешность формы в продольном сечении), обусловленную влиянием изменения податливости системы по длине обработки. Для определения действительной погрешности сначала производят предварительное обтачивание всех трех поясков заготовки с одного прохода при легких режимах резания $t=1,0\text{мм}$ и $S=0,1\text{мм/об}$.

Цель этого обтачивания – устранить возможные погрешности формы и расположения поверхностей заготовки с тем, чтобы они не могли повлиять на результаты эксперимента. Затем выполняется основное обтачивание всех поясков на режимах ориентировочно $t=1,0\text{мм}$ и $S=0,3\text{мм/об}$, а далее вычисляют фактическую погрешность формы

$$\omega_{\phi} = d_3 - d_1.$$

где d_3 и d_1 – размеры третьего и первого поясков.

Расчетная или ожидаемая погрешность определяется по уравнению

$$\omega_{расч} = 2P_y(W_3 - W_1) \quad (2.8)$$

Составляющую P_y следует определить по формуле

$$P_y = C_{py} t^{X_{py}} S^{Y_{py}} \quad (2.9)$$

при значениях t и S , которые были приняты при основном обтачивании. В качестве W_3 и W_1 следует принимать значения податливостей соответственно при $l_3=135$ и $l_1=35$ мм, полученные экспериментально в первой части работы.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установить заготовку в патроне, так, чтобы расстояние от торца кулачков до середины первого бурта заготовки было $l=35\text{мм}$. Закрепить заготовку ключом последовательно через все шестеренки патрона, постепенно наращивая крутящий момент на ключе, доведя его в последнем круге до $M_{кр}=120-140$ Нм (12-14 кгсм).

Проследить за тем, чтобы биение заготовки при проворачивании, замеряемое индикатором на крайнем бурте, было не более $0,1$ мм.

2. Установить державку с динамометром в резцедержатель суппорта.

При установке должно обеспечиваться совпадение оси датчика 2 перемещений (рис. 2.3) с горизонтальной плоскостью, проходящей через ось заготовки. Это достигается подбором прокладок под державку.

Закрепить державку в резцедержателе. При этом, во избежание перекоса крепление производить многократным завертыванием винтов резцедержателя при постепенном последовательном наращивании усилия на ключе.

3. Отвести суппорт в сторону задней бабки. Вставить в отверстие скобы динамометра центроискатель (рис.6) и перемещая суппорт в поперечном направлении и установить его в такое положение, чтобы ось, центроискателя, проходила через линию центров станка. Тем самым будет обеспечено действие силы нагружения P по направлению, проходящему через ось вращения шпинделя с заготовкой. До окончания измерения податливости суппорт в поперечном направлении не перемещать.

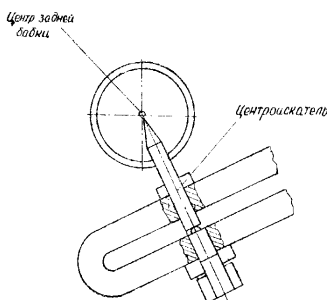


Рис. 2.6. Схема определения оси вращения заготовки с помощью центроискателя

4. Вынуть центроискатель и установить в отверстие скобы динамометра штوك 6 (рис. 2.3). Переместить суппорт в продольном направлении и установить его в положение для замера податливости на $l=35\text{мм}$ (первый буртик). При перемещении суппорта ни штوك 6, ни датчик 2 не должны касаться буртиков заготовки.

5. Повернуть патрон с заготовкой в положение, показанное на рис. 2.5,а (направление действия силы нагружения P на кулачок). Проверить, чтобы цифровой индикатор нагрузки в БЦИ показывал нуль. Если при этом на БЦИ величина силы отлична от 0, но не превышает 10 Н, то вра-

шая ручку «настройка» измерительного прибора, привести стрелку к положению, когда $P=0$. Если величина $P > 10\text{Н}$, то – перемещением датчика привести систему к положению, когда $P < 10\text{Н}$, и далее настройкой установить на БЦИ $P=0$.

6. Для устранения влияния зазоров и неплотности стыков на точность измерения провести предварительное нагружение системы силой $P=1000\dots 1200\text{Н}$ ($P_y=500\dots 600\text{Н}$), снять нагрузку.

7. Проверить показания цифрового индикатора перемещений в БЦИ. Если они отличаются от нуля, то вращая ручку «настройка» прибора индикатора перемещений, приводим БЦИ в нулевое состояние. Нагружая систему, замерить податливость системы при $P_y=250, 500$ и 750Н (при $P=500, 1000$ и 1500Н). Указанные значения P_y и соответствующие им значения податливости W по показаниям БЦИ занести в протокол.

8. Снять нагрузку, повернуть патрон против – часовой стрелки на 60° с тем, чтобы привести его в положение, показанное на рис. 2.5,б.

9. Повторить переходы, указанные в п.п. 6 и 7. Произвести измерение податливости при нагружении «от кулачка» и занести полученные при измерении значения W в протокол.

10. Снять нагрузку, переместить суппорт в продольном направлении в положение для измерения податливости при $l=85\text{мм}$ (по второму буртику).

11. Повторить переходы, указанные в п.п. 6, 7, 8 и 9. Провести измерение податливости на $l=85\text{мм}$ для двух угловых положений патрона.

12. Снять нагрузку, переместить суппорт в продольном направлении в положение для измерения податливости при $l=135\text{мм}$ (по правому крайнему бурту).

13. Повторить переходы; указанные в п.п. 6, 7, 8 и 9. Произвести измерение податливости на $l=135\text{мм}$ для двух угловых положений патрона.

14. Предъявить преподавателю занесенные в протокол результаты измерения податливости. При утверждении результатов снять со станка динамометр и выключить систему измерения. Если при проведении эксперимента получены неудовлетворительные результаты, то согласно указанию преподавателя повторить эксперимент.

15. Установить в резцедержателе станка проходной резец. Проточить все пояски предварительно на режиме $t=0,1\text{мм}$ и

$S=0,1$ мм/об. Замерить диаметры поясков и занести результаты измерения в протокол.

16. Произвести основную проточку всех поясков с одного прохода на режиме $t=1,0$ мм, $S=0,3$ мм/об. Замерить размеры поясков и результаты измерения записать в протокол.

17. Предъявить преподавателю результаты проточки поясков.

При удовлетворительных результатах сдать рабочее место учебному мастеру лаборатории. Если результаты признаны преподавателем неудовлетворительными, обточку поясков следует повторить.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ. СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. По результатам замеров нагрузки и податливости установить зависимость податливости системы от нагрузки $W=f(P)$ и от вылета $W=f(l)$, для этого:

1.1. Для каждого сечения 35, 85 и 135мм и для каждой ступени нагружения $P_y = 250, 500$ и 750 Н вычислить значения податливости как среднее значение из замеренных для двух угловых положений патрона.

1.2 В бланке отчета по лабораторной работе построить график зависимости $W = f(l)$ для всех ступеней нагружения (рис.2.7).

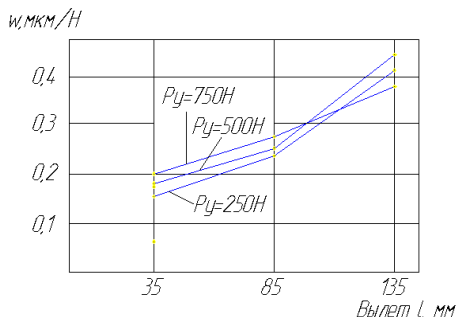


Рис.2.7. Графики зависимости податливости от вылета $W=f(l)$ при различных значениях нагрузки P_y

2. Определить фактическую (действительную) погрешность формы по уравнению

$$\omega_\phi = d_3 - d_1.$$

где d_3 и d_1 — значения диаметра поясков (буртиков), замеренные после

основного обтачивания.

3. Определить расчетную погрешность формы, для этого:

3.1. Вычислить фактическое (действительное) значение глубины резания t_ϕ основного обтачивания по уравнению

$$t_\phi = \frac{d_{предв} - d_{осн}}{2},$$

где $d_{предв}$ и $d_{осн}$ – размеры пояса после предварительного и окончательного обтачивания.

3.2. Вычислить силу резания по уравнению

$$P_y = C_{py} t_\phi^{X_{py}} S^{Y_{py}}.$$

При этом следует принять $C_{py}=243$, $X_{py}=0,9$, $Y_{py}=0,6$.

3.3. По кривой $W=f(l)$ в отчете установить значения податливости системы W_3 для $l=135$ мм и W_1 для $l=35$ мм. Если значения податливости для $P_y=250$, 500 и 750 Н не совпадают, принимать за расчетное следует значение податливости при значении нагрузки, близкой к вычисленному в п. 3.2 значению P_y .

3.4. Вычислить расчетную погрешность формы

$$\omega_p = 2P_y (W_3 - W_1).$$

4. Сопоставить значения ω_ϕ и ω_p и объяснить причины несоответствия.

5. Оформить отчет по экспериментам

.

2.2 Влияние усилия закрепления кольца на точность его формы при обработке в патроне

Цель работы: определение погрешности формы тонкостенного кольца в поперечном сечении под действием усилия закрепления при установке в трехкулачковом патроне.

ПОДАТЛИВОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Элементы (звенья) упругой системы СПИД являются не абсолютно жесткими. Под влиянием усилия закрепления детали, сил резания и сил инерции они деформируются. За счет этого изменяется установленное до обработки расстояние между режущей кромкой инструмента и обрабатываемой поверхностью детали.

При технологических расчетах обычно вводят понятие податливости. Податливостью (ω) называется величина, обратная жесткости. Она показывает величину деформации системы в микронах при приложении сил в 1 кГс и выражается в мкм/кГс

$$\omega = \frac{y}{P_y} \text{ мкм} / \text{кГс} .$$

Податливость системы СПИД зависит от податливости составляющих её звеньев: станка, приспособления, детали и инструмента, а также стыков (поверхностей контакта) между ними.

Податливость станка в свою очередь зависит от податливости его узлов – передней бабки, задней бабки и суппорта.

Структура податливости системы зависит от вида обработки, типа станка, детали, способа закрепления и т.д.

Для случая расточки втулки на токарном станке с её закреплением в патроне податливость системы будет равна

$$\omega = \omega_{суп} + \omega_{шп} + \omega_{патр} + \omega_{дет}$$

где, $\omega_{суп}$ – податливость суппорта;

$\omega_{шп}$ – податливость шпинделя;

$\omega_{патр}$ – податливость патрона;

$\omega_{дет}$ – податливость детали.

При расточке тонкостенных втулок (колец) в 3-х кулачковом патроне податливость системы СПИД будет в основном определяться податливостью обрабатываемой детали.

Закрепленное в патроне кольцо можно рассматривать находящимся под действием сосредоточенных радиальных сил одинаковой величины, приложенных с одинаковым шагом по окружности (рис. 2.8).

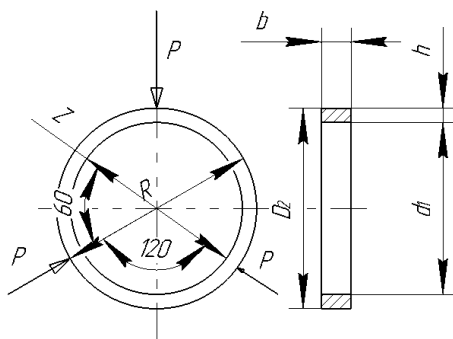


Рис. 2.8. Схема действия сил при закреплении кольца в трехкулачковом патроне

Перемещение точки приложения силы относительно центра кольца (сечение I-I) определяется выражением

$$\delta_1 = 0,016 \frac{PR_1^3}{EI}, \quad (2.10)$$

а перемещение в сечении 0-0 формулой

$$\delta_2 = 0,014 \frac{PR_1^3}{EI}. \quad (2.11)$$

Знак минус показывает, что в данном сечении имеет место выпучивание кольца (см. рис. 2.9)

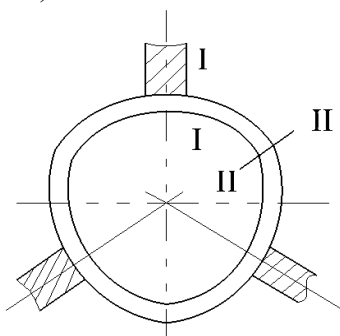


Рис. 2.9. Деформация кольца под действием сил в трехкулачковом патроне

В выражениях (1) и (2)

$$R_1 = \frac{1}{2}(R + r),$$

где, R – наружный радиус кольца;

r – внутренний радиус кольца;

E – модуль упругости;

I – момент инерции сечения.

После расточки и снятия со станка кольцо будет иметь форму, представленную соответственно на рис.2.10 а, б.

Погрешность формы при этом будет равна

$$\omega_{\Phi} = 2(\delta_1 + \delta_2). \quad (2.12)$$

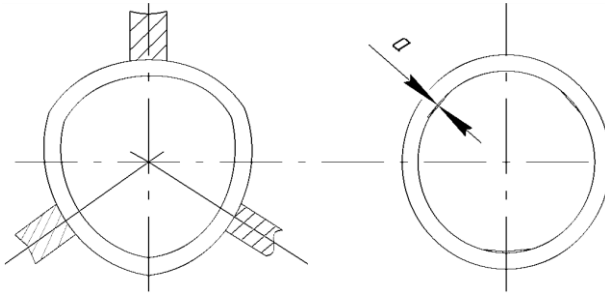


Рис. 2.10. Форма кольца после расточки на станке (а) и снятие со станка (б)

При расточке кольца возникает вертикальная составляющая силы резания P_z (рис. 2.11), Величина P_z при обработке резцами из быстро режущей стали определяется выражением

$$P_z = 208tS^{0,75} \text{ кг}.$$

Здесь t – мм, S – мм/об.

Величина момента, возникающего от наличия силы, имеет значение

$$M_{кр} = P_z r \text{ кг} \cdot \text{мм} \quad (2.13)$$

Моменту резания должен противостоять момент закрепления $M_{кз}$ детали в кулачках (см. рис. 2.13), т.е. $M_{кз} > M_{кр}$.

Величина момента закрепления $M_{кз}$ зависит от величины силы зажима P_3 в патроне и равняется

$$M_{кз} = TR = P_3 f R \quad (2.14)$$

Уравнение сил механизма патрона имеет вид

$$P_3 = 3P = Q \eta_3 i_1 i_2 i_3 \quad (2.15)$$

где, Q – исходная сила на рукоятке ключа;

$i_1 i_2 i_3$ – передаточные отношения сил рычажных и центрирующего клиноплунжерного механизмов;

η_3 – к.п.д. зацепления конечной шестерни с колесом.

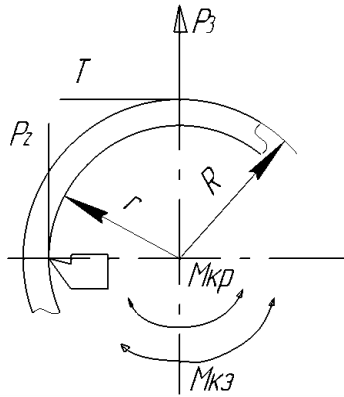


Рис. 2.11. Схема действия сил при расточке кольца

Учитывая, что $Q = \frac{M_{д}}{l}$ где $M_{д}$ – момент прилагаемый к динамометрическому ключу, l – длина рукоятки этого ключа, расчетную величину момента $M_{д}$ для закрепления детали, согласно выражениям (2.15), (2.16) и (2.17) можно представить

$$M_{д} = \frac{P_z r l}{f R i_1 i_2 i_3} \quad (2.16)$$

Необходимая величина момента M'_D определяется по формуле

$$M'_D = k \frac{P_z r l}{f R i_1 i_2 i_3} \quad (2.17)$$

где k – коэффициент надежности

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа состоит из двух частей:

1) расчет необходимой величины момента M'_D , усилия закрепления P_z и P , погрешности формы кольца ω_ϕ ;

2) экспериментальное определение погрешности формы кольца. Схема проведения первой части эксперимента представлена на рис. 5. Как следует из схемы, система нагружения не полностью имитирует схему действия сил при резании (отсутствуют силы резания P_x, P_y, P_z и крутящий момент).

Обрабатываемая деталь (кольцо) 6 закрепляется в 3-х кулачковом патроне 1 с помощью динамометрического ключа 7, который создает усилия закрепления P на каждом кулачке. Необходимая величина M'_D , определяется по тарифовочному графику.

Для замера деформации кольца под действием усилий P в шпиндель станка 8 вставляется державка 2, на поворотном диске 4 который с помощью хомутика 10 и гайки 9 закреплен индикатор 5. Отсчет угла поворота диска 4 производится по рискам и указателю 3. Угол между соседними рисками равен 15° .

Перед замером деформации кольца на нем необходимо нанести риски и поставить цифры, как показано на рис. 2.12. и 2.13. Определив величины деформаций кольца в 12 сечениях, необходимо построить график изменения деформации по периметру кольца.

Вторая часть эксперимента заключается в определении погрешности формы детали в радиальном направлении, являющейся результатом воздействия усилий закрепления P и силы резания P_x, P_y, P_z , и крутящего момента $M_{кр}$.

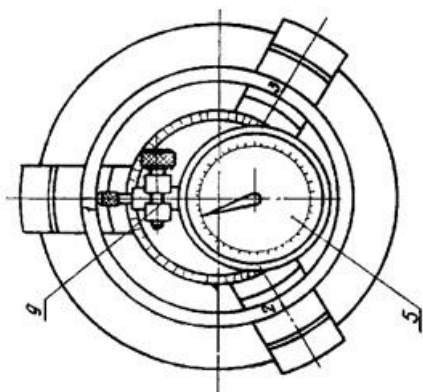


Рис. 2.12. Схема замера деформации кольца под действием усилия закрепления

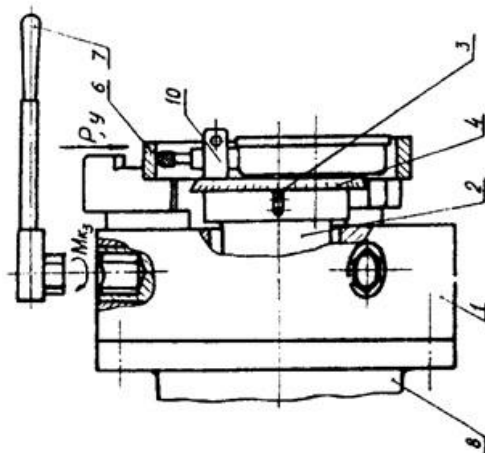


Рис. 2.13. Замер деформации кольца под действием усилия закрепления

Для этого необходимо из шпинделя станка удалить державку 2, проточить кольцо на заданных режимах резания; измерить внутренний диаметр кольца, не снимая его со станка; снять кольцо и определить погрешность формы, как показано на рисунке 2.14.

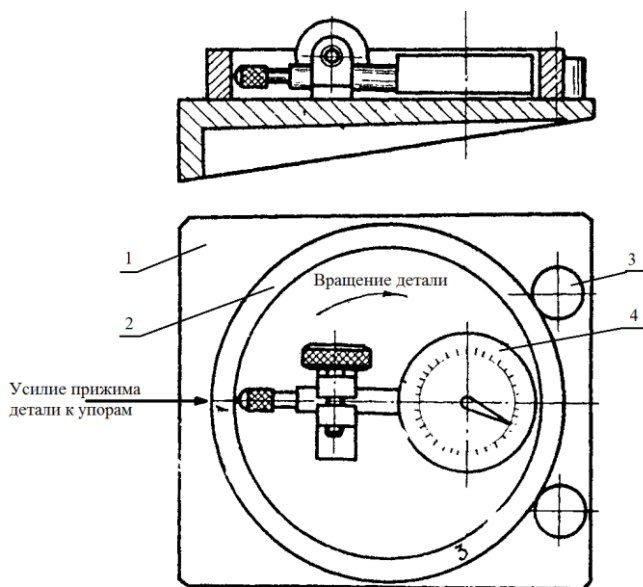


Рис. 2.14. Схема определения формы кольца после расточки в трехкулачковом патроне

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. По заданным размерам детали и режимам резания определить: необходимую величину момента $M_{д}$; усилия зажима $P_з$ и P ; погрешность формы кольца $\omega_{ф}$.
2. Перед замером деформации кольца нанести риски и поставить цифры, как показано на рис. 2.15.
3. Обрабатываемую деталь (кольцо) 6 закрепить в 3-х кулачковом патроне 1 с помощью динамометрического ключа.
4. Произвести замер деформации кольца под действием усилия P . Для этого в шпиндель станка 8 вставить державку 2, на поворотном диске 4, которой закреплен индикатор 5. Отсчет угла поворота диска 1 производить по рискам и указателю 3. Угол между соседними рисками равен 15° . Показания индикатора в микронах занести в протокол.

5. Построить график изменения деформации кольца по периметру.
6. Снять державку 2 и расточить кольцо.
7. Замерить внутренний диаметр кольца, не снимая его со станка.
8. Снять кольцо и определить погрешность формы, как показано на рис.2.15.
9. Обработать результаты опыта. Изобразить графически расчетную и действительную погрешности формы детали в поперечном сечении.

При выполнении работы нужно иметь в виду следующее:

модуль упругости для сталей $E = 21000 \text{ кгс/мм}$;

момент инерции сечения кольца определяется выражением

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

коэффициент трения $f = 0,15 + 0,4$;

коэффициент запаса $k = 1,5 + 2,0$;

передаточные отношения сил рычажных и центрирующего клино-плунжерного механизмов равны [3]:

$$i_1 = 16,4; i_2 = 0,89; i_3 = 6.65,$$

к.п.д. зацепления конической шестерни с колесом $\eta = 0,96$.

ОТЧЕТ

1. Основные данные станка: тип, модель, высота центров.
2. Основные данные патрона: тип, размер, состояние (степень изношенности), характеристика кулачков (закаленные и рифленные или сырые расточенные).
3. Схема деформации кольца под действием усилия закрепления.
4. Результаты измерения деформации кольца.
5. График изменения деформации кольца по его периметру.
6. Схема замера погрешности формы (внутреннего диаметра) кольца после обработки на станке.
7. Результаты измерения внутреннего диаметра кольца.
8. График изменения внутреннего диаметра по его периметру.
9. В выводах следует отметить влияния режимов резания и усилия закрепления кольца в патроне на его деформацию в поперечном сечении.

2.3 Влияние размерного износа инструмента на точность обработки поверхностей заготовки

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить влияние размерного износа режущего инструмента на точность размеров поверхностей обработанных заготовок.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

2.1 Ознакомление с теоретическими положениями по вопросу размерного износа режущего инструмента;

2.2 Ознакомление с лабораторным оборудованием, инструментом, оснасткой, аппаратурой используемой при проведении лабораторной работы;

2.3 Ознакомление с порядком и методикой проведения лабораторных исследований;

2.4 Проведение эксперимента, получение экспериментальных данных;

2.5 Математическая и графическая обработка экспериментальных данных;

2.6 Анализ экспериментальных данных;

2.7 Формулирование выводов;

2.8 Оформление отчета по лабораторной работе;

2.9 Подготовка ответов на вопросы для самопроверки.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Износ режущего инструмента значительно отличается от износа деталей машин, поскольку зона резания, в которой работает инструмент, характеризуется высокой химической чистотой трущихся поверхностей, высокими температурой и давлением в зоне контакта. Механизм износа инструмента при резании металлов сложен и включает в себя абразивный, адгезионный и диффузионный износ. Удельное влияние каждого из них зависит от свойств материала, инструмента и детали и условий обработки (прежде всего скорости резания).

Абразивный износ инструмента заключается в следующем: стружка внедряется в рабочую поверхность инструмента и путем микроцарапаний удаляет металл с этой поверхности. Интенсивность абразивного износа повышается при снижении скорости резания.

Адгезионный износ инструмента происходит в результате схватывания или прилипания трущихся поверхностей и последующего отрыва мельчайших частиц материала инструмента. Результатом этого износа, происходящего при температуре ниже 900°C , являются кратеры на рабочих поверхностях инструмента, образующие при слиянии лунки. Адгезионный износ уменьшается при повышении твердости инструмента.

Диффузионный износ инструмента, происходящий при температуре $900-1200^{\circ}\text{C}$, является результатом взаимного растворения металла детали и материала инструмента. Активность процесса растворения повышается при повышении температуры контактного слоя, т.е. при возрастании скорости резания. Поэтому диффузионный износ можно рассматривать как один из видов химического износа, приводящего к изменению химического состава и физико-химических свойств поверхностных слоев инструмента и снижающего его износостойкость.

Окислительный износ возникает у инструментов из высоко-теплостойких материалов и представляет собой «угорание» частиц режущего клина в примыкающих к контактной зоне его участках. На вспомогательных режущих кромках «угорание» начинается только при температуре $700-800^{\circ}\text{C}$ и выше (твердые сплавы), и поэтому окислительный износ для инструмента из инструментальных и быстрорежущих сталей можно не учитывать.

Чем выше механические свойства обрабатываемого материала и содержание в нем углерода, хрома, вольфрама, титана, молибдена, тем интенсивней износ инструмента. Наибольшее влияние на интенсивность износа оказывает скорость резания, меньшее – подача и глубина резания. Как правило, инструмент изнашивается по задней и передней поверхностям. За критерий износа обычно принимают допустимый износ из по задней поверхности инструмента, рисунок 2.15 а). (из – износ по задней поверхности, hr – радиальный износ, hl – глубина лунки, r – радиус скругления) Например, для твердосплавных резцов при черновой обработке $из=1,0-1,4$ мм для стали и $из=0,8-1,0$ мм для чугуна, а при чистовой обработке $из=0,4-0,6$ мм для стали и $из=0,6-0,8$ мм для чугуна. Преобладающий износ по задней поверхности обычно наблюдается при обработке с низкими скоростями резания сталей с малой (не более 0,15 мм) толщиной среза, а также при обработке чугуна.

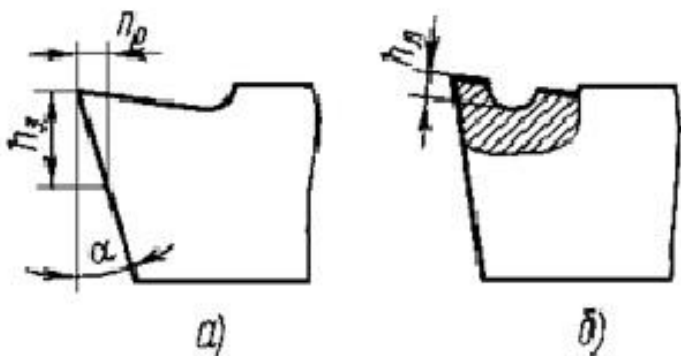


Рис. 2.15. Преобладающий износ по передней поверхности резца

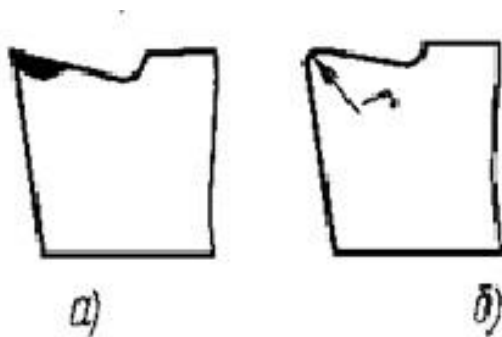


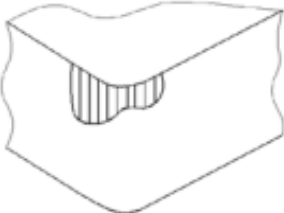
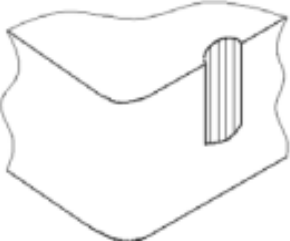

Рис. 2.16. Преобладающий износ резца

Преобладающий износ по передней поверхности резца наблюдается при большом давлении и при высокой температуре в зоне резания. Такие условия возникают при обработке с высокими скоростями резания и без охлаждения стали с большой (более 0,5 мм) толщиной среза: При износе резца по передней поверхности на последней образуется лунка, рисунок 2.15 б), ширина и глубина которой непрерывно увеличиваются. При этом ширина перемычки между лункой и режущей кромкой непрерывно уменьшается, и когда перемычка исчезает, наступает полный или катастрофический износ, рисунок 2.16 а). На практике инструмент изнашивается по задней и передней поверхностям одновременно

и при этом увеличивается радиус r скругления режущей кромки, рисунок 2.16 б). Преобладание одного из этих видов износа над другими зависит от режима обработки.

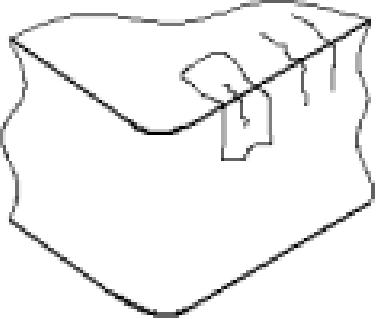
В процессе резания возможны следующие виды износа лезвия режущего инструмента (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Изнашивание режущей части инструмента

Причины потери работоспособности	Характерные особенности
<p data-bbox="129 472 505 501">Износ по задней поверхности</p> 	<p data-bbox="563 472 971 683">Основной критерий для определения периода стойкости инструмента. Если период стойкости снижается – следует корректировать режим и условия резания.</p>
<p data-bbox="129 748 396 777">Износ в форме усика</p> 	<p data-bbox="563 748 971 999">Возникает в той области главной режущей кромки инструмента, где она контактирует с поверхностью заготовки. Причина возникновения – высокая твердость поверхностного слоя, а также твердый заусенец на заготовке.</p>
<p data-bbox="129 1048 400 1077">Износ в форме лунки</p> 	<p data-bbox="563 1048 971 1337">Износ по передней поверхности характеризуется глубиной лунки. Для твердосплавных пластин с покрытиями и геометрией, способствующей разлому стружки, этот износ не является критерием стойкости инструмента.</p>

Продолжение табл. 2.1.

<p>Выкрашивание кромки</p> 	<p>режущей</p> <p>Слабое выкрашивание вдоль режущей кромки, сопровождаемое износом по задней поверхности. Выкрашивание кромки вне зоны резания – результат ударов стружки при неблагоприятных условиях стружкообразования.</p>
<p>Поломка пластины</p> 	<p>Сопровождается повреждением инструмента и заготовки. Причины зависят от станка и заготовки. Поломка часто возникает в местах выемок или преимущественного износа.</p>
<p>Износ при наростообразовании</p> 	<p>Нарост возникает на передней поверхности как результат сварки материала заготовки с материалом режущей части инструмента. Нарост периодически разрушается и создаёт условия нестабильности деформирования обработанной поверхности. При чистовой обработке может повредить режущую кромку.</p>
<p>Пластическая деформация режущего клина</p> 	<p>Возникает вследствие чрезмерного нагружения режущей кромки в сочетании с высокими температурами резания. Имеется опасность поломки.</p>

<p>Термические трещины (термический шок)</p> 	<p>Микро – и макротрещины, распространяющиеся в области режущего лезвия, вызванные переменными термическими нагрузками при прерывистом резании.</p>
--	---

Погрешности, возникающие в результате размерного износа режущего инструмента

В теории резания уделяется большое внимание износу режущего инструмента, так как его величиной определяется период экономической стойкости инструмента. Определяется износ размерами лунки износа по передней грани или фаской износа h_3 по задней грани в главном сечении I-I (Рисунок 2.17).

В настоящем разделе лабораторных работ рассматривается износ режущего инструмента с точки зрения точности механической обработки, т.е. тот износ, который непосредственно влияет на точность механической обработки, приводя к погрешностям формы и размера обрабатываемых деталей.

Этот износ в технологии машиностроения назван размерным износом режущего инструмента и измеряется на вершине инструмента в направлении, нормальном к обрабатываемой поверхности в сечении II – II. Применительно к обтачиванию резцами размерный износ – радиальный износ.

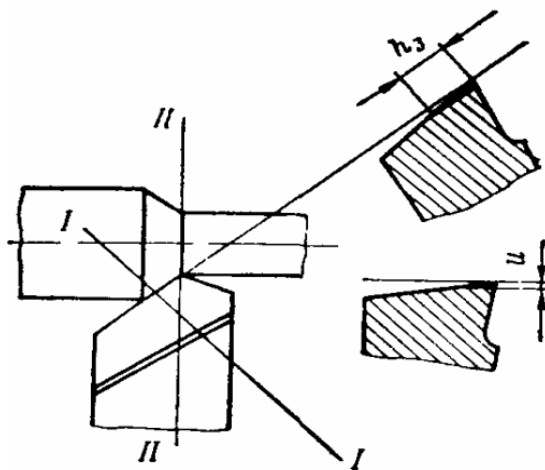


Рис. 2.17 – Размерный износ режущего инструмента

Для более правильной характеристики износа и для упрощения расчетов точности механической обработки в технологии машиностроения размерный износ обозначают u , измеряют в мкм и выражают в зависимости от пути пройденного лезвием инструмента в металле L (путь резания L в км), который для токарной обработки определяется по формуле:

$$L_{рез.} = \frac{\pi D_{заг.} L_{заг.}}{1000 S},$$

где $D_{заг.}$ – диаметр заготовки; $L_{заг.}$ – длина заготовки; S – подача.

Умножая путь резания на подачу, можно легко получить площадь обработанной поверхности.

Износ инструмента условно можно разделить на **три этапа** (рис. 2.18):

I – начальный износ, II – нормальный износ и III – интенсивный износ, когда нужно прекращать резание во избежание разрушения режущей кромки резца.

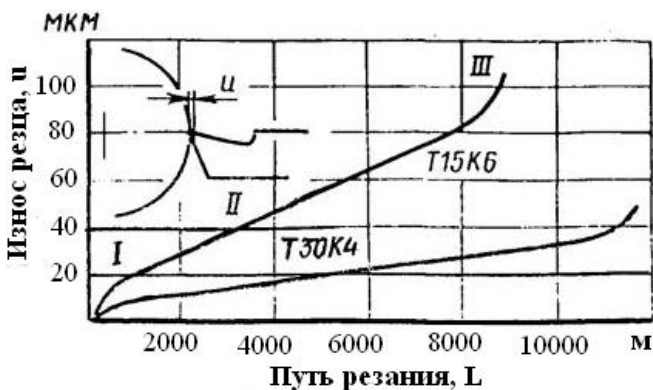


Рис 2.18. – График размерного износа

Путь резания для начального износа составляет 500–1000 м, для участка нормального износа – 30000 – 40000 м (для резцов Т30К4). На участке нормального износа зависимость $u=f(L)$ носит линейный характер. Это дает основание характеризовать интенсивность износа величиной относительного или удельного износа u^0 в мкм/км.

Удельный износ – это размерный износ на 1000 метров пути резания:

$$u_o = \frac{u}{L} 1000, \text{ мкм,}$$

где u – действительный износ.

Значение u^0 зависит от материала обрабатываемой заготовки, режимов резания, марки материала режущего инструмента и других факторов.

Например: при обработке легированной стали на скорости 135 м/мин резцами Т15К6 $u^0 = 8,5$ мкм/км; при обработке алюминиевых сплавов на скорости 180–200 м/мин резцами ВК8 $u^0 = 2,0$ мкм/км, алмазными резцами при скорости до 1000 м/мин $u^0 = 0,0005–0,001$ мкм/км.

В результате размерного износа расстояние между вершиной резца и осью вращения увеличивается (уменьшается для отверстия) на величину u_i

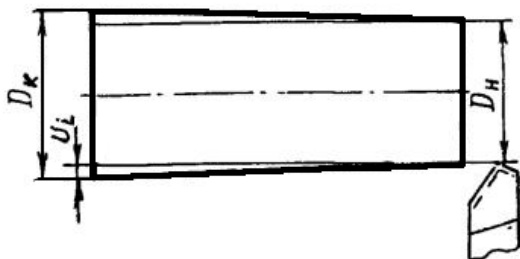


Рис. 2.19. – Схема образования погрешности формы

Износ в мкм за время обработки одной заготовки:

$$u_i = \frac{u_o L}{1000}$$

Непосредственным результатом влияния размерного износа будет появление погрешности формы (для случая токарной обработки – конусности (рисунок 2.19): $\omega_{\text{ф}} = D_{\text{к}} - D_{\text{н}} = 2 u_i$

Если заданный размер выполняется методом пробных промеров и проходов, то износ инструмента компенсируется за счёт настройки инструмента на каждую новую заготовку.

При работе на заранее настроенном станке износ и, соответственно, погрешность будут накапливаться от одной заготовки к другой до поднастройки инструмента. Необходимо отметить, что по мере износа и, соответственно, затупления инструмента значительно возрастают силы резания, что приводит к дополнительным деформациям технологической системы.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Для определения влияния размерного износа на размер обработанной поверхности необходимо произвести обтачивание двух поясков длиной 10 мм на детали. Обрабатываемая деталь должна быть жесткой для снижения влияния упругих деформаций на размер обработанной поверхности. Первый пояс обтачивается резцом, оснащенный твердосплавной сменной неперетачиваемой пластиной (СМП). При этом пластина устанавливается так, что в точении участвует режущая кромка СМП без износа (новая режущая кромка). Второй пояс обта-

чивается предварительно работавшей пластиной, которая имеет значительный износ, но ещё пригодна для обработки.

После обтачивания производится замер диаметральных размеров поясков в нескольких сечениях. В отчет необходимо занести значения диаметров и разницу в размерах, вызванную износом. При этом необходимо учитывать, что помимо размерного износа на разницу размеров оказывают и другие факторы.

Во-первых, износ режущего инструмента приводит к увеличению составляющих силы резания, что в свою очередь приводит к большим упругим деформациям в технологической системе. Таким образом, на изменение размера обработанной поверхности дополнительно влияют деформации в технологической системе.

Во-вторых, размер изменяется из-за переустановки пластины, т.е. меняется положение режущей кромки в радиальном направлении. Это происходит и в том случае, если заменяется режущая кромка на одной пластине (происходит поворот пластины), и в случае, если происходит смена пластины на новую.

При проведении эксперимента по оценке размерного износа по одной режущей кромке пластины дополнительное влияние на размер обработанной поверхности будет оказывать только первый фактор.

Во второй части работы необходимо произвести расчет, сколько раз, когда и на какую величину необходимо вводить коррекцию на инструмент в направлении оси X при обработке цилиндрической поверхности на токарном станке с ЧПУ. Для расчета необходимо знать либо удельный размерный износ резца, либо иметь график износа по задней поверхности.

В работе необходимо использовать график зависимости износа по задней поверхности от длины пути, пройденного инструментом при обработке. График приведен на рисунке 2.20.

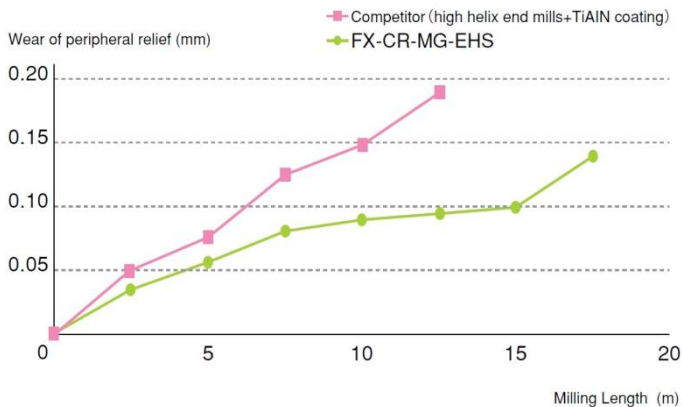


Рис. 2.20. – График износа по задней поверхности

Расчет размерного износа (рисунок 2.21) осуществляется по формуле:

$$u = h_3 \operatorname{tg} \alpha$$

где α – задний угол реза (обычно находится в диапазоне $10^\circ \dots 12^\circ$).

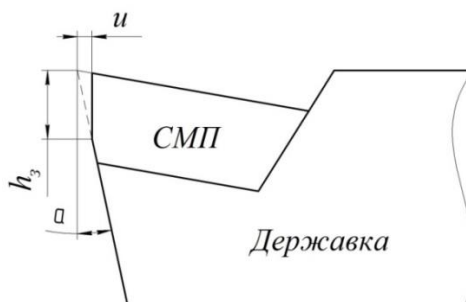


Рис. 2.21. – Размерный износ пластины

Также размерный износ можно оценить непосредственно при обработке партии деталей, измеряя износ по задней поверхности, например, с помощью лупы Бринелля. Длина резания при обработке одной детали составляет 200 мм. Допуск на обработку диаметрального размера в данной операции равен 0,02 мм. Принимаем, что после обработки первой детали действительный размер выполнен в середине поля допуска, а в последующем начинает увеличиваться.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как проявляется влияние размерного износа на точность обработки при работе по способу пробных проходов и промеров и по способу обработки по настройке?

2. Почему относительный износ вычисляется как функция времени резания, а размерный износ – как функция пути резания?

3. Что является основанием для введения понятия «удельный» (относительный) размерный износ»? Для чего введена эта характеристика износа?

4. Как изменяется из-за размерного износа диаметральный размер при растачивании?

5. Как влияет размерный износ на размеры, получаемые при фрезеровании?

1 Какие факторы влияют на величину относительного износа?

2 Какие из параметров режимов резания влияют в большей степени на величину размерного износа?

3 Каким образом можно определить количество обрабатываемых заготовок в партии до следующей под настройки технологической системы, если условно принять, что на рассеяние размеров оказывает только размерный износ режущего инструмента?

2.4 Исследование точности формы поверхности при торцевом фрезеровании

Цель работы: исследование точности формы при торцевом фрезеровании плоской поверхности.

ОСОБЕННОСТИ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Торцевое фрезерование весьма производительный метод обработки, значительно превосходящий в этом отношении фрезерование цилиндрическими фрезами. Метод обладает большими технологическими возможностями и широко используется в производстве.

Для торцевого фрезерования плоскостей чаще используется насадные многозубные фрезы. В этом случае высокая производительность метода обеспечивается:

– большой жесткостью крепления инструмента;

-одновременным участием в работе нескольких зубьев (ножей) фрезы;

-простотой оснащения ножей высокоэффективным режущим материалом;

-значительными диаметральными размерами инструментов.

Применяя фрезы с большим числом тщательно установленных ножей, при небольших подачах на зуб, можно легко сочетать высокую производительность обработки с малой шероховатостью обработанной поверхности.

Обработка с использованием насадных фрез осуществляется по следующим схемам (рис. 2.22):

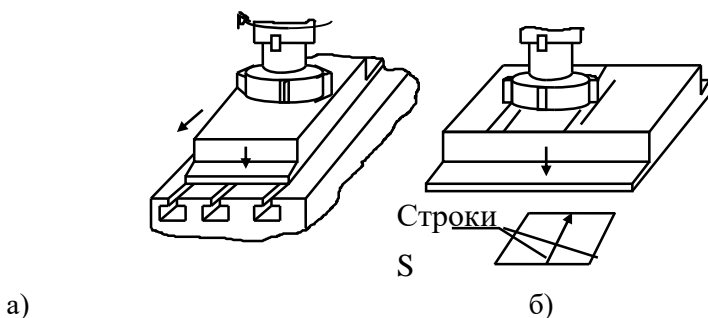


Рис. 2.22. Схемы торцевого фрезерования.

В одном случае фреза полностью перекрывает обрабатываемую поверхность (см. рис.2.22а). Эту схему называют симметричным неполным торцевым фрезерованием. В другом случае, когда ширина обрабатываемой поверхности больше диаметра фрезы, обработку ведут строками с небольшим их перекрытием (см. рис.2.22б).

ПОГРЕШНОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С МЕТОДОМ ТОРЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

При торцевом фрезеровании плоскостей необходимо обеспечить характеристики точности – точность формы обработанной поверхности, точность её расположения относительно выбранных баз.

В данной лабораторной работе рассматривается только первая часть этих задач применительно к схеме обработки, показанной на рис.2.22а.

ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ ПРИ ТОРЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

При фрезеровании торцевыми насадными фрезами характерной погрешностью формы является неплоскостность, проявляющаяся как вогнутость образующей фрезерованной поверхности. Она обнаруживается в поперечном сечении заготовки, перпендикулярном направлению подачи стола.

Нарушение перпендикулярности оси шпинделя к направлению продольной подачи, в свою очередь, может быть вызвано двумя причинами:

- геометрической неточностью станка (угол α' на рис.2.23);
- деформацией (отжатием) шпинделя станка под действием сил резания.

Отжатие шпинделя в процессе фрезерования возникает главным образом из-за податливости опор. Величина и направление этой деформации зависит от зазоров в подшипниках и соотношения моментов (см. рис. 2.23):

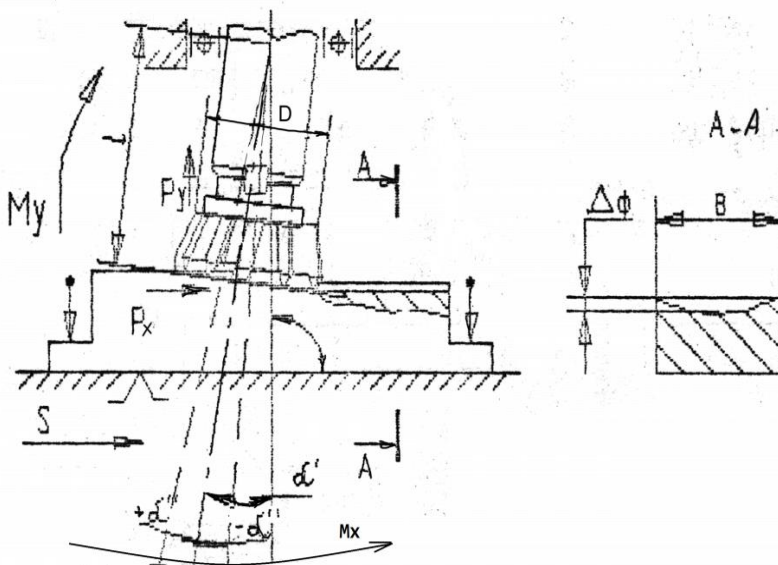


Рис. 2.23. Схема образования отклонения формы

$$M_X = P_X \cdot l \text{ и } M_Y = P_Y \cdot D/2$$

где P_X и P_Y – радиальная и осевая составляющие силы резания соответственно;

l – вылет шпинделя с фрезой;

D – диаметр, измеренный по вершинам резцов фрезы.

Как видно из рис.2.23, эти моменты противоположны по направлению, поэтому возможно три случая:

при $M_Y > M_X$ – шпиндель отжимает в направлении по часовой стрелке на угол $+\alpha''$;

при $M_Y < M_X$ – шпиндель отжимается против часовой стрелки на угол $-\alpha''$;

при $M_Y = M_X$ – сохраняется исходное положение шпинделя.

Следует отметить, что при постоянной жёсткости узла шпинделя, колебания угла α при обработке партии заготовок зависит от колебания сил резания в связи с изменением величины припуска, твёрдости обрабатываемого материала, состояния инструмента. Вообще же узлы шпинделей фрезерных станков имеют большую жёсткость, поэтому величина α обычно незначительна.

Т.о., какой бы причиной не вызывалось отклонение оси шпинделя от нормали к столу, результат этого отклонения вполне характеризуется углом α между нормальным и действительным положением этой оси. Действительный угол α , как следует из изложенного, определяется алгебраическим суммированием углов α' и α'' :

$$\alpha = \alpha' + \alpha''$$

При обработке партии заготовок отклонение формы $\Delta\phi$, связанное с углом α' , будет систематической постоянной составляющей, а влияние угла α'' проявится, главным образом, в рассеянии ω_ϕ параметра $\Delta\phi$:

$$\omega_\phi = \Delta\phi_{\max} - \Delta\phi_{\min}, \quad (2.18)$$

где $\Delta\phi_{\max}$ и $\Delta\phi_{\min}$ – наибольшая и наименьшая величина отклонения формы в пределах партии.

При наличии угла α между нормальным и действительным положением оси шпинделя для схемы симметричного фрезерования отклонение формы может быть рассчитано по формуле:

$$\omega_{\phi} = 0.5 \cdot \sin \alpha \cdot \left[1 - \sqrt{1 - (B/D)^2} \right] \cdot D, \quad (2.19)$$

где D – диаметр, измеренный по вершинам зубьев фрезы;

B – ширина заготовки.

О появлении вогнутости на обработанной поверхности можно судить по наличию в ней характерных рисок шероховатости, обнаруживаемых визуально (рис.2.24). При наличии вогнутости риски шероховатости имеют вид одинаково ориентированных дуг. Расположение рисок указывает, в какую сторону от номинального положения отклонена ось шпинделя: если вершины дуг направлены влево, то ось шпинделя отклонена вправо (против часовой стрелки) и наоборот (см. рис.2.24а,б). Когда положение шпинделя соответствует номинальному, на обработанной поверхности более или менее просматриваются риски обоих направлений (см. рис.2.24в)

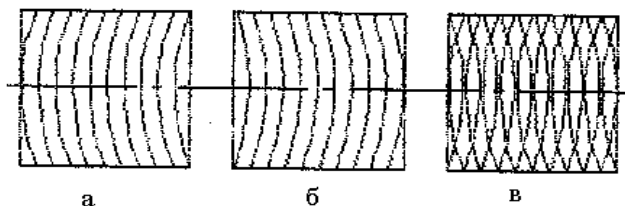


Рис.2.24. Следы обработки на фрезерной поверхности

Измерение отклонения формы осуществляет простейшими индикаторными или микрометрическими глубиномерами (рис. 2.25), которые предварительно настраивают (с отметкой начального положения) по плоскому гладкому эталону.

Можно использовать и способ измерения с помощью лекальной линейки которая устанавливается на образец, а погрешность Δf выявляется визуально «на просвет» и измеряется шупом.

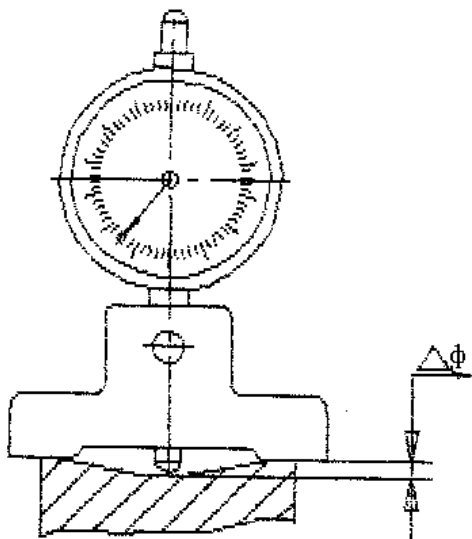


Рис.2.25. Измерение величины $\Delta\phi$

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Характер работы ставит студента – исполнителя в условия, приближенные к производственным, т.к. требует от него выяснить причины появления отклонения $\Delta\phi$, найти и реализовать пути его устранения.

Работа состоит из двух частей.

1. До начала работы искусственно создается неправильность во взаимном расположении шпинделя станка и стола. Это достигается поворотом фрезерной головки вертикально – фрезерного станка в любую сторону от нормального положения на угол $1...3^\circ$. Операцию выполняет лаборант.

Обрабатываемой заготовкой служит брусок из дюралюминия Д16 с габаритами $75 \times 50 \times 30$, на которой фрезеруется плоскость 75×30 мм (рис.2.26)

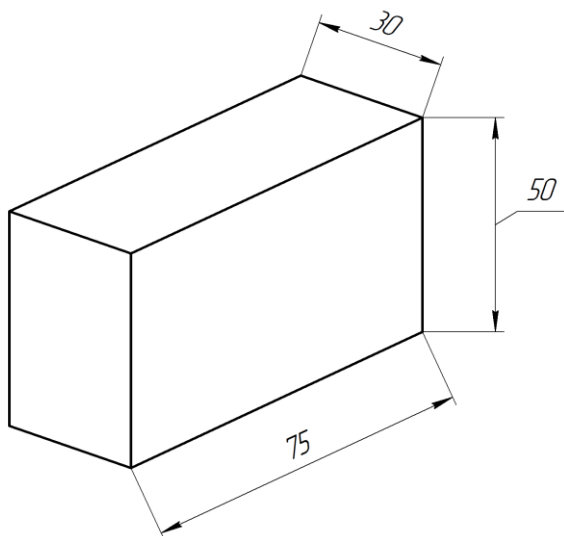


Рис.2.26. Образец

Заготовка устанавливается на нижнюю плоскость станка и закрепляется в тисках станка.

В процессе первичного фрезирования с поверхности А снимается припуск около 0.5мм. Для этого глубина резания устанавливается по касанию фрезы с плоскостью Б образца с учетом фактической величины степени С.

2. По окончании обработки и после выключения станка глубиномером измеряют действительную величину $\Delta\phi$ в зонах А и Б и определяют рассеяние

$$\omega = \Delta\phi_A - \Delta\phi_B$$

Затем, подставляя в формулу (2.19) найденную величину $\Delta\phi_A$, вычисляют $\sin \alpha$ и определяют угол α (с помощью табл.2.1) отклонения оси шпинделя от номинала. По направлению рисок шероховатости устанавливают направление поворота фрезерной головки в нормальное положение.

3. После установки шпинделя в расчетное положение, производят контрольное фрезирование поверхности. При этом глубина резания ограничивается 0.2-0.3 мм.

В случае, если повторная обработка не обеспечит достижения заданного допуска, производят дополнительную коррекцию положения оси шпинделя, ориентируясь только по рискам шероховатости.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить инструкцию к лабораторным работам. Особое внимание обратить на соблюдение техники безопасности при работе на фрезерных станках. Получить от преподавателя разрешение начать работу.

2. Установить и надежно закрепить образец в тисках. Ориентируясь визуально, расположить ось фрезы в плоскость симметрии образца. Произвести первичную обработку заготовки – образца на глубину 0.5 ± 0.1 мм (для поверхности А см. рис. 2.26). Выключить станок. Работы по п.2 выполняются лаборантом.

3. Настроить глубиномер и измерить неплоскостность обработанной поверхности в зонах А и Б – $\Delta_{\phi А}$ и $\Delta_{\phi Б}$ и рассчитать величину расцеивания ω_{ϕ}

4. Рассчитать, зная $\Delta_{\phi А}$, с помощью формулы (2.19) величину $\sin \alpha$ и определить угол α коррекции положения шпинделя. По картине рисок шероховатости установить направление поворота фрезерной головки. Произвести установку головки в расчетное положение.

5. Повторно обработать образец с глубиной резания 0.2-0.3 мм. С помощью прибора и визуально по рискам шероховатости и ее соответствие допуску.

6. В случае несоответствия действительного отклонения формы допустимому, повторить коррекцию положения шпинделя, ориентируясь при этом только на расположения рисок шероховатости.

7. По достижении допустимой величины неплоскостности предъявить результаты работы преподавателю.

8. Сопоставить расчетную величину $\alpha_{\text{расч}}$ с фактическим значением $\alpha_{\text{факт}}$, измеренным по окончании корректирования положения головки, сделать вывод о пригодности формулы (2.19) для определения угла коррекции. В случае расхождения $\alpha_{\text{расч}}$ и $\alpha_{\text{факт}}$ более, чем на 20%, объяснить причину этого. Сделать выводы из выполненной работы.

9. Оформить отчет по выполненной работе.

10. Предъявить отчет преподавателю.

ОТЧЕТ должен содержать

- схему обработки, краткие характеристики станка, инструмента и режимов резания;
- схему расположения рисок после первичного фрезерования и результат измерения $\Delta_{фА}$, $\Delta_{фБ}$ и расчет $\omega_{ф}$
- расчет величины угла коррекции $\alpha_{расч}$ и рисунок рисок шероховатости с указанием направления коррекции
- величину $\Delta ф$ после коррекции и ее сопоставления с допуском $T=0.03$ мм;
- результат измерения фактического угла $\alpha_{факт}$ и его сопоставления с $\alpha_{расч}$;
- выводы, в которых дается заключение о применимости формулы (2.19) для расчета коррекции положения шпинделя, объясняются причину несовпадения углов $\alpha_{расч}$ и $\alpha_{факт}$.

Таблица 2.2. – Значения синусов в интервале 0° - 2°

Угол	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	Разности				
											1	2	3	4	5
0	0,0000	0,0017	0,0035	0,0560	0,0070	0,0087	0,1050	0,1220	0,0014	0,0157					
1	0,0175	0,0192	0,209	0,2270	0,244	0,262	0,2790	0,2970	0,314	0,0332					
2	0,0344										3	6	9	12	15

2.5 Анализ точности обработки фрезерованием

При изготовлении деталей обеспечивается две геометрические характеристики точности: точность самой поверхности и точность расположения этой поверхности относительно других поверхностей детали.

Выполнение первой характеристики точности зависит, главным образом от погрешностей метода обработки.

Вторая характеристика точности зависит от принятой технологической схемы обработки и отличается от первой более сложной размерной связью, требующей для ее решения применения размерных цепей.

Целью данной работы является установление и анализ размерных связей второй характеристики точности на конкретном примере обработки деталей.

В качестве такого примера рассматривается обработка пазов валков по прилагаемой операционной карте. Обработка пазов производится на вертикально-фрезерном станке мерной концевой фрезой с установкой деталей в призме.

Аналізу подвергается параметр точности расположения оси паза относительно оси цилиндрической поверхности валика при фрезеровании этого паза по трем вариантам.

Вариант I. Деталь устанавливается в призме, ось которой (00) совпадает с направлением фрезерования (осью паза); настройка инструмента производится от базы приспособления (оси призмы).

Вариант II. Деталь устанавливается в призме, ось которой перпендикулярна направлению фрезерования (оси паза); настройка инструмента производится от базы по первому варианту.

Вариант III. Деталь устанавливается в призме по II-му варианту; инструмент настраивается от базы детали.

Приняв в качестве замыкающего звена технологической размерной цепи технологической системы погрешность расположения осей паза и цилиндрической поверхности детали (Δ), получим для каждого варианта фрезерования паза (рисунок 2.27):

$$\Delta_{CM_I} = \Delta_{\Gamma_I} + \Delta_{\text{Щ}_I} + \Delta_{R_I} + \Delta_{\rho_I};$$

$$\Delta_{CM.H. II} = \Delta_{\text{Щ}_{II}} + \Delta_{R_{II}} + \Delta_{\rho_{II}} + \Delta_{\Gamma_{II}};$$

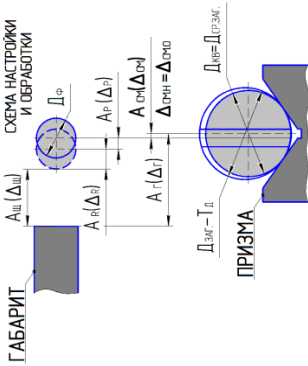
$$\Delta_{CM.O. II} = \Delta_{CM.H. II} + \Delta_{\gamma_{II}};$$

$$\Delta_{CM.H. III} = \Delta_{R.З. III} + \Delta_{И.Н. III} + \Delta_{R_{III}} + \Delta_{\rho_{III}};$$

$$\Delta_{CM.H. III} = \Delta_{CM.O. III};$$

где Δ_{Γ} – погрешность габарита; Δ_R – погрешность измерения фрезы; $\Delta_{\text{Щ}}$ – погрешность щупа; Δ_{ρ} – биение фрезы; Δ_{γ} – погрешность установки; $\Delta_{R.З.}$ – погрешность измерения заготовки; $\Delta_{И.Н.}$ – погрешность инструмента настройки; Δ_{CM} – отклонение паза от начального положения.

ФРЕЗЕРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО
ПЛОСКОСТИ СИМЕТРИИ ПРИЗМЫ

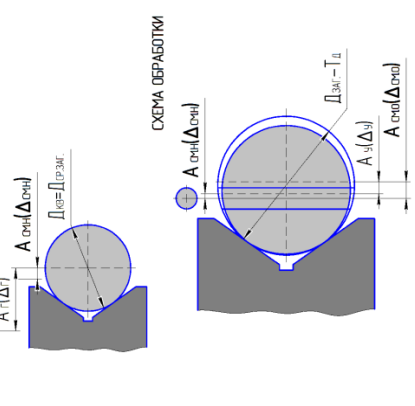


- $\Delta_{ш} = \Delta_{г} + \Delta_{р} + \Delta_{ш} + \Delta_{\nu}$
- $D_{зк}$ – ДИАМЕТР УСТАНОВОЧНОГО ВАЛИКА
- $D_{зк}$ – ДИАМЕТР ЗАГОТОВКИ
- $D_{ф}$ – ДИАМЕТР ФРЕЗЫ
- $\Delta_{г}$ – ПОГРЕШНОСТЬ ГАБАРИТА
- $\Delta_{р}$ – ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ФРЕЗЫ
- $\Delta_{ш}$ – ПОГРЕШНОСТЬ ЩУЛА
- Δ_{ν} – БИЕНИЕ ФРЕЗЫ
- $\Delta_{от}$ – ОТКЛОНЕНИЕ ПАЗА ОТ НАЧАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ

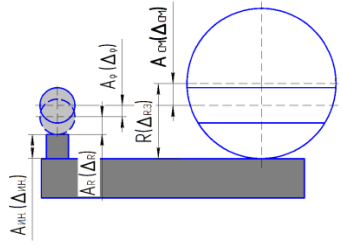
ФРЕЗЕРОВАНИЕ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНО
ПЛОСКОСТИ СИМЕТРИИ ПРИЗМЫ



$\Delta_{от} = \Delta_{ш} + \Delta_{р} + \Delta_{г} + \Delta_{\nu}$
 $\Delta_{от} = \Delta_{от} + \Delta_{\nu}$
 Δ_{ν} – ПОГРЕШНОСТЬ УСТАНОВКИ



НАСТРОЙКА ИНСТРУМЕНТА
ОТ БАЗЫ ЗАГОТОВКИ



- $\Delta_{от} = \Delta_{зк} + \Delta_{ин} + \Delta_{р} + \Delta_{\nu}$
- $\Delta_{от} = \Delta_{от}$
- $\Delta_{зк}$ – ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАГОТОВКИ
- $\Delta_{ин}$ – ПОГРЕШНОСТЬ ИНСТРУМЕНТА НАСТРОЙКИ

Рис. 2.27. – Варианты обработки пазы

Примечание:

1. Погрешностью расположения осей от динамических факторов при фрезеровании паза пренебрегаем.
2. Слагаемые и др. представляют собой отклонения. Величины их для каждого слагаемого равны и могут иметь равновероятно знак плюс(+) или минус (-).

Содержание работы

Работа состоит из двух частей: 1) расчетной и 2) экспериментальной.

В первой части работы студент путем расчета определяет погрешность расположения осей паза цилиндрической поверхности детали (ω) для трех вариантов фрезерования и дает заключение о возможности выполнения операции фрезерования паза по каждому варианту.

Данные для расчетов:

$$\Delta_r = 0,01\text{мм}; \quad \Delta_{\text{ш}} = 0,01\text{мм}; \quad \Delta_R = 0,01\text{мм}; \quad \Delta_p = 0,02\text{мм}.$$

$$\Delta_y = \frac{T}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$$

где T – отклонение на диаметральный (средний) размер детали;

α – угол призмы (принят 90°);

$$\Delta_{R.З.} = 0,01\text{мм}; \quad \Delta_{И.Н.} = 0,02\text{мм}.$$

Эскизы и расчеты с необходимыми пояснениями заносятся в отчет по работе.

Во второй части работы студент проводит экспериментальную проверку точности расположения осей паза и цилиндрической поверхности детали (ω) при фрезеровании паза по трем вариантам и дает заключение о соответствии результатов эксперимента расчетным данным.

При проведении экспериментов необходимо: произвести наладку станка по прилагаемой операционной карте: обработать по две детали (с наибольшим и наименьшим диаметрными размерами) для каждого варианта: измерить действительные величины и записать в отчет.

Установка фрезы (точнее оси вращения шпинделя) для I-го II-го вариантов фрезерования производится с помощью габарита и щупа. Для устранения влияния биения фрезы при установке необходимо поворотом шпинделя поставить ее в нейтральное положение, при котором ее ось совпадет с осью паза.

Настроечный размер C при установке инструмента для III-го варианта фрезерования определяется для каждой детали по формуле:

$$C=R_3-R_{\Phi}$$

где R_3 и R_{Φ} – действительные величины радиусов заготовки и фрезы.

По окончании работы снять приспособления и инструмент привести в надлежащий вид и сдать лаборанту. Оформит отчет и сдать руководителю.

Перечень оснастки и инструмента для проведения экспериментов

1. Приспособление для фрезерования пазов по I-му варианту.
2. Приспособление для фрезерования пазов по II-му и III-му вариантам.
3. Фреза концевая $\varnothing 10$ мм.
4. Штангенциркуль 0-250 мм.
5. Штангенглубомер 0-150 мм.
6. Микрометр 0-25 мм.
7. Щуп.
8. Образцы.
9. Надфиль.
10. Набор ключей и др. инструментов, необходимых для работы на станке.

2.6 Исследование чистового этапа технологического процесса изготовления вала

Цель работы. Провести теоретический анализ и экспериментальное исследование возможности достижения заданной точности изготовления вала, в зависимости от выбранного маршрутного технологического процесса и рекомендовать оптимальный маршрут обработки.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛОВ

Валы ГТД имеют ряд специфических технологических особенностей, которые связаны с их условиями работы (минимальный вес, специальные материалы, наличие зубчатых венцов, фланцев, шлицов, канавок, точных базовых поверхностей). Материалы для изготовления валов: термоулучшаемые, цементируемые и азотируемые стали.

Заготовки для валов получают штамповкой, поперечным прокатом, ротационным обжатием, ротационным выдавливанием, заготовки ответственных валов ГТД принимают по первой группе контроля. Припуски на обработку составляют 6...12 мм на диаметр.

Механическая обработка валов обычно разделяется на три этапа: черновой, чистовой и окончательный. Черновой обработкой достигается равномерное распределение припуска на последующую обработку, удаляются поверхностные дефекты. Основной целью чистого этапа является получение вала с малым равномерным припуском под цементацию и окончательную обработку с точными размерами, минимальными биениями и хорошим качеством поверхностного слоя. При окончательной обработке обеспечиваются все требования конструктора по точности и качеству поверхностного слоя.

Важным условием выполнения этих требований при минимальных затратах является правильный выбор маршрута обработки, технологических баз, режимов и т.д. Максимальная производительность может быть обеспечена при автоматическом выдерживании размеров с применением многолезвовой обработки и при использовании прогрессивной технологической оснастки.

РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ПОГРЕШНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПО РАЗЛИЧНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ МАРШРУТАМ

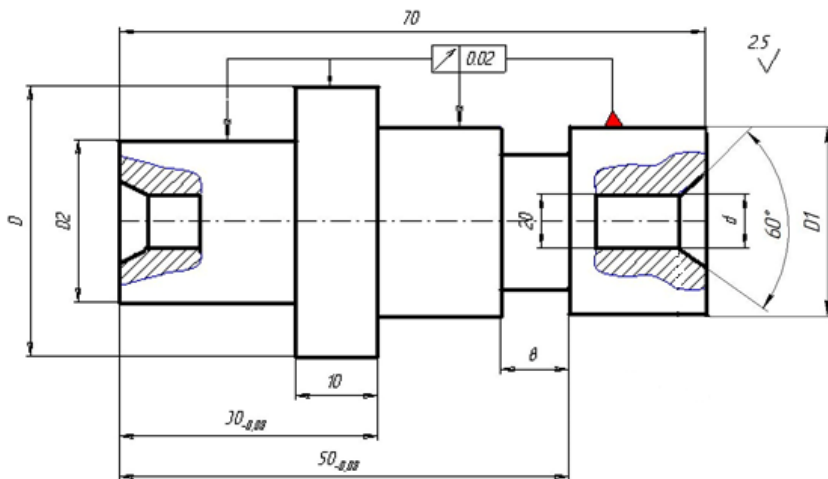
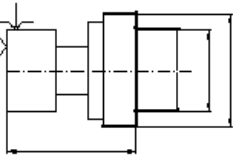
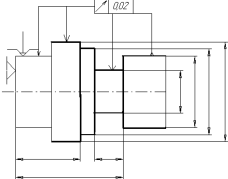
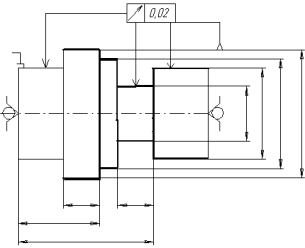
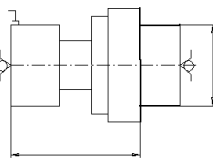
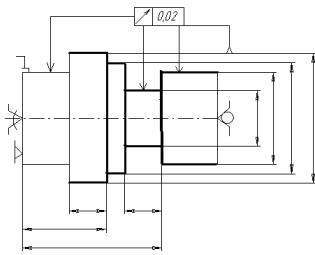
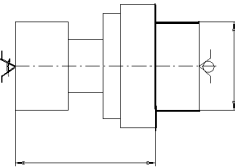


Рис.2.28. Чертеж вала




Анализ этого чертежа показывает, что при выборе маршрута обработки и проектировании технологической оснастки необходимо обратить внимание на возможность выдерживания размеров с заданной точностью при обработке и настройке, а также на возможность обеспечения точности взаимного расположения (биения) цилиндрических поверхностей в пределах $0,02$. В лабораторной работе рассматривается чистовой этап обработки вала методом точения. При этом ставится задача окончательного получения размеров, заданных конструктором и анализа трех возможных вариантов чистового этапа обработки, которые приведены в таблице 2.4. Обработка производится по настройке.

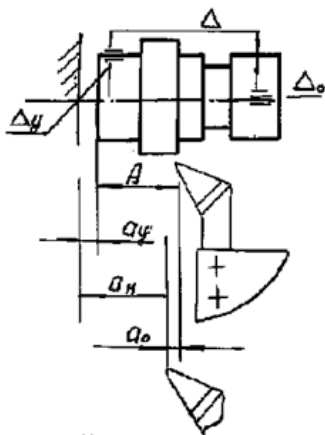
На рис.2.28 представлена расчетная схема для определения точности полученных размеров в чистовом этапе при обработке по маршруту 1.

Таблица 2.4 Получение размеров, заданных конструктором и анализа трех возможных вариантов чистового этапа обработки

Вариант	Маршрут чистового этапа обработки вала	
	ОП.№ Токарная чистовая	ОП.№ Токарная чистовая
I		
II		
III		

Примечание: В соответствии ГОСТ 3.11.07.81 на эскизах приняты следующие обозначения:

-  – установка в 3-х кулачковом патроне
-  – центр неподвижности
-  – центр вращающийся



$$A + a_{y} = a_{0} + a_{н}$$

$$A\Delta = A + a_{н} + a_{o} - a_{y}$$

$$\overline{\omega}_A = \overline{\omega}_o + \overline{\omega}_y + \overline{\omega}_{н}$$

$$\omega = \omega_y + \omega_o$$

Рис.2.29 Расчетная схема для определения точности, полученных размеров в первом варианте

Необходимо определить погрешность размера A , которая может быть при обработке на настроенном станке.

В качестве составляющих объектов:

a_y – размер, определяющий положение установочной базы относительно опорной поверхности приспособления;

a_n – размер, на который настраивается инструмент;

a_o – размер, определяющий величину отжима и износа инструмента в процессе обработки.

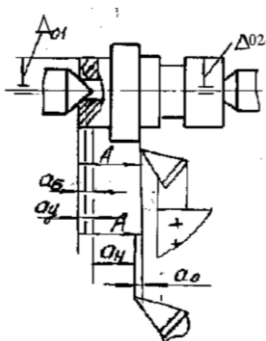
Для расчета можно принять следующие значения указанных размеров:

$$a_y = 0 \pm 0.02;$$

$$a_n = 0 \pm 0.05;$$

$$a_o = 0 \pm 0.01.$$

При расчете величины биения цилиндрических поверхностей принимаем: $\Delta_y = 0.15$, $\Delta_o = 0.01$.



5

$$A - a_y - a_n - a_o - a_\delta = 0$$

$$\sigma_A = \sigma_y + \sigma_n + \sigma_o + \sigma_\delta$$

$$\omega = \omega_{o1} + \omega_{o2}$$

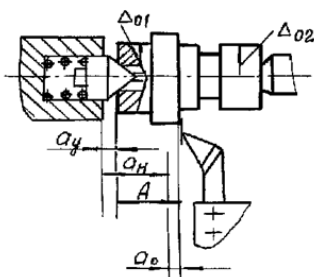
Рис.2.30 Расчетная схема для определения точности, полученных размеров во втором варианте

При расчетах по этой схеме примем следующие значения размеров:

$$a_y = 0 \pm 0.02; \quad a_n = A - 0.05; \quad a_o = 0 \pm 0.01; \quad a_\delta = 0 \pm 0.2;$$

Размер a_δ определяет величину смещения торца вала при его установке в центрах.

Третий маршрут обработки валика предусматривает использование плавающего центра, обеспечивающего фиксированное положение базового торца и оси заготовки и точное положение ее.



$$A + a_y - a_o - a_n = 0$$

$$\sigma_A = \sigma_o + \sigma_y + \sigma_n$$

$$\omega = \omega_{o1} + \omega_{o2}$$

В этой схеме значения всех составляющих размеров можно принять в соответствии с вариантом 1.

P

Рис. 2.31 Схема расчета величины погрешности координирующего размера и взаимного биения

В этой схеме значения всех составляющих размеров можно принять в соответствии с вариантом 1.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа состоит из двух частей. В первой части студенты изучают особенности построения технологических процессов изготовления валов и проводят расчет точности обработки.

Во второй части работы студенты проводят экспериментальные исследования точности получения размеров при обточке валов на настроенном станке для трех вариантов построения технологического процесса.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Провести расчет точности получения линейного размера и взаимного положения поверхностей для трех вариантов обработки в соответствии с расчетными схемами, приведенными в п. 2.

2. Провести настройку станка по эталону при обработке в трехкулачковом патроне (вариант 1).

3. Обработать 3 заготовки на настроенном станке и измерить штангенциркулем размер, координирующий положение буртика, а также в центрах взаимное биение диаметров.

4. Повторить работы по пунктам 2 и 3 при обработке в центрах (вариант 2) и с плавающим центром (вариант 3).

5. Сравнить расчетные и экспериментальные данные по точности изготовления валика для 3-х маршрутов и дать рекомендации по выбору технологического процесса.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Эскиз детали.
2. Расчетные схемы и расчет точности изготовления.
3. Таблица результатов расчетов и результаты измерений.
4. Анализ полученных результатов, рекомендации и выводы.

2.7 Исследование точности обработки на токарном станке статистическим методом

Цель работы: освоение методики статистического исследования точности обработки три обточке валиков на настроенном токарном станке.

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ТОЧНОСТИ

Под точностью обработки понимают степень соответствия действительных, полученных после обработки геометрических параметров деталей, заданным геометрическим параметрам.

К понятию «геометрические параметры» относятся размеры, форма и взаимное расположение поверхностей деталей.

В данной работе рассматривается точность размера-диаметра валика после обточки.

Определение точности обработки является сложной задачей. Для ее решения применяют расчетно-аналитический и статистический методы. Расчетно-аналитический, метод базируется на исследовании факторов, вызывающих первичные погрешности, установление между ними функциональной зависимости, расчете каждой составляющей погрешности и суммировании их для определения погрешности обработки. Достоинством этого метода является то, что можно выявить факторы, вызывающие первичные погрешности, и наметить пути их уменьшения.

Статистический метод позволяет оценить действие в данной операции сразу всей совокупности факторов. При этом нет необходимости проводить эксперименты по выявлению влияния отдельных факторов на точность обработки; достаточно на основе непосредственного наблюдения на производстве по данному геометрическому параметру измерить партию деталей.

Каждый из этих методов имеет свою область применения, и они не исключают, а, наоборот, дополняют друг друга.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Произвести настройку стайка на размер: $X_{-0,12}$.
2. Обработать 40–50 деталей согласно операционной карте (по одному пояску на каждой детали).

3. Измерить обработанные пояски микрометром с ценой деления 0,01 м. Результаты занести в таблицу 2.3.

4. Обработка результатов измерения деталей.

Этот этап включает в себя решение ряда задач:

Определение результирующей погрешности обработки (задача №1). Определение доверительных интервалов для найденных оценок параметров (задача №2). Определение систематических постоянных, закономерно изменяющихся и случайных погрешностей для данной партии (задача №3).

5. Решить одну из поставленных задач статистическим методом (по заданию преподавателя).

6. Рабочее место, оснастку и инструмент привести в порядок и сдать лаборанту.

Настройка станка производится по заранее рассчитанному настроечному размеру $X_{н.р.}$ методом пробных проходов и промеров. Для этого у первой детали на небольшой длине обтачивается поясик на размер, превышающий $X_{н.р.}$, и делается промер.

Промеры и проходы повторяются до тех пор, пока не будет достигнут размер, близкий к настроечному. При этом замечают деление лимба винта поперечной подачи, устанавливают по нему резец и обтачивают 3-4 пробных детали. Средний размер этих деталей не должен отклоняться от $X_{н.р.}$ на величину $\left(\frac{1}{5} \div \frac{1}{6}\right)$ от допуска, на размер (δ), т. е. на

$0,02 \div 0,025$ мм. Если отклонение превосходит указанное значение, делают поднастройку станка, затем обрабатывают всю партию деталей и производят измерения. Погрешность измерения согласно ГОСТу не должна превышать (15–20%) от δ .

Решение приведенных выше задач рассмотрим на примере для случая $X = \varnothing 20$ мм, при объеме партии $N = 40$ шт.

В качестве настроечного размера принят средний размер поля допуска $X_{н.р.} = X_{\delta p} = 19,94$. Измерение деталей осуществлялось по мере снятия их со станка, микрометром с ценой деления 0,01 мм.

Результаты измерения представлены в протоколе наблюдений (таблица 2.5).

Таблица 2.5. Протокол наблюдений

№ п.п.	Размеры X_i	№ п.п.	Размеры X_i
1	19,94	21	18,87
2	19,95	20	18,86
3	19,93	22	
4		.	
5		.	
6	19,99	.	
7			
.			
.			
.		40	

Задача 1

В таблице 1 отмечаются наибольший (X_{\max}) и наименьший (X_{\min}) размеры и определяется размах варьирования (R).

$$R = X_{\max} - X_{\min} = 19,99 - 19,86 = 0,13(\text{мм}). \quad (2.20)$$

Для упрощения расчетов и построения кривых распределения R делят на интервалы. Число интервалов (K) зависит от количества деталей (N), взятых для статистического анализа:

при $N < 50$ рекомендуется $K = 5 \div 7$

$N = 50 \div 100$ $K = 7 \div 9$

$N > 100$ $K = 9 \div 12$

Величина интервала $C = \frac{R}{K}$ должна быть больше цены деления

шкалы измерительного инструмента и округлена до числа с минимумом значащих цифр. Например, при $C_p = 0,0189$ (полученным из расчета) принять $C = 0,02$, при $C_p = 0,0211$ принять $C = 0,02$ и т. д.

В соответствии с рекомендациями принимаем $K = 7$.

Тогда

$$C = \frac{R}{K} = \frac{0,13}{7} = 0,0186 \approx 0,02. \quad (2.21)$$

Образование интервалов производят в следующем порядке:

а) нижняя граница первого интервала берется равной действительному наименьшему размеру детали $X_{\min} = 19,86$. Верхняя граница определяется как сумма

$$X_{\min} + C = 19,86 + 0,02 = 19,88 \text{ (мм)}. \quad (2.22)$$

Второй интервал образуется путем прибавления $C = 0,02$ к размеру 19,88 мм и т. д.

Полученные интервалы сводятся в таблице 2.6 (графа 2).

Таблица 2.6. Интервалы

№1 п.п	Границы интервалов	Средний размер ин- тервала $X_{\text{ср}}$	Подсчет кол-ва случаев	Частота n_i	Частость $\frac{n_i}{N}$
1	19,86-19,88	19,87	11	2	0,05
2	19,88-19,90	19,89	11111	5	0,125
3	19,90-19,92	19,91	111111111	9	0,225
4	19,92-19,94	19,93	111111111 11	11	0,275
5	19,94-19,96	19,95	1111111	7	0,175
6	19,96-19,98	19,97	11111	5	0,125
7	19,98-20,00	19,99	1	1	0,025

б) вычисляется среднее значение каждого интервала (графа 3);

в) в графе 4 производится подсчет количества случаев. Для этого просматриваются все измерения в порядке их написания в табл. 1 и для каждого размера (табл. 2.6, графа 4) делается заметка против соответствующего ему интервала.

При подсчете случаев условно принимается, что значения размеров, равных верхним границам интервалов, входят в каждый последующий интервал, т. е. 19,88 мм – во второй, 19,90 мм – в третий интервал и т. д.;

г) количество заметок подсчитывается и проставляется в графе 5 табл. 2.4. Сумма чисел этого столбца должна равняться количеству деталей партии $N = 40$;

д) частость (графа 6) определяется делением числа деталей, находящихся в пределах каждого интервала – n_i на общее количество деталей партии N .

По данным X_{icp} и $\frac{n_i}{N}$ (или n_i) строится практическая кривая распределения (рисунок 2.32, а).

По оси абсцисс в определенном масштабе откладываются средние значения интервалов. Масштаб выбирается произвольно. Например, $M=750:1$ ($a_{np}=750$), т. е. Интервал $C=0,02$ мм соответствует пятнадцати миллиметрам ($0,02 \times 750 = 15$ мм, рис. 2.32, б). Масштаб ординаты также выбирается произвольно. Например, $b_{np} = 300$, тогда ординаты найдутся по зависимости $\frac{n_i}{N} b_{np}$ (для первого интервала $0,05 \times 300 = 15$ мм).

Для более точной оценки точности обработки практические кривые распределения заменяются теоретическими, изображающими вполне определенные законы распределения случайных величин. Так, при обработке деталей на станке по способу автоматического получения размеров используется закон нормального распределения, выражаемый уравнением

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.23)$$

где $x = X_{icp} - X_{cp}$.

Следовательно, для построения теоретической кривой необходимо по данным опыта вычислять две характеристики: X_{cp} и σ .

$$X_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{icc} \cdot n_i}{N} = \frac{19,87 \times 2 + 19,87 \times 5 + 19,91 \times 9 + \dots + 19,99 \times 1}{40} = 19,93(\text{мм}); \quad (2.24)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{icp} - X_{cp})^2 \cdot n_i}{N - 1}} = \sqrt{\frac{(19,93 - 19,87)^2 \cdot 2 + (19,93 - 19,89)^2 \cdot 5 + \dots + (19,93 - 19,99)^2 \cdot 1}{39}} = 0,029(\text{мм}). \quad (2.25)$$

Теоретическая кривая строится по осям X и Y (рисунок 2.32, а).

Начало координат $X_0 = 0$ размещается в точке $X_{cp} = 19,93$ мм (рисунок 2.32, в). По оси абсцисс от X_0 (вправо и влево) откладываются $X_1 = \pm \sigma$; $X_2 = \pm 2\sigma$; $X_3 = \pm 3\sigma$. Масштаб теоретической и практической кривой для значений C и σ принимается одинаковый:

$$am = a_{np} = 750,$$

тогда на абсциссе графика будет отложена величина

$$\sigma = 0,029 \times 750 = 21,7 \text{ мм.}$$

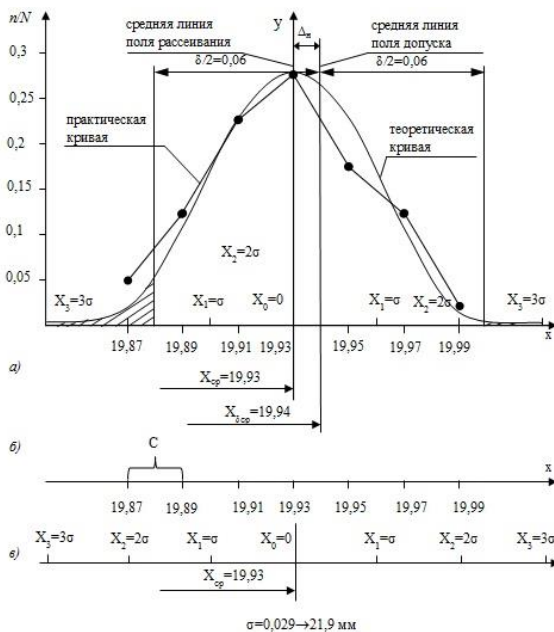


Рис.2.32. – Построение кривых распределений

Для нахождения ординат «Y», соответствующих значениям X0, X1, X2 и X3, пользуются таблице 2.5 (функция Лапласа).

Табличные значения Y_m умножают на b_m , вычисленное из условия равенства площадей под практической и теоретической кривой

$$b_m = b_{np} \cdot \frac{c}{\sigma} = 300 \cdot \frac{0,02}{0,029} = 207. \quad (2.26)$$

Так, точке $X_0=0$ соответствует ордината

$$y_0 = y_m \times b_m = 0,399 \times 207 = 82,6(\text{мм}). \quad (2.27)$$

Результаты вычислений сведены в графу 3, таблица 2.7.

Таблица 2.7. Функция Лапласа

X в долях σ	y_m	$Y=Y_m b_m$ (мм)
0	0,399	82,6
0,5	0,352	72,9
1,0	0,242	50,1
1,5	0,130	26,9
2,0	0,054	11,2
2,5	0,018	3,7
3,0	0,004	0,9

Из теории вероятностей известно, что в пределах $\pm 3\sigma$ под кривой нормального распределения заключено 99,73% всей ее площади, поэтому погрешность от случайных и закономерно изменяющихся факторов составляет $\omega_p = 6\sigma = 6 \times 0,029 = 0,174$ (мм).

Постоянная систематическая погрешность в данном случае вызывается неточностью настройки станка ω_n , т.е. несовпадением среднего размера поля рассеяния (X_{cp}) со средним значением поля допуска ($X_{\delta p}$)

$$\omega_n = X_{\delta p} - X_{cp} = 19,94 - 19,93 = 0,01 \text{ (мм)}. \quad (2.28)$$

На абсциссе (рис. 2.32, а) наносится средний размер поля допуска $X_{\delta p} = 19,94$ мм и границы поля допуска $\pm \frac{\sigma}{2} = 0,06$ мм. В данном примере средняя линия поля допуска сдвинута от средней линии поля рассеяния в сторону увеличения размера на расстояние $\omega_n = 0,01$ мм, что соответствует 7,5 мм ($X_{cp} < X_{\delta p}$). С такой же вероятностью можно предположить, что при проведении следующего опыта X_{cp} будет больше $X_{\delta p}$ на ту же величину. Тогда в общем случае постоянная погрешность будет равна

$$\omega_n = 2\omega_n = 2(X_{\delta p} - X_{cp}) = 2 \cdot 0,01 = 0,029 \text{ (мм)}, \quad (2.29)$$

а результирующая операционная погрешность определится как сумма ω_p и ω_n :

$$\omega_{\Sigma} = \omega_p + \omega_n = 6\delta + 2\omega_n = 0,174 + 0,02 = 0,194 \text{ (мм)}. \quad (2.30)$$

Задача 2

В качестве статистических характеристик находятся приближенные значения математического ожидания

$$m = M(X) \dots \quad (2.31)$$

и дисперсии

$$D = M[(X-m)^2] \dots \quad (2.32)$$

Таковыми величинами являются характеристики, обладающие несимметричными оценками данных параметров.

Это среднее арифметическое значение величины X и D^* .

$$X_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}; \quad (2.33)$$

$$D^* = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{N}. \quad (2.34)$$

Вследствие приближенных значений X_{cp} и D^* необходимо дать оценку их точности и надежности. Иными словами, следует решить вопрос, с какой вероятностью (α) можно утверждать, что допущенная ошибка (расхождение среднего арифметического значения X_{cp} с математическим ожиданием m и среднего квадратического отклонения σ с $\sigma_m = \sqrt{D}$ не превзойдет некоторой величины ξ :

$$\alpha = P(|X_{cp} - m|) < \xi; \quad (2.35)$$

$$\alpha = P(|\sigma - \sigma_m|) < \xi. \quad (2.36)$$

Вероятность α называется доверительной вероятностью;

Границы $X_{cp} - \xi$ и $X_{cp} + \xi$ – доверительными границами.

Интервал $X_{cp} \pm \xi$ – доверительный интервал.

Доверительный интервал характеризует точность получения результата, а доверительная вероятность – его надежность.

Для решения поставленной задачи в математической статистике вместо случайной величины X_{cp} вводится другая случайная величина - T .

$$T = \frac{X_{cp} - m}{S}; \quad (2.37)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})^2}{N(N-1)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}. \quad (2.38)$$

Случайная величина T подчиняется закону распределения Стьюдента (Student) (рисунок 2.33).

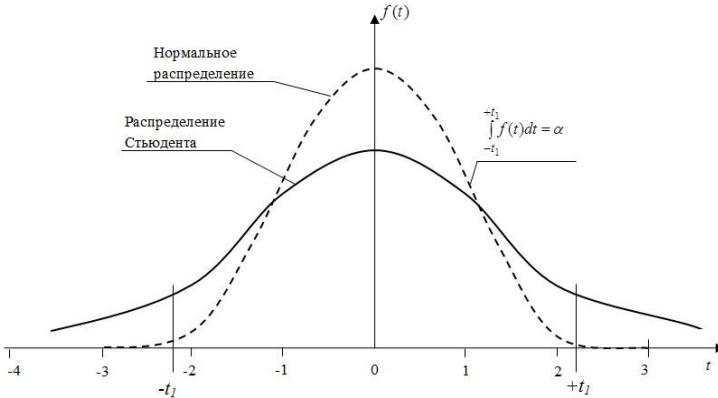


Рис. 2.33. Кривая распределения случайной величины 1

Вероятность попадания величины T на участок $(-t_1, +t_1)$

$$P(|T| < t_1) = \int_{-t_1}^{t_1} f(t) dt = 2 \int_0^{t_1} f(t) dt, \quad (2.39)$$

или

$$P = (X_{cp} - m) < tS < (X_{cp} + m) \Rightarrow \int_0^t f(t) dt, \quad (2.40)$$

где $t_1 = \frac{\varepsilon_1}{S}$ и следовательно $\alpha = 2 \int_0^{t_1} f(t) dt$.

Таким образом, величина α является функцией двух аргументов t и N . Эта функция табулирована и приведена в таблице 2.8.

Таблица 2.8. Табулированная функция аргументов t и N

Значения t								
α	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,35	3,18	4,54	5,84
4	741	941	1,190	1,533	2,13	2,77	3,75	4,60
5	727	920	1,156	1,476	2,02	2,57	3,36	4,03
6	718	906	1,134	1,440	1,943	2,45	3,14	4,71
7	711	896	1,119	1,415	1,895	2,36	3,00	3,50
8	706	889	1,108	1,397	1,860	2,31	2,90	3,36
9	703	883	1,100	1,383	1,833	2,26	2,82	3,25
10	700	879	1,093	1,372	1,812	2,23	2,76	3,17
11	697	876	1,088	1,363	1,796	2,20	2,72	3,11
12	695	873	1,083	1,356	1,782	2,18	2,68	3,06
13	694	870	1,079	1,350	1,771	2,16	2,65	3,01
14	692	868	1,076	1,345	1,761	2,14	2,62	2,98
15	691	866	1,074	1,341	1,753	2,13	2,60	2,95
20	687	860	1,064	1,325	1,725	2,09	2,53	2,84
25	684	856	1,058	1,316	1,708	2,06	2,48	2,79
30	683	854	1,055	1,310	1,697	2,04	2,46	2,75
40	681	851	1,050	1,303	1,684	2,02	2,42	2,70
60	679	848	1,046	1,296	1,671	2,00	2,39	2,66
120	677	845	1,041	1,289	1,658	1,98	2,36	2,62

С помощью данной таблицы может быть определена вероятность неравенства (16).

Так, для приведенного выше примера ($N = 40$; $X_{cp} = 19,93$) требуется определить точность получения X_{cp} (доверительный интервал). Для этого по формуле (8) находим величину S .

Затем по значениям $N-1=39$ и α (обычно $\alpha \approx 0,95$) по таблице определяем величину $t = 2,02$ и находим ξ половину длины доверительного интервала

$$\xi = tS = 2,02 \times 0,0044 \approx 0,0088 \text{ (мм)}. \quad (2.41)$$

Следовательно, доверительный интервал за пределы которого с вероятностью $\alpha = 0,95$ не выходит величина $X_{\text{ср}}$, будет $\pm \xi : 19,95 \pm 0,0088$.

В работе могут быть поставлены и другие задачи. Например, по заданному значению $\pm \xi$ определить α или по заданным величинам α и ξ определить необходимое число опытов n и т. д.

Для определения ошибки ξ в среднем квадратическом отклонении удобней ее выразить не в абсолютных, а в относительных единицах

$$q = \frac{\xi}{\sigma}. \quad (2.42)$$

Соответственно неравенство (19) можно записать в виде:

$$\left| 1 - \frac{\sigma_m}{\sigma} \right| < q, \quad (2.43)$$

тогда

$$\alpha = P\left(\left| 1 - \frac{\sigma_m}{\sigma} \right| < q \right) = F(q, N - 1). \quad (2.44)$$

Если при вычислении $X_{\text{ср}}$ и σ (расчеты проводились с разбивкой измеренных значений на интервалы (с), то

$$\alpha = F(q, K - 1), \quad (2.45)$$

где K – количество интервалов.

Значения функция $F(q, N - 1)$ даны в таблице 2.9.

Пример. Требуется найти доверительные границы, в которых с вероятностью $\alpha = 0,9$ находится истинное значение среднего квадратического отклонения, равного в нашем примере $\sigma = 0,029$. Из таблицы видим, что при $K - 1 = 6$ доверительная вероятность α достигает значения 0,9 при $q \approx 0,65$. Следовательно, $\xi = q \cdot \sigma = 0,65 \times 0,029 = 0,018$, а доверительные границы приближенно равны 0,011 и 0,047.

Таблица 2.9. Значения функции $F(q, N-1)$

$\frac{n-1}{(k-1)}$		Значения функции $F(q, N-1)$												
		0,06	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0	
3		0,147	0,184	0,273	0,359	0,515	0,636	0,714	0,759	0,792	0,819	0,842	0,861	
4		172	214	317	414	583	703	774	815	847	872	893	910	
5		194	241	355	461	637	752	816	856	885	908	926	940	
6		213	264	388	501	681	791	849	886	913	933	948	959	
7		230	286	417	536	717	821	847	908	932	950	963	972	
8		246	305	444	567	748	845	895	926	948	963	974	981	
9		261	323	469	595	774	865	911	940	960	972	981	987	
10		275	340	491	620	797	882	925	951	968	979	986	991	
12		301	371	532	664	833	909	946	968	980	988	993	996	
14		325	399	567	701	862	929	960	978	988	993	996	998	
16		346	425	599	733	885	944	971	985	992	996	998	999	
18		366	448	627	760	903	955	980	990	995	998	999	999	
20		384	470	652	784	918	964	984	993	997	999	999	1,00	
25		426	518	706	832	944	979	992	997	999	1,00	1,00		
30		462	559	749	867	962	988	996	999	1,00				
40		525	628	815	913	978	994	999	1,00					
50		576	682	860	942	988	998	999						
60		619	726	893	960	993	999	1,00						
70		656	762	917	972	996	1,00							
80		688	792	935	980	998								
100		741	840	959	990	999								

Задача 3

Для решения поставленной задачи строится точностная (точечная) диаграмма (рисунок 2.34).

По оси абсцисс откладываются номера деталей в порядке их обработки.

По оси ординат – размеры.

На схеме:

$R_1, R_2, R_3 \dots R_n$ – размах варьирования в пределах группы;

$$R_i = X_{i\max} - X_{i\min}.$$

$\omega_{мен}$ – погрешности, вызываемые закономерно изменяющимися факторами;

$$\omega_{мен} = 6\sigma, \quad (2.46)$$

$\omega_{з.и.}$ – погрешности, вызываемые закономерно изменяющимися факторами;

Δ_n – погрешности, связанные с постоянно действующими факторами;

$$\Delta_n = 2\Delta_n, \quad (2.47)$$

где Δ_n – погрешность настройки:

$$\Delta_n = X_{н.р.} - X_{ср}. \quad (2.48)$$

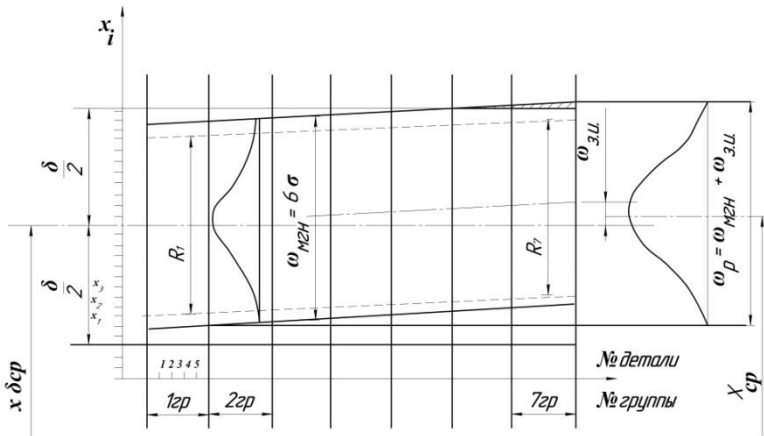


Рис. 2.34. – Точностная диаграмма

По размаху варьирования R_{cp} определяется значением

$$\sigma' = \frac{R_{cp}}{d_m}, \quad (2.49)$$

где R_{cp} – среднее значение распределения для всех групп:

$$R_{cp} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^n R_i ; \quad (2.50)$$

d_m – коэффициент, связывающий R_{cp} и σ' . Его значение зависит от числа деталей в группе (таблица 2.10).

Таблица 2.10. Зависимость коэффициента d_m от числа деталей в группе

Число деталей	3	5	7	9
d_m	1,693	2,326	2,704	2,927

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Сведения о станке (технические характеристики).

2. В зависимости от варианта работы:

а) результаты расчета параметров кривой нормального распределения, построение практической и теоретической кривой распределения погрешностей, расчет суммарной погрешности обработки;

б) результаты расчета параметров кривой нормального распределения и доверительных интервалов для найденных оценок параметров;

в) построение точечных диаграмм и результаты расчета систематических постоянных, закономерно-изменяющихся и случайных погрешностей.

3. Выводы.

ГОСТ 3.1404-86		Форма 2	
Дубл.			
Взам.			
Подл.			
Составил Проверил Утвердил		Самарский университет	
Валик		Материал	
Наименование операции		Ст. 45	
Обточка пояса			
Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры
НВ160-220			М3 КОИД
Оборудование, Устройство ЧПУ		Пруток	
Токарно-винторезный станок 1А616		Обозначение программы	
То	Тв	Тпз	Тшт.
			СОЖ
мин			
Р	Д или В	L	t
ПИ			
1	Закрепить хомутки и установить валик в центра		
2	x	10	0.5
			1
			0.12
			350
			0.3

Рис. 2.35.

2.8 Определение точности групповой обработки деталей на revolverном станке

Цель работы:

1. Приобретение навыков по наладке станка для групповой обработки на revolverном станке 1Г325.
2. Обработка партии заготовок на настроенном станке.
3. Определение точности групповой обработки деталей на revolverном станке.
4. Закрепление теоретических знаний студентов в области технологии производства деталей авиационных двигателей.
5. Закрепление знаний студентов, полученных в процессе второй производственной практики.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГРУППОВОМ МЕТОДЕ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

Групповая обработка нашла широкое применение в индивидуальном и мелкосерийном производствах. Этот метод обработки основан на классификации деталей с выделением таких групп, для обработки которых требуется однотипное оборудование, общее приспособление и настройка станка. Обработку такой группы деталей можно осуществлять по единому технологическому процессу. Групповая обработка может применяться не только для изготовления группы деталей, но и для отдельных операций.

Объединение деталей в группу увеличивает их серийность, и, следовательно, создается возможность применения в условиях мелкосерийного производства таких же прогрессивных методов обработки, как и в крупносерийном производстве, а это резко повышает производительность и снижает себестоимость изготовления деталей.

После образования группы выбирается или проектируется комплексная деталь. Такой деталью является самая сложная или искусственно созданная деталь группы, включающая в себя конструктивные элементы всех деталей группы.

На комплексную деталь составляется технологический процесс, проектируется групповое приспособление и рассчитывается групповая наладка станка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа состоит из трех частей:

1. изучения конструкции и управления станком, технологической документации и наладка станка;
2. обработка партии заготовок одного наименования;
3. определение точности полученных диаметральных и линейных размеров.

При изучении станка студенты особое внимание обращают на его управление, на расположение упоров, на устройство револьверной головки, на закрепление инструментов, а также знакомятся с кинематикой станка.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РАБОТЫ СТАНКА

Токарно-револьверный станок модели 1Г325 предназначен для обработки заготовок из прутка диаметром не более 25 мм и из отдельных заготовок диаметром до 160 мм.

Особенностью станка является автоматическое переключение чисел оборотов шпинделя и величины подачи при повороте револьверной головки с одной позиции на другую.

Двухступенчатая коробка скоростей, снабжена сменными шестернями **a**, **в**, **с**, **d**, получает вращение от двухскоростного двигателя с мощностью $N = 2,6/3$ кВт, $n = 1420/2800$ об/мин. (рис. 1), что позволяет шпинделю станка иметь 16 скоростей от 80 до 3150 об/мин. (см. диаграмму скоростей на рис. 2.36).

От шпинделя через ременную передачу вращение передается на коробку подач. Включением одной из трех электромагнитных фрикционных муфт осуществляется получение одной из трех подач 0,05 – 0,12 – 0,3 мм/об.

Револьверная головка 1 имеет 12 отверстий, служащих для закрепления инструментов. На оси револьверной головки находится барабан, несущий 12 регулируемых упоров, ограничивающих продольную подачу головки при работе каждым из закрепленным инструментом. Механизм привода продольной и круговой подачи и включения продольной подачи расположен в фартуке револьверного суппорта.

Вал 2 получает вращение от ходового вала 3 через пару шестерен Z_1 и Z_2 . От вала 2 вращение передается по двум кинематическим цепям:

а) по цепи продольной подачи – от вала 2 с помощью червячной пары Z_5 , Z_6 при включенной электромагнитной муфте 9 вала 5 и от него парой шестерен Z_7 и Z_8 вала 7 и реечной шестерне Z_9 , катится по рейке 10, прикрепленной к станине;

б) по цепи круговой (поперечно) подачи – от вала 2 через Z_3 и Z_4 на вертикальный валик 4 и к механизмам револьверного суппорта.

В передней крышке фартука смонтирован валик штурвала 11, на конце которого закреплена шестерня Z_{10} , зацепляющаяся с шестерней Z_8 , сидящей на валу 7 реечной шестерни Z_9 . Включение механической продольной подачи осуществляется движением шарнирных рукояток штурвала «на себя». При этом шток, заключенный внутри валика штурвала, через механическую подачу (не указанную в кинематической схеме) нажимает на пуговку микропереключателя, который замыкает цепь электромагнитной муфты 9.

Поперечная подача револьверной головки может производиться вручную или автоматически. Для быстрого ручного поворота револьверной головки и грубой поперечной подачи вращают маховик 12, сидящий на одной оси с шестерней Z_{11} . От шестерни Z_{11} вращение передается шестерни Z_{12} , жестко сцепленной с револьверной головкой. Движение происходит при выключенной конусной муфте 13.

Автоматическая подача осуществляется при включении муфты 13. Вал – шестерня 8 получает вращение от червячной шестерни Z_{13} . Червячная шестерня приводится во вращение червяком Z_{14} , на валу, которого свободно вращаются конические шестерни Z_{15} , Z_{16} , имеющие на торцах кулачки. Шестерни Z_{15} , Z_{16} сцеплены с приводной шестерней Z_{17} , в шлицевое отверстие которой входит вертикальный вал фартука. Кулачковая муфта 14, сидящая на шлицевой части вала 6, осуществляет включение и реверс механической поперечной подачи и управляется рукояткой, выведенной на левую сторону суппорта. На конце червячного вала 6 сидит маховичок для ручной тонкой поперечной подачи револьверной головки. Для ограничения поперечной подачи револьверной головки служат поперечные регулируемые упоры, устанавливаемые на револьверной головке, и вытяжной упор на лапе револьверного суппорта.

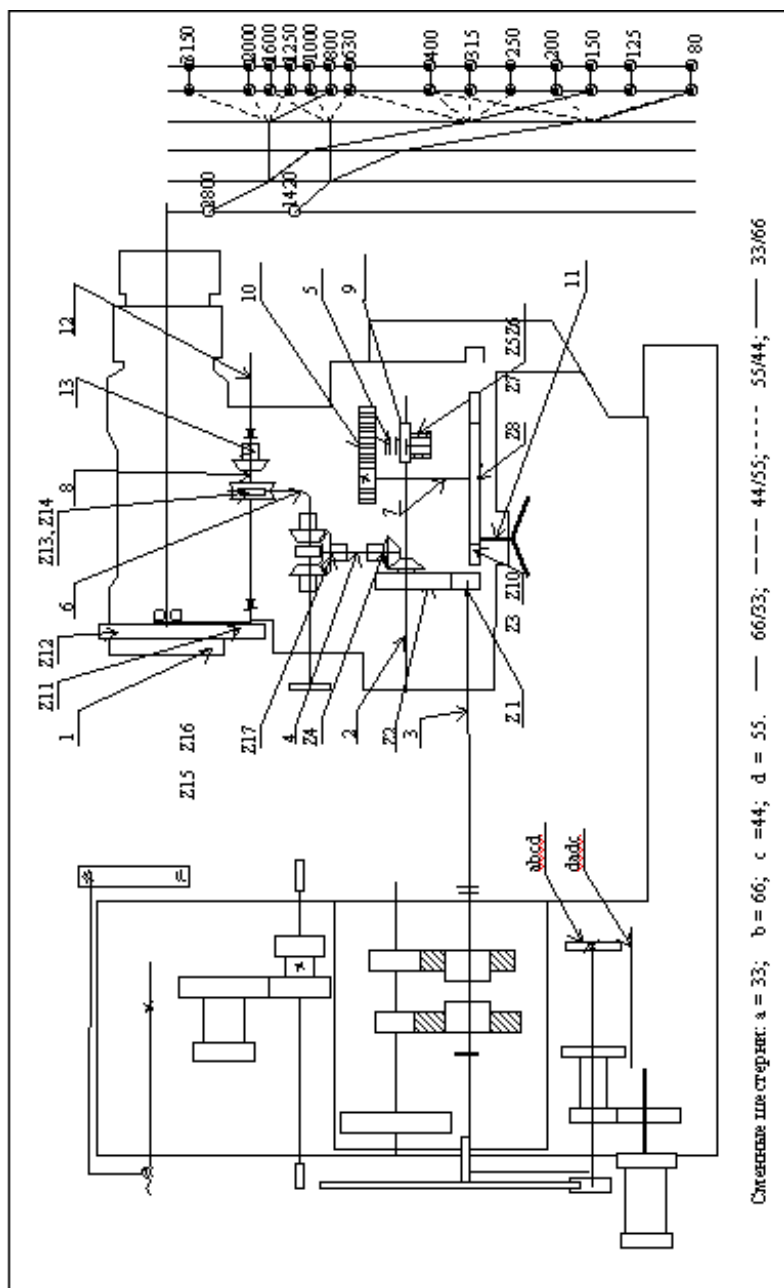


Рис. 2.36. Кинематическая схема станка 1Г325

На револьверном станке 1Г325 можно выполнять следующие операции: точение, сверление, растачивание, зенкерование, развертывание, нарезку резьбы плашками, метчиками, резцом и гребенками по копиру.

Закрепление инструментов в гнездах револьверной головки производится с помощью оправок и установочных втулок. Закрепление заготовок производится с помощью цангового патрона (для калиброванного проката) или кулачкового патрона (для черного проката и штучных заготовок).

Обработку деталей до заданных размеров осуществляют на настроенном револьверном станке. Обработка поверхностей вращения производится при зафиксированном положении револьверной головки.

При обточке или расточке резцом обеспечивается 9 – 11 квалитет точности диаметральных размеров. При применении мерного инструмента для обработки отверстий точность может быть повышена до 7 квалитета.

Точность линейных размеров обеспечивается по настройке за счет регулировки расстояния L_1 между двумя резцами в державке (рис. 2) или за счет использования передних и задних упоров.

Перемещение револьверной головки может осуществляться с ручной или автоматической продольной подачей.

При ручной подаче используют передние упоры, установленные в шестипозиционном барабане. Револьверный суппорт перемещается до тех пор, пока укрепленный на нем болт не упрется в соответствующий передний упор. Этот упор настроен так, чтобы гарантировать размер L_2 в пределах допуска.

При автоматической подаче револьверной головки используют задние упоры. В момент, когда достигнут размер L_1 соответствующий задний упор включает электромагнитную муфту и подача прекращается.

Подрезка торцов при значительной величине $(D - d)/2$ (рис.2.37), выточка канавок и отрезка производятся с использованием передних упоров. Головка с инструментом перемещается по направлению к барабану до контакта болта с соответствующим передним упором. В этом положении суппорт стопорится от продольных перемещений, и затем производится подрезка торца. Для ограничения круговой подачи ре-

вольверной головки служат поперечные регулируемые упоры, устанавливаемые на револьверной головке и вытяжной упор, укрепленный на лапе револьверного суппорта.

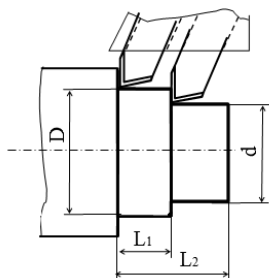


Рис. 2.37. Схема выдерживания размеров

НАЛАДКА И НАСТРОЙКА СТАНКА

Для настройки станка на обработку заданной группы деталей используется следующая техническая документация:

- классификатор группы деталей (рис.2.38), на котором даны детали группы со всеми размерами и техническими требованиями;
- комплексная деталь; технологический процесс обработки комплексной детали (рис. 2.38а);
- карта наладки револьверного станка (рис. 3б), в которой указаны положения инструментов, направления движения, последовательность переходов, размеры обрабатываемых поверхностей, режимы обработки и другие данные, необходимые для наладки и настройки станка. (рис. 2.38, рис. 2.38а, рис. 2.38б).

Настройка станка на размер производится по эталонной детали. На настроенном станке обрабатываются 1 – 2 детали, затем тщательно измеряются обработанные поверхности, т. е. проверяют правильность настройки. Если обнаруживаются отклонения отдельных размеров от заданных, осуществляется подналадка соответствующих инструментов. После этого обрабатывают всю партию деталей данного наименования.

При определении точности в качестве приближенной оценки принимается поле рассеивания ω .

$$\omega = x_{\max} - x_{\min}$$

где x_{\max} , x_{\min} – наибольшее и наименьшее значение размеров совокупности деталей.

Погрешность настройки определяется по формуле:

$$\Delta_n = x_{\text{ср.}} - x_{\text{ср}},$$

где $x_{\text{ср.}}$ – средний размер поля допуска;

$x_{\text{ср}}$ – средний размер поля рассеивания

$$x_{\text{ср}} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \sum x_i$$

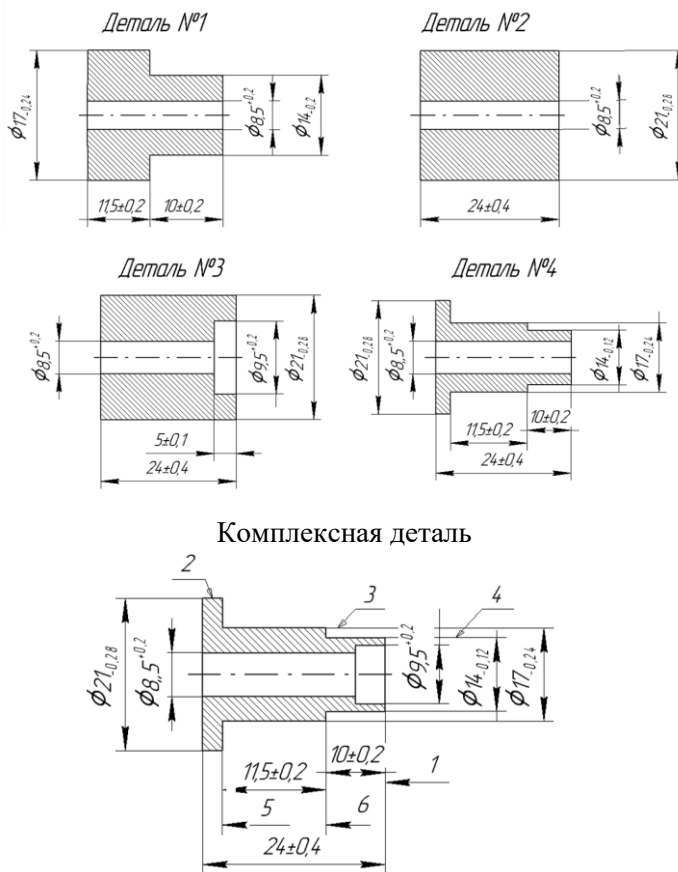


Рис. 2.38. Классификатор группы деталей

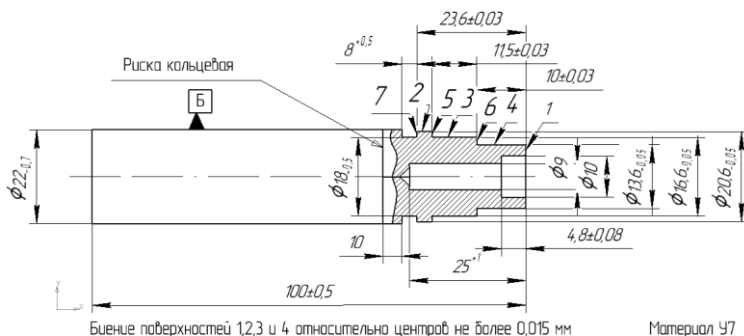


Рис.2.39. Эталон для настройки режущих инструментов

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить конструкцию и управление станком.

2. Изучить технологическую документацию.

3. Произвести настройку станка в следующей последовательности:

а) установить в патроне эталонную деталь (рис. 2.39);

б) установить в гнездо № 6 револьверной головки упор с вылетом 50 мм по линейке и закрепить.

Для подачи прутка настроить упор переднего барабана, повернуть его в позицию 1. Затем подвести револьверную головку (влево) до контакта с упором на револьверной головке с торцем 1 эталонной детали через щуп 0,2 мм. При таком положении револьверной головки необходимо вывернуть упорный болт барабана позиции 1 до контакта с упором на суппорте. Выворачивать нужно до тех пор, пока при нажиме на штурвал револьверной головки с усилием 3 – 5 кг. щуп не будет “закусывать”. В этом положении закрепить упорный болт барабана;

в) установить в гнездо №5 револьверной головки втулку с подрезным резцом. Вылет резца должен быть в пределах 50 мм. Поворачивая втулку в гнезде, добиться совпадения вершины резца с осью вращения. Закрепить втулку с резцом. Для подрезки торца также настроить упор переднего барабана. Для этого повернуть его в позицию 2 и отрегулировать. Толщина щупа, прокладываемая между эталоном (поверхность 1) и вершиной резца, 0,2 мм.

г) установить в гнездо №3 револьверной головки втулку со сверлом, диаметром 12 мм, для засверливания; отрегулировать вылет сверла в пределах 24 – 25 мм и закрепить. Так как засверливание является вспомогательным переходом, выполняемым при ручной подаче, то регулировку упоров для него производить не надо.

д) для настройки инструментов, участвующих в выполнении 4-го перехода, необходимо, сначала установить в гнезда № 2, 1 револьверной головки державку с предварительно закрепленным резцом. Револьверная головка должна быть при этом зафиксирована. Поворачивая державку в гнезде, добиться правильного положения резца. Затем регулируют положение резца в радиальном направлении, пользуясь щупом 0,2 мм и закрепляют резец в державке, а державку в головке, ось которого в зафиксированном положении совпадает с осью вращения шпинделя. Вылет сверла должен быть на 4 мм больше вылета резца. Ориентировка суппорта в продольном направлении производится по заднему упору. Для регулировки его необходимо переместить револьверный суппорт вперед пока сверло не упрется в дно отверстия эталона. Поджав суппорт с малым усилием, включим продольную автоматическую подачу – рукоятка штурвала переводится «на себя». При таком положении головки вставляют в паз заднего барабана упор и перемещают его до касания с кулачком, установленном на станине под барабаном. Затем, осторожно вращая упорный винт, добиваются срабатывания механизма продольной подачи, т. е. выключения электромагнитной муфты;

е) установить в гнездо №11 револьверной головки державку с двумя предварительно закрепленными резцами. Регулировка резцов на заданные диаметры производится также с помощью щупа 0,2 мм аналогично описанному в пункте д. Таким же образом производится регулировка заднего упора на длину;

ж) для обработки отверстия диаметром 9,5 мм следует произвести смену инструмента в гнезде револьверной головки №11 (это делается при обработке детали №3).

з) установить в гнездо №8 револьверной головки державку с отрезным резцом. Поворачивая державку в гнезде, необходимо добиться того, чтобы при повороте револьверной головки вершина резца проходила через ось вращения детали.

Настройку по длине произвести по переднему упору. Для 1 детали повернуть передний барабан в позицию 3; для детали 2,3 и 4 – в позицию 4.

Между торцем 7 эталона и правой вспомогательной гранью резца вставляется шуп размером 02 мм;

и) снять эталонную деталь и закрепить в шпинделе станка пруток.

Обработать пробную деталь;

к) обмерить деталь и при необходимости откорректировать положение инструментов и упоров. Размеры пробной детали должны находиться в пределах

от ($L_{т\text{ ср}} - 0,05\text{мм}$ до $L_{т\text{ ср}} + 0,05\text{мм}$),

где $L_{т\text{ ср}}$ – размер, соответствующий середине поля допуска по каждому из размеров, заданных в операционной карте.

4. Обработать партию деталей одного наименования, входящих в данную группу. Наименование детали и их количество задается преподавателем (не менее 6–7 штук). Обработка проводится согласно карте 1.

5. Замерить размеры деталей.

6. Произвести вычисление характеристик точности: поля рассеивания ω , погрешности настройки Δ_n .

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Основные данные станка.

2. Эскиз обрабатываемой детали.

3. Таблица измеренных и рассчитанных величин. В таблице указывается схема выдерживания линейных размеров (например: передний упор – задний упор).

4. Построение схем рассеивания размеров в партии заготовок.

5. Выводы.

В выводах дается заключение о пригодности данного метода обработки деталей с заданными размерами и допусками и указываются результаты сравнения различных схем выдерживания линейных размеров.

Таблица 2.11 – Порядок обработки деталей

Наименование переходов	Комплексная деталь	Детали			
		1	2	3	4
1 Подать пруток до упора и закрепить.	•	•	•	•	•
2.Подрезать торец 1.	•	•	•	•	•
3. Засверлить отверстие.	•	•	•	•	•
4. Сверлить отверстие и обточить поверхность 2.	•	•	•	•	•
5. Зенкеровать отверстие.	•	-	-	•	-
6. Обточить поверхности 3 и 4.	•	Торец 6	-	-	Торец 5 и 6
7. Отрезать заготовку.	•	На длине 21,5 мм	На длине 24 мм	На длине 24 мм	На длине 24 мм

Переходы, отмеченные черточками, пропускаются.

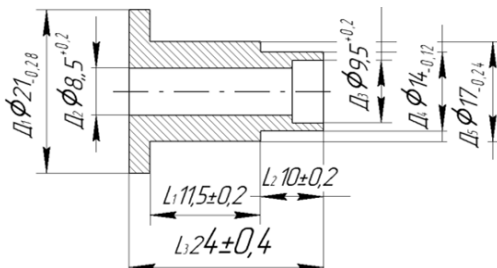
Кафедра “ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДВИГАТЕЛЕЙ”
ОТЧЕТ

Ф. И. О. студента
 Дата

Группа

По лабораторной работе №
**Определение точности групповой обработки деталей
 на рвольверном станке.**

1. Эскиз обрабатываемой детали.



2. Результаты измерения детали

Размеры заготовки	Номер заготовки					
	1	2	3	4	5	6
D ₁						
D ₂						
D ₃						
D ₄						
D ₅						
L ₁						
L ₂						
L ₃						

3. Результаты вычислений.

Размеры заготовки	Номер заготовки					
	Заданные значения размера	Максимальный факт. размер в партии заготовок	Минимальный факт. размер в партии заготовок	Полерассеивания размеров для партии заготовок	Центр группирования размеров для партии заготовок	Погрешность смещения центра группирования относительно середины поля допуска на размер
Д ₁	21 _{-0,28}					
Д ₂	8,5 ^{+0,2}					
Д ₃	9,5 ^{+0,2}					
Д ₄	14 _{-0,12}					
Д ₅	17 _{-0,24}					
L ₁	11,5 ±0,2					
L ₂	11,5 ±0,2					
L ₃	24± 0,4					

4. Схемы распределения размеров в партии обработанных заготовок.

5. Выводы и рекомендации по работе.

Подпись студента

Подпись преподавателя.

2.9 Определение точности при нарезании зубьев цилиндрических шестерен на зубодолбежных станках

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомление с методикой оценки точности геометрических параметров нарезаемой шестерни.
2. Изучение конструкции зубодолбежного станка, его наладка и особенности настройки станка на размер.
3. Экспериментальная проверка расчетных данных погрешностей обрабатываемой шестерни.
4. Контроль биения делительной окружности шестерни относительно установочной базовой поверхности.
5. Контроль точности выполнения средней длины общей нормали «блочного размера».
6. Закрепление теоретических знаний студентов в области технологии производства деталей авиационных двигателей.
7. Закрепление знаний студентов, полученных в процессе второй производственной практики.

ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЗУБООБРАБОТКИ

Погрешности в протекании кинематического процесса зубообработки сочетаются с неточностями изготовления инструмента и его установки, геометрическими неточностями станка и установки заготовки в технологической системе.

Совокупность этих неточностей порождает погрешности формы и размеров обрабатываемых зубчатых колес. При последующей работе зубчатого колеса в качестве элемента машины эти неточности формы и размеров колес вызывают неравномерность движения, сопровождающуюся возникновением динамических нагрузок и шума при работе передачи; они приводят также к неравномерному распределению нагрузки на боковых поверхностях зубьев.

Отдельные ошибки, возникающие при зубообработке (рис. 2.40) можно свести к четырем видам:

1. Изменение радиального расстояния между инструментом и обрабатываемым зубчатым колесом – **радиальные ошибки обкатки**.

2. Нарушение обката инструмента и изделия – **тангенциальные ошибки обработки.**
3. Погрешности перемещения инструмента вдоль оси изделия – **осевые ошибки обработки.**
4. Отклонение производящей поверхности зубообрабатывающего инструмента – **ошибки производящей поверхности.**

Радиальные ошибки (1). Зубообработки возникают из-за погрешностей базирования заготовки на станке, радиального биения инструмента и периодических колебаний положения шпинделя (качания стола) или инструмента. Для радиальных ошибок обработки характерно, что они остаются постоянными в любом сечении колеса. Радиальные погрешности базирования заготовки на зуборезном станке создают в изделии геометрический эксцентриситет, который проявляется как погрешность угла профиля зуба на делительной окружности шестерни. зубонарезании возможно появление как чисто радиального биения, так и перекоса оси режущего инструмента относительно геометрической оси вращения оправки. При зубодолблении биение долбяка и его перекос относительно оси вращения ползуна целиком переносятся на изделие и, кроме того, вызывает погрешность в зоне смыкания. Типичный дефект зубодолбленных колес, выражающийся в стуке на одном зубе, является результатом погрешности обработки в зоне смыкания.

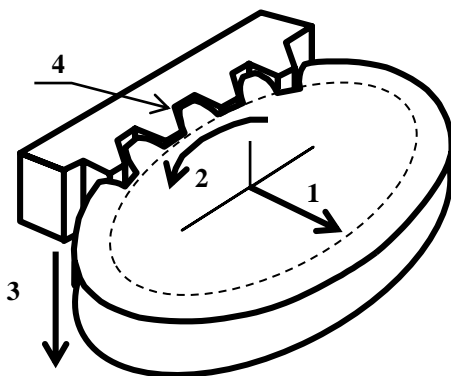


Рис. 2.40. Четыре вида погрешностей при зубообработке

Тангенциальные ошибки (2) возникают в основном из-за нарушения обката инструмента и заготовки. Источником этих погрешностей являются ошибки звеньев кинематической цепи станков. Кинематическая погрешность делительного колеса станка вызывает дополнительный поворот заготовки в процессе формообразования зуба. Погрешность обкатки полностью определяется при тангенциальных измерениях колеса, т. е. при однопрофильном комплексном контроле, при контроле накопленной погрешности окружного шага, а также при проверке колебания длины общей нормали.

Осевые ошибки (3) зубообработки возникают в основном из-за неточностей направляющих станка, перекоса осей заготовки, а в некоторых случаях – кинематической цепи станка. Эти погрешности вызывают нарушение продольного контакта зубьев. Значительное влияние на нарушение продольного контакта зубьев оказывает торцевое биение базового торца заготовки, что создает перекося оси заготовки относительно зубообрабатывающего станка. В этом случае при работе колеса пятно контакта будет перемещаться по поверхности зубьев от одного торца к другому.

Погрешности производящей поверхности (4) инструмента возникают вследствие применения приближенных методов профилирования инструмента или же погрешностей его изготовления и заточки. Помимо этих погрешностей сюда должны быть отнесены также и неточности колеса, связанные с влиянием прерывистости процесса резания из-за подачи и конечности числа режущих граней инструмента. Всякое отступление формы производящей поверхности инструмента от точной поверхности создает на заготовке погрешность профиля зуба.

В работе исследуются точность расположения делительной окружности и погрешности окружного шага проверкой колебания длины общей нормали (групповой размер).

Нарезание зубчатых колес производится по способу обкатки при помощи инструмента-долбяка (рис.2.41) Долбяк во время работы получает возвратно-поступательное движение параллельно оси заготовки (движение резания) и одновременно вращается вокруг своей оси (круговая подача). В начале обработки долбяк автоматически перемещается в направлении к оси изделия (радиальная подача) на требуемую высоту зуба. Нарезаемое колесо совершает обкаточное движение.

Возвратно-поступательное движение (движение резания) долбяка осуществляется следующим образом: от электродвигателя мощностью 2,8 квт, при $n = 1420$ об/мин через клиноременную передачу со шкивами

1 – 11 получает вращение вал III. Переключением рычагов коробки скоростей вводятся в зацепление различные пары зубчатых колес (1 – 5, 2 – 6, 3 – 7, 4 – 8), что дает четыре скорости движения долбяка. Вал 1У приводит в движение рейку 10 с помощью кривошипного устройства с изменяемым радиусом эксцентриситета Е. Вращение шестерен II и 13, сидящих на валу У создает возвратно-поступательное движение долбяка VI. В верхней части суппорта находится буферная пружина VII, поглощающая толчки и выбирающая люфты в ременных и шлицевых передачах механизмов главного движения.

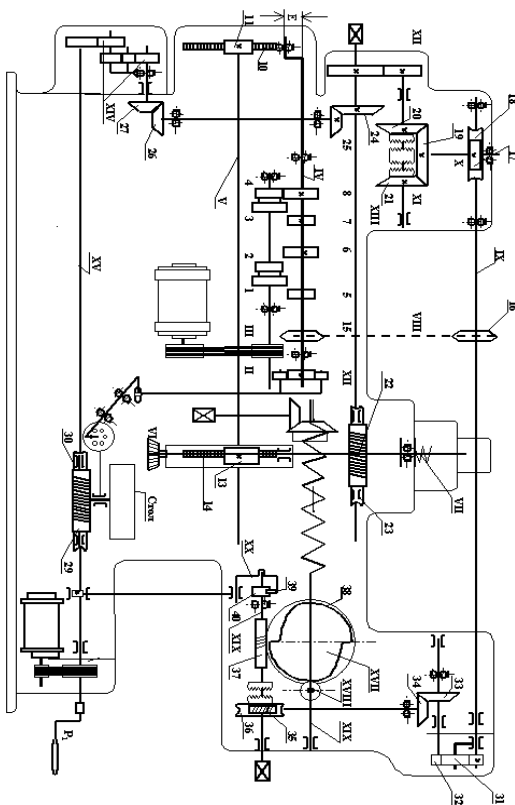


Рис. 2.41. Кинематическая схема зубодолбежного станка

Величина хода долбяка должна быть больше высоты заготовки не менее чем на 4 мм. Это условие обеспечивается за счет регулирования радиуса эксцентриситета E (рис.2.42). Гайка 1 отпускается и производится вращение винта 2 ключом до тех пор, пока стрелка указателя не покажет необходимое деление на шкале.

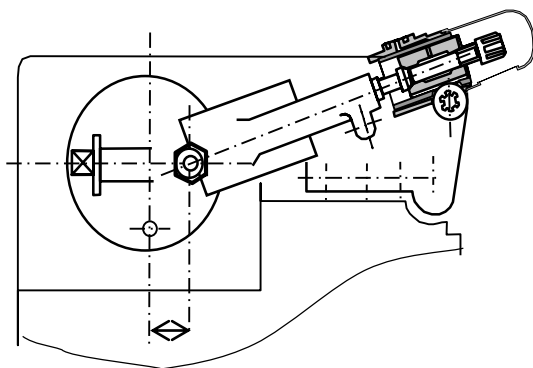


Рис. 2.42. Регулировка хода долбяка

От вала IV через цепную передачу VIII (звездочки 15 – 16) получает вращение вал IX, на котором находится 3-заходный червяк 17, зацепляющийся с червячным колесом 18. Вал X через коническую пару 19 – 21 (реверсивный механизм, меняющий направление вращения долбяка) приводит во вращение вал XI и через гитару круговых подач XII вращает вал XIII. Это вращение передается на шпиндель долбяка через червячную пару 22 – 23 и специальные направляющие втулки, установленные внутри делительного червячного колеса. Одна из этих втулок соединена с червячным колесом, а другая со шпинделем. При долблении прямых зубьев обе втулки имеют прямые направляющие, обеспечивающие прямолинейное, возвратно-поступательное движение долбяка. При долблении зубчатых колес с косыми зубьями устанавливаются втулки с винтовыми направляющими. Вследствие этого, при вертикальном ходе долбяк получает дополнительное вращательное движение вокруг своей оси. Долбяк при этом имеет также косые зубья.

Через конические пары 24 – 25, 26 – 27 и гитару деления XIV получает вращение вал XV, который через 1-заходный червяк 29 и червячную шестерню 30 приводит в движение стол станка.

Качательное движение стола осуществляется кулачковым механизмом Х11 коробки скоростей, кинематически связанными со столом станка системой рычагов.

Станок имеет автоматическое устройство, которое управляет механизмом врезания зубьев долбяка в тело нарезаемого зубчатого колеса. При достижении требуемой глубины врезания, автоматически включается радиальная подача и включается счетный механизм станка, контролирующий число полных оборотов шпинделя станка. Это число оборотов связано с кулачком ХVII, который может быть одно-, двух-, и трех профилем. После поворота на указанное число оборотов, суппорт автоматически отводится от заготовки и станок останавливается.

Рассмотрим, как это осуществляется: ролик ХVIII всегда прижимается к кулачку пружиной. В начале врезания ролик находится во впадине кулачка. При вращении кулачка ролик катится по его возрастающей кривой, перемещая вал ХХI, а вместе с ним и суппорт вправо, т. е. врезая долбяк в заготовку. Кулачек получает вращение от вала IX через сменные зубчатые колеса 31 – 32, коническую передачу 33 – 34 и червяк 35, передается червячному колесу 36 с зубчатой муфтой на торце, свободно сидящей на валу ХIХ.

При включении муфты вправо, вращение передается червячной передаче 37 – 38 и кулачку ХVII. Перед началом вращения рычаг, посредством которого перемещается муфта, должен быть переведен в правое крайнее положение под выступ фиксатора. Муфта включена. Одновременно с этим сухарь поднимает собачку 39 и удерживает ее от соприкосновения с храповым колесом 40. Как только кончится врезание, под действием пружины освободится рычаг, включит муфту и освободит собачку 39 храпового механизма, которая упадет под действием собственного веса, и храповое колесо 40 начнет поворачиваться вследствие качательного движения сектора ХХ, несущего собачку 39. При каждом качении собачки храповое колесо поворачивается на один зуб, и через вал ХIХ и червячную пару 37 – 38 передает вращение кулачку ХVII. Качательное движение сектора ХХ сообщается от эксцентрика на валу червяка делительной червячной передаче шпинделя стола.

После периода врезания ролик ХVIII не будет перемещаться, так как радиус-вектор кривой кулачка останется постоянным, а, следовательно, и стол станка также не будет перемещаться.

По окончании полного цикла обработки ролик XVII снова упадет во впадину кулачка, переместится вместе с суппортом влево и, нажав на концевой выключатель, остановит станок.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ОКРУЖНОСТИ КОЛЕСА

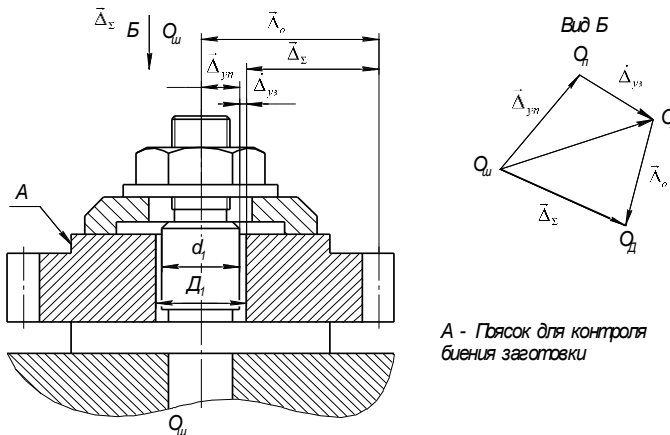
Суммарная погрешность расположения делительной окружности зубчатого венца колеса относительно базового отверстия шестерни рассчитывается с помощью размерных цепей (рис. 2.43), в которой замыкающим звеном является искомый векторный параметр.

В общем виде суммарная погрешность расположения делительной окружности имеет вид:

$$\vec{\Delta}_{\Sigma} = \vec{\Delta}_y + \vec{\Delta}_o$$

где $\vec{\Delta}_y$ – погрешность установки заготовки на станке;

$\vec{\Delta}_o$ – остаточная погрешность, связанная с методом обработки.



А - Гвоздь для контроля биения заготовки

Рис. 2.43. Суммарная погрешность расположения делительной окружности заготовки.

Погрешность установки ($\vec{\Delta}_y$) заготовки представляет собой смещение оси установочной поверхности заготовки (шестерни) относительно шпинделя станка.

$$\bar{\Delta}_y = \bar{\Delta}_{y,II} + \bar{\Delta}_{y,3}$$

где $\bar{\Delta}_{y,II}$ – погрешность расположения установочного элемента приспособления (установочной оправы) относительно оси шпинделя станка ОшОш;

$\bar{\Delta}_{y,3}$ – погрешность расположения установочной поверхности заготовки относительно установочного элемента приспособления.

Погрешность установки заготовки определяется как разность диаметров отверстия в заготовке и диаметра оправки. При этом максимально возможный зазор между заготовкой и оправой будет иметь место при условии:

$$Z_{\max} = D1_{\max} - d1_{\min}$$

где $D1$ – диаметр установочного отверстия заготовки;

$d1$ – диаметр установочного элемента оправки.

Остаточная погрешность, связанная с методом обработки зависит от множества причин. Например: от геометрической точности станка; от кинематической погрешности станка; от деформации технологической системы под действием усилия резания; от размерного износа режущего инструмента; от действия температурных явлений и других факторов.

В данной лабораторной работе погрешности определяются расчетным и экспериментальным путем.

Суммарная ожидаемая расчетная погрешность определяется по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_o^2} \quad (2.51)$$

Погрешность установки заготовки определяется по формуле:

$$\Delta_y = \Delta_{y,II} + \Delta_{y,3} \quad (2.52)$$

Погрешность расположения установочной поверхности заготовки относительно установочного элемента приспособления (оправки) определяется как разность диаметров $D1$ и $d1$,

$$\Delta_{y,3} = D1 - d1. \quad (2.53)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Протереть стол станка и оправку салфеткой.
2. Замерить диаметр d_1 оправки микрометром.
3. Проверить биение оправки B_0 относительно оси вращения шпинделя станка индикатором.

Проверку биения оправки необходимо производить при ускоренном вращении стола, которое осуществляется специальным электродвигателем ХХ11. Перед проверкой биения необходимо расцепить шестерни гитары деления, включить собачку храпового механизма и переключатель на пульте управления повернуть в положение «наладка».

4. Замерить диаметр установочного отверстия D_1 в заготовке (Рис. 2.45).

5. Установить и закрепить заготовку на столе станка.

6. Замерить биение заготовки по специальному пояску A относительно оси вращения стола.

7. По формуле (2.53) подсчитать погрешность расположения установочных поверхностей заготовки относительно приспособления $\Delta_{у.п.}$

8. По формуле (2.52) подсчитать погрешность установки заготовки $\Delta_{у.}$

Замеренные и подсчитанные величины записать в сводную таблицу отчета.

9. Нарезать зубья одной шестерни согласно технологической карте (рис. 2.46.). Число зубьев задается преподавателем.

10. Проверить биение делительной окружности нарезанной шестерни D_0 относительно оси шпинделя стола станка, не снимая шестерни с приспособления. Данные измерения записать в отчет.

Примечание:

а) Замеры биения произвести по всем впадинам шестерни индикатором с помощью ролика, диаметр (d_p) которого определяется по формуле:

$$d_p = S_x = D_0 \cdot \sin 90^\circ / z ;$$

где S_x – толщина зуба по хорде делительной окружности в мм,

D_p – диаметр делительной окружности,

z – число зубьев нарезаемой шестерни.

Чертеж ролика представлен в на рисунке 2.47;

б) погрешностями формы пренебрегаем;

в) проверку биения производить при расцепленных шестернях гитары деления и выключенной собачке храпового механизма.

Вращение шпинделя станка производить вручную с помощью рукоятки P1, установленной на валу ХУ (см. рис.2.41).

Снять нарезанную шестерню с приспособления.

Замерить биение делительной окружности нарезанной шестерни относительно оси отверстия заготовки, т. е. суммарную погрешность делительной окружности зубчатого венца шестерни относительно оси отверстия колеса $\Delta\Sigma$ на горизонтальных центрах (см. рис.2.44. и рис. 2.48). Замеры производить аналогично описанному в пункте 2.

Показания индикатора записать в отчет.

Проанализировав значение $\Delta\Sigma$, установить наибольшее биение делительной окружности нарезанной шестерни относительно оси отверстия колеса.

Значение $\Delta\Sigma_{\max}$ записать в сводную таблицу отчета.

1. По формуле (2.1) подсчитать значение $\Delta\Sigma$ и записать его значение в сводную таблицу отчета.

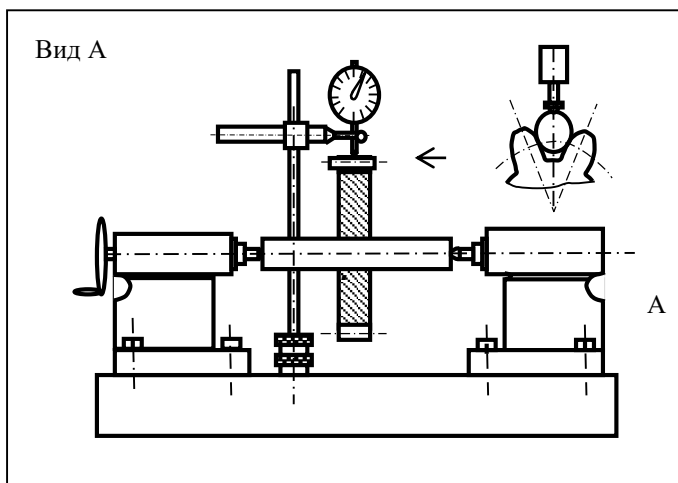


Рис. 2.44. Схема измерения суммарной погрешности на горизонтальных центрах

2. Замерить длину общей нормали (групповой размер) нарезанной шестерни зубомером или штангенциркулем. Размер L замерить через шесть зубьев по окружности колеса и данные записать в отчет. Проанализировать значения размеров L , установить наибольшее и наименьшее значения L .

3. По окончании работы тщательно убрать станок и сдать его лаборанту.

ОТЧЕТ

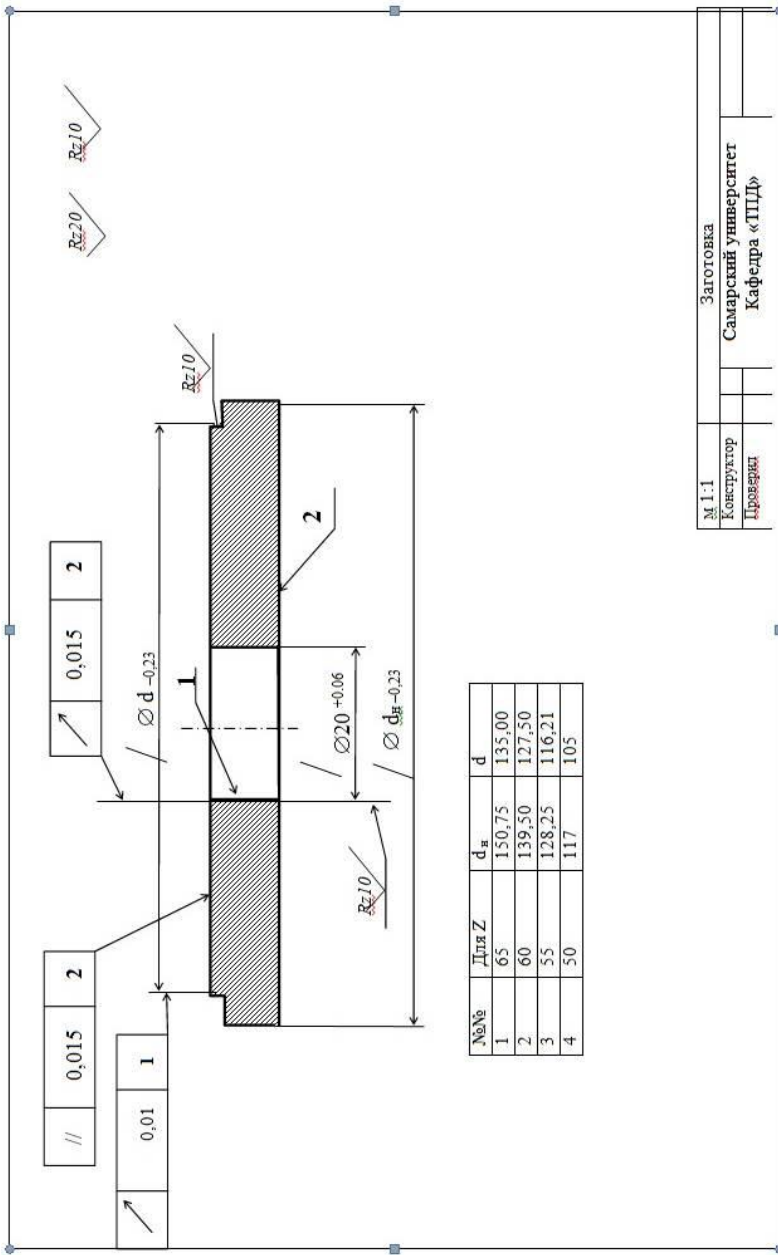
1. Сравнив значения замеренного на станке $\Delta u_{з.}$, рассчитанного по формуле (2.52) $\Delta u_{з.}$ и заданного в операционной карте δu (т.т. 1), дать заключение о погрешности установки заготовки в приспособлении и указать пути уменьшения этой погрешности.

2. Сравнив значения замеренного на горизонтальных центрах $\Delta \Sigma$ рассчитанного по формуле (2.51) $\Delta \Sigma$ и заданного в операционной карте $\delta \Sigma$ (т.т. 2), дать заключение о суммарной погрешности расположения делительной окружности нарезанной шестерни относительно оси отверстия колеса и указать пути уменьшения этой погрешности.

3. Сравнив значения замеренных L_{\max} и L_{\min} с заданными значениями в операционной карте L (TL), дать заключение о точности группового размера L нарезанной шестерни.

4. В выводах указать, соответствует ли точность нарезанной шестерни техническим условиям операционной карты.

В выводах по работе на основе сравнения экспериментальных, расчетных и заданных в операционной карте значений дать заключение о точности выполнения технических условий и группового размера L . Указать пути уменьшения погрешностей.



М 1:1	Заготовка
Конструктор	Самарский университет
Проверщик	Кафедра «ТПД»

Рис. 2. 45. Диаметр установочного отверстия D₁ в заготовке



Рис. 2.47. Чертеж ролика



Рис. 2.48. Бие делительной окружности

2.10 Определение припусков и операционных размеров на обработку цилиндрических поверхностей

Цель работы: установление влияния схем обработки на неравномерность операционного припуска и его величину.

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Расчет припусков и операционных размеров на обработку поверхностей деталей является одним из наиболее ответственных этапов работы технолога при проектировании технологических процессов.

Операционные размеры должны определяться из условия обеспечения оптимальных величин припусков на каждой операции технологического процесса, гарантирующих заданное качество изготовления детали.

Уменьшение припусков на обработку является важной технико-экономической задачей, позволяющей повысить качество поверхности, снизить расход материала и уменьшить трудоемкость изготовления изделия.

Основными путями уменьшения припусков являются:

- приближение заготовки к виду готовой детали;
- повышение точности обработки и улучшение качества поверхностного слоя;
- рациональное применение технологических схем обработки поверхностей;
- применение расчетных (включая теоретико-вероятностных) методов определения припусков.

Расчет припусков на обработку наружных и внутренних цилиндрических поверхностей производится по формуле, соответствующей двухсторонней обработке:

$$Z_{\max} = 2(Rz + T) + \Delta' + \Delta'' + \Delta_H, \quad (2.54)$$

где Z_{\max} – максимальный припуск;

Rz и T – высота микронеровностей поверхности и глубина дефектного слоя, полученные в предшествующем переходе;

Δ' и Δ'' – поля рассеивания диаметральных размеров поверхностей в предшествующем и выполняемом переходах;

Δ_H – погрешность взаимного расположения (биение) поверхностей

в предшествующем и выполняемом переходах (неравномерность припуска).

Формулы для определения диаметральных размеров в предшествующем переходе для наружных и внутренних цилиндрических поверхностей имеют вид:

$$D'_{\max} = D''_{\min} + Z_{\max} \quad (2.55)$$

$$D'_{\min} = D''_{\max} - Z_{\max} \quad (2.56)$$

где D'' – диаметральный размер поверхности в выполняемом переходе.

Суммарная величина $(Rz + T)$ в формуле (2.54) принимается постоянной, поскольку ее поле рассеивания при обработке партии деталей весьма мало. Она представляет собой минимальный припуск (Z_{\min}) и для каждого метода обработки определяется по нормативам. Поля рассеивания Δ' и Δ'' размеров D' и D'' заменяются соответствующими допусками δ' и δ'' на эти размеры. Наибольший интерес в формуле (2.54) представляет неравномерность припуска $\bar{\Delta}_H$, определяемая с помощью векторной размерной цепи в системе СПИД.

Замыкающим звеном этой цепи является линия, связывающая поверхности с диаметральными размерами D' и D'' . Число составляющих звеньев цепи зависит от принятой технологической схемы обработки.

Исследованием установлены 4 такие схемы:

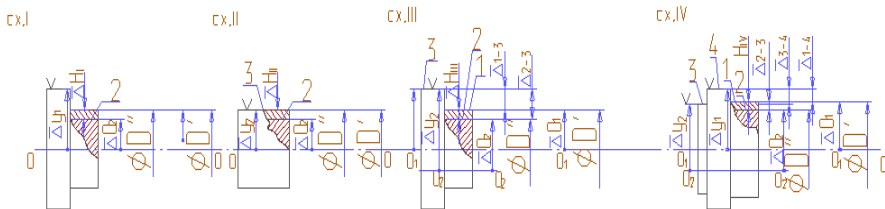
1 – поверхности обрабатываются в предшествующем и выполняемом переходах в одну установку на некоторой (любой) установочной базе;

2 – обрабатываемая поверхность в выполняемом переходе является установочной базой;

3 – поверхности в предшествующем и выполняемом переходах обрабатываются на одной установочной базе, но с различных установок;

4 – поверхности в предшествующем и выполняемом переходах обрабатываются на разных базах.

Геометрическая интерпретация этих схем в системе СПИД представлена на рисунке 2.49.



V – установочная база детали; OO – ось вращения шпинделя

Рис. 2.49.– Технологические схемы обработки поверхности в предшествующем и выполняемом переходах

Используя технологические размерные цепи в системе СПИД и условие независимости погрешностей составляющих звеньев, получим для каждой схемы обработки:

$$1. \bar{\Delta}_{H1} = \bar{\Delta}_{01} + \bar{\Delta}_{02};$$

$$2. \bar{\Delta}_{H2} = \bar{\Delta}_{y2} + \bar{\Delta}_{02} = \bar{\Delta}_{2-3};$$

$$3. \bar{\Delta}_{H3} = \bar{\Delta}_{y1} + \bar{\Delta}_{01} + \bar{\Delta}_{y2} - \bar{\Delta}_{02} = \bar{\Delta}_{1-3} + \bar{\Delta}_{2-3};$$

$$4. \bar{\Delta}_{H4} = \bar{\Delta}_{y1} + \bar{\Delta}_{01} + \bar{\Delta}_{3-4} - \bar{\Delta}_{y2} + \bar{\Delta}_{02} = \bar{\Delta}_{1-4} - \bar{\Delta}_{3-4} + \bar{\Delta}_{2-3}.$$

Здесь $\bar{\Delta}_y$ и $\bar{\Delta}_0$ – погрешности расположения (биение) поверхностей, зависящие соответственно от установки детали и метода обработки (остаточное биеение).

Заменив модули погрешностей расположения поверхностей соответствующими допусками (ρ) и приняв для первой схемы $\Delta_{01} = \Delta_{02} = 0$ (вследствие их малости), получим:

$$1. \rho_{H1} = 0;$$

$$2. \rho_{H2} = \rho_{2-3};$$

$$3. \rho_{H3} = \rho_{1-3} + \rho_{2-3};$$

$$4. \rho_{H4} = \rho_{1-4} + \rho_{3-4} + \rho_{2-3}.$$

Произведя замену составляющих формулы (2.54), получим ее в виде, удобном для определения припусков с помощью технологической поддетальной размерной цепи:

$$Z_{\max} = 2Z_{\min} + \delta' + \delta'' + \rho_H \quad (2.57)$$

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Работа состоит из двух частей: расчетной и экспериментальной.

В первой части студент определяет припуски Z_{\min} и операционные размеры D_1 для 4-х схем обработки наружных цилиндрических поверхностей с установкой деталей в трехкулачковом патроне токарно-центрового станка.

Дано: $\delta' = 0,2$ мм; $\delta'' = 0,1$ мм; $\rho_{2-3} = 0,2$ мм¹;

$\rho_{1-3} = 0,3$ мм (сх.3); $\rho_{1-4} = 0,3$ мм; $\rho_{3-4} = 0,5$ мм;

$Z_{\min} = 0,5$ мм .

D'' – задается лаборантом².

Результаты расчета записываются в ответ, и делается заключение с рациональности применения различных схем обработки.

Во второй части работы студент на примере обработки образцов оценивает величины снимаемых припусков и их неравномерность и убеждается в правильности выполненных им расчетов.

Для выполнения экспериментальной части работы необходимо иметь:

- станок токарно-центровой;
- патрон трехкулачковый с сырыми вставками;
- резец проходной правый;
- индикатор настольный;
- микрометр с диапазоном измерения 0...50 мм;
- образцы для обработки по 1-й и 4-й схемам (по 2 – 3 шт. на эксперимент, рисунок 2.52);
- контрольные валики для проверки допустимого биения кулачков (рисунок 2.53);
- призму для проверки биения поверхностей образцов;
- набор ключей и др. инструментов, необходимых для работы на станке.

¹ ρ_{2-3} – берется из чертежа на деталь;

² Из минимального размера деталей, подлежащих обработке, округленного до десятых долей миллиметра, вычитается 2 мм. Полученный размер D'' задается студенту.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Студент производит проверку припуска и его неравномерности путем обточки 2–3 образцов по 1-й и 4-й схемам (рисунок 2.50 и рисунок 2.51).

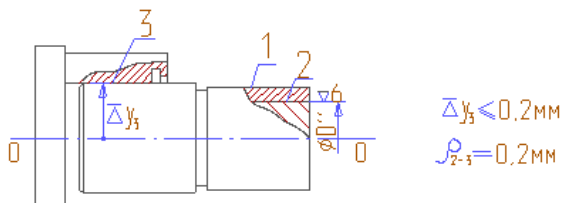


Рис. 2.50. – I схема обработки

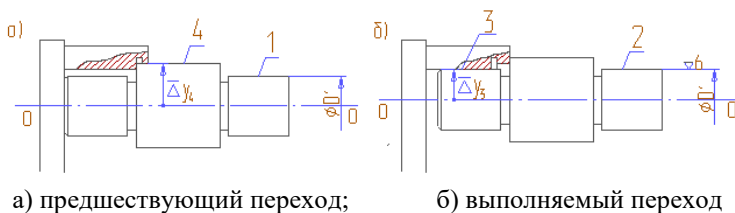


Рис. 2.51. IV схема обработки

Настройку станка производит лаборант:

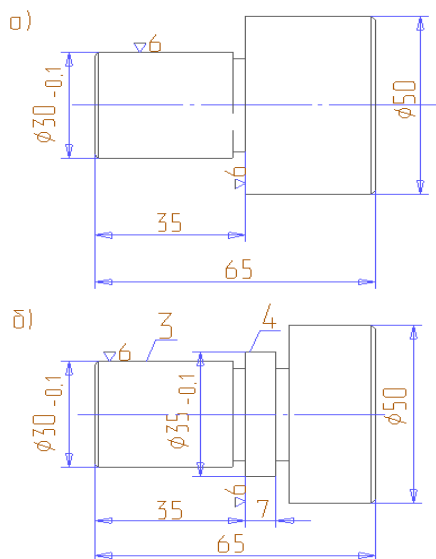
$$n = 250 \text{ об/мин}; S = 0,1 \dots 0,2 \text{ мм/об.}$$

Для обеспечения допусков на расположение поверхностей $\rho_{2-3}=0,2\text{мм}$ и $\rho_{1-4}=0,3 \text{ мм}$ биения установочных поверхностей при установке деталей принимаются соответственно $\Delta y_{3} \leq 0,2 \text{ мм}$ и $\Delta y_{4} \leq 0,3 \text{ мм}$. Это допущение возможно, поскольку величины Δ_{02} и Δ_{01} пренебрежимо малы. Желательно, чтобы при проведении эксперимента действительные значения Δy_{3} и Δy_{4} были ближе к верхнему пределу. Установку резцов на размер для каждого перехода D' и D'' студент производит методом пробных стружек с помощью лимба, выдерживая D'_{\min} и D''_{\max} . Это необходимо, чтобы убедиться в том, что припуска достаточно, даже при наихудшем сочетании предельных размеров D' и D'' и наибольших величинах Δy .

Неравномерность припуска ρ_H при обработке определяется замером биения поверхности 1 непосредственно перед обточкой ее в выполняемом переходе. Проверка заданного допуска на расположение поверхностей ρ_{2-3} производится с помощью призмы и индикатора. Наличие “черновин” на обработанной поверхности обнаруживается визуально. Полученные данные заносятся в отчет. Отчет должен дополняться необходимыми эскизами, поясняющими установку детали, обработку и измерение.

По окончании работы оборудование, оснастка и инструмент приводятся в надлежащий вид и сдаются лаборанту.

Отчет оформляется с выводами по работе и сдается руководителю.

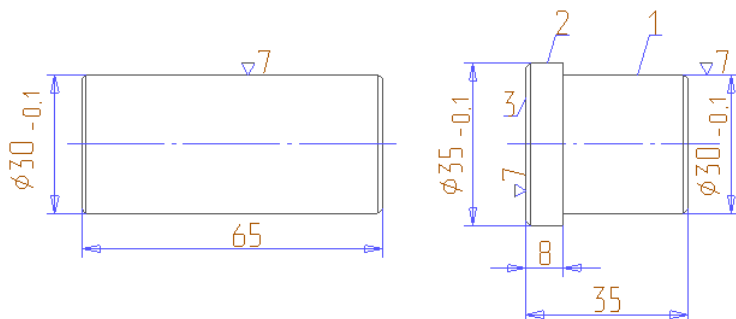


Материал – сталь

Т.У. Биение поверхности 4 относительно поверхности 3 не более 0,5 мм

Рис.2.52 Образцы:

а) для I схемы обработки; б) для IV схемы обработки



Материал – сталь $R_{c \geq 58}$

Т.У. Биение поверхностей 1 и 3 относительно поверхности 2 не более 0,02 мм

Рисунок 2.53 – Контрольные валики

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОСЛОЙНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ НА 3D ПРИНТЕРЕ

3.1 Цель и задачи работы

Цель работы – закрепление теоретических знаний и получение практических навыков по определению точности выращиваемых моделей по технологии PolyJet на 3D принтере Objet Eden 350.

Задачи:

- изучить технологию послойного выращивания моделей PolyJet, определить ее достоинства, недостатки и область использования;
- изучить технические характеристики 3D печатной системы Objet Eden 350;
- вырастить тестовые образцы и произвести измерение их геометрических параметров.

3.2 Последовательность выполнения работы

1. Изучить конструкцию 3D принтера Objet Eden 350; освоить принцип работы основных блоков, органов управления и модулей.

2. Изучить специфику технологического процесса изготовления деталей методом технологии быстрого прототипирования PolyJet; изучить характеристики используемых материалов.

3. Освоить принцип проектирования 3D моделей для установки послойного выращивания; проанализировать качество поверхности выращенных образцов, спроектированных в различных САД программных продуктах.

4. Вырастить тестовые образцы на 3D принтере.

5. Произвести измерение геометрических размеров выращенных моделей. Измеренные значения внести в таблицу (Приложение 1).

6. Произвести вычисление отклонений измеренных значений относительно номинальных, заданных конструкторской документацией, определить величину объемной усадки.

7. Оформить отчет в соответствии с Приложением 1, сделать выводы по итогам выполнения лабораторной работы.

3.3 Программное обеспечение, оборудование, инструменты и средства измерений

Программное обеспечение:

– Siemens NX 8.5, Solid Works 2011, Adem 8.1, Компас 13, Objet Studio, Job Manager.

Оборудование:

– 3D принтер Objet Eden 350.

– установка WaterJet.

Инструменты и средства измерений:

– Штангенциркуль цифровой Stainless Hardened (0 – 150 мм).

– Штангенциркуль ШЦ-II (0 – 300 мм).

– Микрометры гладкие МК с диапазоном измерений 0-25, 0-50 и 0-75.

Теоретическая часть

3.4 Конструкция 3D принтера Objet Eden 350

Для производства прототипов с целью визуальной оценки существуют так называемые "принтеры твердотельных объектов" (Three Dimensional Printer – 3D Printer) – системы, которые строят физические модели движением материала из одной или нескольких струйных головок, подобно обычному принтеру.

Работа некоторых 3D печатающих систем основана на фотополимеризации – химическом процессе, при котором жидкая смола (полимер) превращается в твёрдый полимер под воздействием на неё ультрафиолетового излучения или излучения видимой части спектра. Другие 3D принтеры работают с использованием тепловых процессов для построения физических моделей. Это технологии, при которых термопластический материал выдавливается из инжекторных головок, образуя слои, последовательность которых образует физическое тело; технологии спекания порошковых материалов под воздействием тепловых процессов; "склеивание" листовых материалов.

Установкой печатной системы Objet Eden 350 управляет компьютер со специальным программным обеспечением (Objet Studio и Job Manager), в котором обрабатывается STL-файл цифровой модели, получаемой из CAD системы (рисунок 3.1).

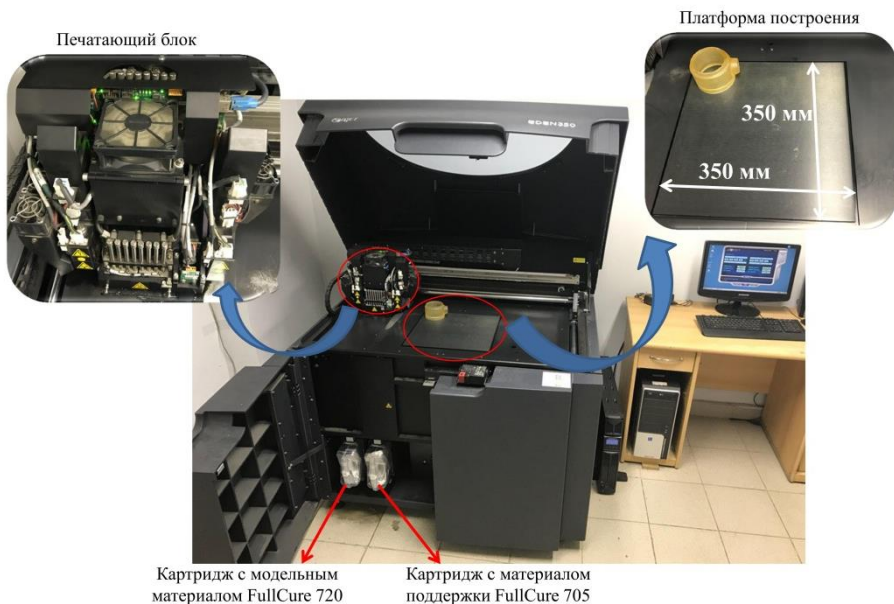


Рис. 3.1 Модульная структура 3D принтера Objet Eden 350

В таблице 3.1 представлены основные характеристики 3D принтера.

Таблица 3.1 – Основные характеристики 3D принтера Eden 350

Технология печати	PolyJet
Максимальный размер получаемой модели	Длина 340 мм; ширина 340 мм; высота 200 мм
Размер рабочей камеры	Длина 350 мм; ширина 350 мм; высота 200 мм
Разрешение печати	По оси X 600 dpi (42мкм) По оси Y 600 dpi (42 мкм) По оси Z 1600 dpi (16 мкм)
Режимы печати	High Speed (высокая скорость) – скорость до 20 мм/час, толщина слоя 30 мкм, работа с одним материалом High Quality (высокое качество) – толщина слоя 16 мкм, скорость до 12 мм/час, работа с одним материалом

Толщина слоя	16 мкм / 30 мкм
Параметры печатающего блока	Количество печатающих головок 8: 4 для материала поддержки, 4 для материала модели.
Материал поддержки модели	FullCure705 Support – легко удаляемый с помощью воды в станции промывки Objet WaterJet
Поддерживаемые форматы файлов	STL, SLC

3.5 Описание технологии послойного выращивания PolyJet

В настоящее время существуют и успешно применяются следующие технологии прототипирования из полимерных (неметаллических) материалов:

- ✓ стереолитография (SLA – stereolithography);
- ✓ отверждение на твёрдом основании (SGC – Solid Ground Curing);
- ✓ нанесение термопластов (FDM – Fused Deposition Modeling);
- ✓ распыление термопластов (BPM – Ballistic Particle Manufacturing);
- ✓ моделирование при помощи склейки (LOM – Laminated Object Modeling);
- ✓ технология PolyJet.

В рамках данной лабораторной работы рассмотрим технологии послойного выращивания материалов PolyJet.

На рисунке 3.2 и 3.3 представлена запатентованная технология PolyJet, используемая в установке.

Точность изготовления элементов зависит от сложности поверхности модели и ее расположения на платформе построения установки. Опыт работы на установке показал, что модели, габаритные размеры которых по осям X и Y не превышают 50 мм, можно изготовить с точностью 0,02 – 0,04 мм. Для моделей, размеры которых по осям X и Y более 50 мм, точность снижается и погрешность составляет до 0,05 – 0,1 мм. Точность изготовления прототипа по оси Z всегда фиксирована, равна 0,016 мм и соответствует толщине слоя изготавливаемого изделия, не зависимо от его габаритных размеров [12, 14, 15].

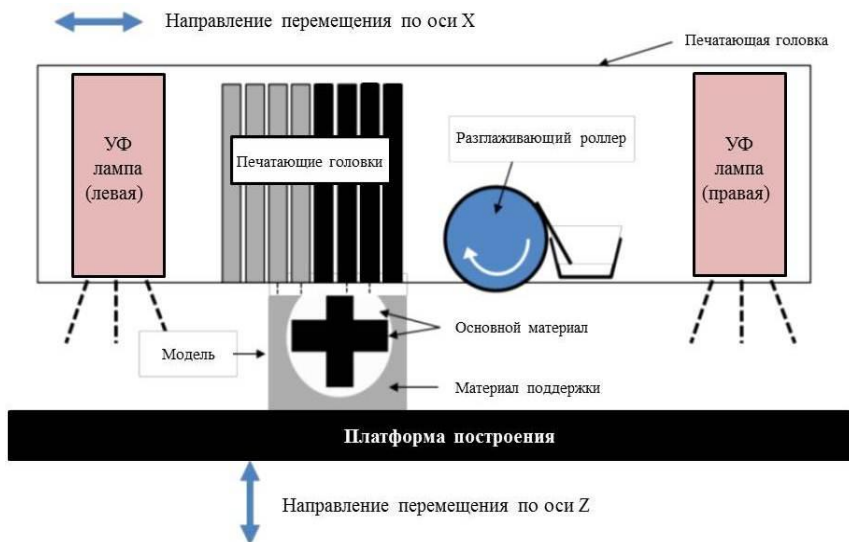


Рис. 3.2 Условно-графическое изображение технологии PolyJet

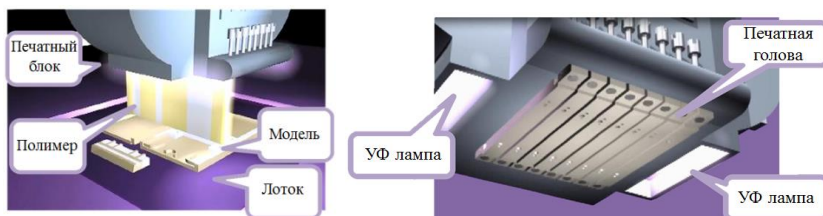


Рис. 3.3 Реализация технологии PolyJet в 3D принтере Eden 350

3D-печать процесс аддитивный, поэтому для временной поддержки частей модели в процессе выращивания используется светочувствительный материал FullCure705 Support – легко удаляемый обычной водой после процесса выращивания.

Режим работы установки позволяет получать поверхности с высокой детализацией со скоростью до 12 мм/час при толщине слоя в 16 мкм. 8 печатных головок, каждая из которых имеет по 128 отверстий диаметром в несколько микрон, обеспечивают разрешение печати 600 на 600 dpi по осям X и Y соответственно.

Суть технологии заключается в послойном распылении фотополимера с последующей полимеризацией каждого слоя с помощью освещения ультрафиолетовой лампой.

Среди преимуществ технологии PolyJet можно выделить высокую детализировку изготавливаемых образцов, отсутствие границ между слоями, возможность выращивания образцов любой сложности, простота в настройке технологического процесса, полностью автоматизированный процесс выращивания, отсутствие постпроцессорной обработки.

К недостатком технологии PolyJet необходимо отнести высокую стоимость расходных материалов и отсутствие отечественных аналогов материала.

Технология PolyJet поддерживает семейство материалов Objet FullCure на базе запатентованного акрилового фотополимера.

Большое разнообразие смол в семействе FullCure, обладающих различными свойствами: прозрачные, цветные, непроводящие, гибкие и негнущиеся позволяют изготавливать модели, удовлетворяющие широким требованиям с точки зрения подгонки, формовки, функциональности и ощущений. Временный материал поддержки FullCure Support, используемый в сочетании с любым модельным материалом FullCure позволит изготовить образец детали неограниченной геометрической сложности, включая нависающие элементы и внутренние полости.

На данный момент модельные материалы FullCure включают следующие семейства:

Семейство основного назначения.

Прозрачный материал основного назначения Transparent – FullCure720 (способный передавать не только внешнюю геометрию, но и передавать внутренний объем) имеет превосходные характеристики, в том числе прочность на разрыв в 60 МПа, прочность на изгиб в 76 МПа и температуру изгиба под нагрузкой (0.45 МПа) в 48°C (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Основные характеристики материала
основного назначения Transparent – FullCure720

Прочность на разрыв	60 МПа
Модуль упругости	2870 МПа
Относительное удлинение при разрыве	20 %
Прочность на изгиб	76 МПа
Модуль упругости при изгибе	1718 МПа
Ударная вязкость по Изоду (с надрезом)	24 Дж/м
Твердость по Шору	83D
Твердость по Роквеллу	81M
Температура изгиба под нагрузкой (0.45 МПа)	48 °С
Температура изгиба под нагрузкой (1.82 МПа)	44 °С
Температура размягчения	49 °С
Зольность	<0.03 %
Поглощение воды	1.53 %

Семейство Durus.

Похожий на полипропилен материал DurusWhite FullCure 430 обладает широким спектром применения в областях, где необходимы свойства полипропилена, такие как внешний вид, гибкость, прочность и жесткость – может применяться для создания элементов типа защелок, которые будут использоваться многократно. Свойства включают в себя ударную вязкость по Изоду (с надрезом) в 44 Дж/м, относительное удлинение при разрыве в 44% и модуль упругости при изгибе в 1026 Мпа (рисунок 3.3).

Таблица 3.3 – Основные характеристики материала DurusWhite FullCure 430

Прочность на разрыв	21 МПа
Модуль упругости	1136 МПа
Относительное удлинение при разрыве	44 %
Прочность на изгиб	33 МПа
Модуль упругости при изгибе	1026 МПа
Ударная вязкость по Изоду (с надрезом)	44 Дж/м
Твердость по Шору	76D
Твердость по Роквеллу	97M
Температура изгиба под нагрузкой (0.45 МПа)	36 °С
Температура изгиба под нагрузкой (1.82 МПа)	33 °С
Температура размягчения	36 °С
Зольность	<0.2 %
Поглощение воды	1.7 %

Семейство Vero.

Непрозрачные жесткие материалы отличаются жесткостью, стабильностью размеров и высокой степенью детализации (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Основные характеристики материала Vero White FullCure 830

Прочность на разрыв	50 МПа
Модуль упругости	2495 МПа
Относительное удлинение при разрыве	20 %
Прочность на изгиб	75 МПа
Модуль упругости при изгибе	2137 МПа
Ударная вязкость по Изоду (с надрезом)	24 Дж/м
Твердость по Шору	83D
Твердость по Роквеллу	81M
Температура изгиба под нагрузкой (0.45 МПа)	43 °С
Температура изгиба под нагрузкой (1.82 МПа)	40 °С
Температура размягчения	58 °С
Зольность	<0.3 %
Поглощение воды	1.15 %

Семейство Tango.

Похожие на резину материалы обладают различной степенью эластичности: относительное удлинение при разрыве 47% или 218%, значения твердости по Шору 27А, 61А или 75А (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Основные характеристики материала Tango

Прочность на разрыв	1.5 МПа
Модуль упругости при 20% деформации	0.1 МПа
Модуль упругости при 30% деформации	0.2 МПа
Модуль упругости при 50% деформации	0.3 МПа
Относительное удлинение при разрыве	218 %
Остаточная деформация при сжатии	4 %
Твердость по Шору	27А
Усталостная выносливость	Более 150 000 циклов
Сопrotивление разрыву	3 Кг/см
Температура размягчения	-10 °С

Как уже отмечалось, основным достоинством технологии PolyJet является законченная гладкая поверхность, отличные физические механические свойства готовых образцов (включая стабильность геометрических размеров), а так же возможность обработки поверхности (склейка, покраска и т.п.).

Ключевые преимущества при использовании материала семействе FullCure:

- ✓ позволяет видеть течение жидкости и внутренние элементы образца;
- ✓ не требует финишной обработки, поскольку материалы полностью отверждены;
- ✓ относительное удлинение при разрыве в 20% удобно для некоторых функциональных применений;
- ✓ хорошая ударная вязкость;
- ✓ образцы можно брать руками и трогать сразу после изготовления;
- ✓ простоя процедура удаления гелеобразного материала поддержки, что означает отсутствие грубых краев;
- ✓ образцы готовы к покраске без дополнительной обработки;
- ✓ модельный материал также можно обрабатывать, сверлить, хромировать или использовать как форму для литья.

3.6 Принцип проектирования 3D моделей для установки послойного выращивания Eden 350

Прототипы, выращенные из фотополимерного материала, не являются законченным функциональным изделием. В основном данного вида детали используются в качестве мастер-модели в технологическом процессе литья для изготовления силиконовой ластичной формы.

Детали, полученные механической обработкой, отличаются по внешнему виду от деталей, полученных литьем. У них имеются типичные острые наружные и внутренние грани с малыми закруглениями углов, резкие изменения толщин сечений – без переходов простые полости, симметричные вдоль одной оси, большей частью в виде тел вращения.

Для деталей, получаемых литьем, такая форма не пригодна и во многих случаях недопустима. При таких формах возникают литейные

дефекты – усадочные раковины, наружные и внутренние трещины, которые снижают прочность и плотность деталей.

Отливки должны быть закругленной формы с плавным переходом различных толщин; массивные узлы отливки необходимо облегчать. Необходимость изменения формы детали (частичной или полной) связана с закономерностями технологии литья. При охлаждении жидкого металла изменяется его объем, что следует учитывать при выборе размеров отливки и ее сечений, особенно там, где соединяются между собой стенки различной толщины.

Толщины отдельных стенок отливки следует выбирать так, чтобы сечение увеличивалось по направлению к будущему месту подвода жидкого металла. Питатель для отливок небольших размеров в большинстве случаев является элементом для питания отливки металлом во время его кристаллизации. У больших и сложных отливок сечения стенок могут не отвечать условиям направленного затвердевания. В этом случае следует предусматривать специальную литниковую систему с прибылями.

При недостаточном питании кристаллизующейся отливки металлом в ее утолщенных местах возникают усадочные раковины и рыхлоты, снижающие прочность отливки.

Изготовление совершенно плотных отливок (особенно сложных машиностроительных) без каких-либо внутренних дефектов является не простой задачей, и требуется тесное сотрудничество конструктора с технологом-литейщиком.

Как уже было указано, необходимо стремиться к конструкции детали с постепенным увеличением толщины стенок по направлению к питателю. Применение большого числа прибылей или питателей требует соответственно больших расходов на отделение их от самой отливки и на последующую окончательную зачистку.

Следует отметить, что отливки, которые в эксплуатации подвергаются динамическим нагрузкам, должны быть без внутренних дефектов. Разработать оптимальную форму отливки трудно, особенно при незнании подробностей литейной технологии и принципов направленного затвердевания. В таких случаях неизбежна специальная консультация.

На рисунке 3.4 показаны примеры правильных решений и примеры неудачного сопряжения стенок отливки, приводящего к возникновению усадочных пороков.

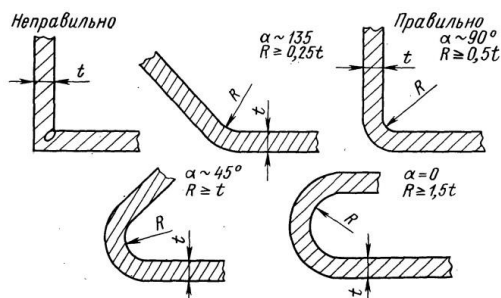


Рис. 3.4 Неправильное и правильное сопряжения стенок одинаковой толщины

В отливках, подвергаемых при эксплуатации динамическим нагрузкам, необходимы плавные переходы толщин стенок. При сопряжении двух стенок различной толщины следует пользоваться рекомендациями, приведенными на рисунке 3.5.

На рисунке 3.6 показан пример соединения под углом около 90° двух стенок различной толщины, на рисунке 3.7 тавровое соединение, а на рисунке 3.8 соединение перекрещивающихся стенок в отливке.

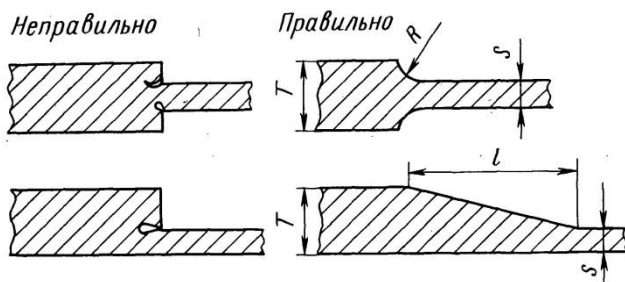


Рис. 3.5 Неправильное и правильное сопряжения стенок разной толщины

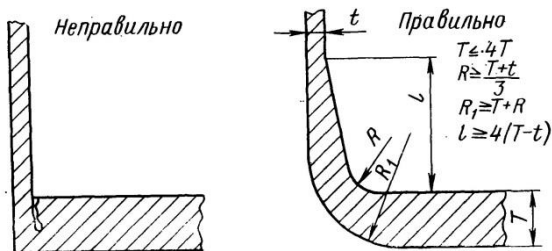


Рис. 3.6 Неправильное и правильное сопряжения стенок разной толщины, расположенных под углом 90°

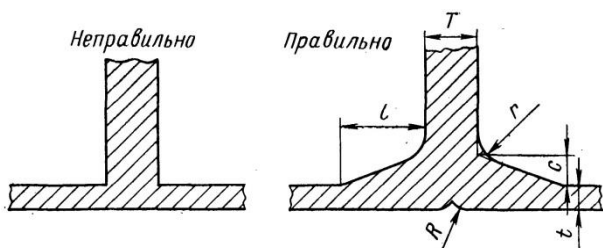


Рис. 3.7 Сопряжение стенок, перпендикулярных друг другу

$$t \leq 4t; \quad l \geq 4(T-t); \quad c = T-t; \quad r = \frac{T+t}{3}; \quad R = T-r$$

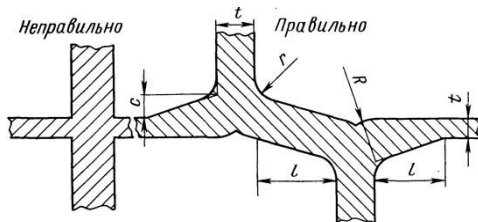


Рис. 3.8 Неправильное и правильное выполнение узла пересечения стенок

В узле крестообразного соединения (рисунок 3.8) образуется раковина или рыхлота, а в самой отливке возникают напряжения. Следует избегать такой конструкции и заменять ее двумя тавровыми соединениями.

Из всех приведенных схем следует, что в конструкциях не должно быть местных узлов – скоплений металла и острых углов. Используя правильные приемы при конструировании отливки, устраняются резкие перепады температур при охлаждении и затвердевании металла, и предупреждается образование литейных дефектов.

У динамически нагруженных деталей каждое резкое изменение сечения является концентратором напряжений, приводящим к превышению предела текучести используемого материала, т.е. к полному разрушению отливки. Концентрация напряжений возникает также при термообработке отливок. Чувствительность к надрезам значительно повышается с увеличением механической прочности металла после термообработки.

Резкие переходы толщин стенок и массивные узлы отливок можно устранить, применяя ребра жесткости (рисунок 3.9). Конструктивно и технологически труднее изготовить отливки с различными толщинами стенок. В этом случае рекомендуется выполнять переходы с большими радиусами скругления. Выполнение таких наиболее трудных конструкций обязательно решается при тесном сотрудничестве конструктора и технолога-литейщика. В самых трудных случаях после экспериментов с первыми опытными отливками следует выполнить корректировку конструкции.

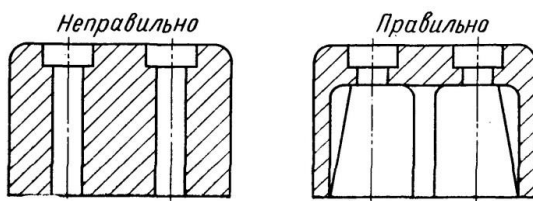


Рис. 3.9 Пример выполнения коробчатой конструкции

При проектировании отливок конструктор должен решать не только проблемы, связанные с их качеством, но и вопросы экономики производства. Так, конструкция отливки определяет сложность и стоимость пресс-формы для выплавляемой модели, трудоемкость сборки модельного блока, отделения отливки от литниковой системы, финишной обработки и т.д.

Одним из наиболее частых конструктивных элементов детали являются утолщения под отверстия – бобышки. Их необходимо проектировать так, чтобы они не мешали извлечению модели из пресс-формы (рисунок 3.10).

Стоимость пресс-формы высока, особенно для сложных отливок, например, турбинных колес. Для извлечения модели из пресс-формы должен быть предусмотрен уклон, который при обработке полостей формы иногда вызывает затруднения. Величину этого уклона необходимо согласовывать с будущим изготовителем, так как она может изменяться в зависимости от принятого технологического процесса.

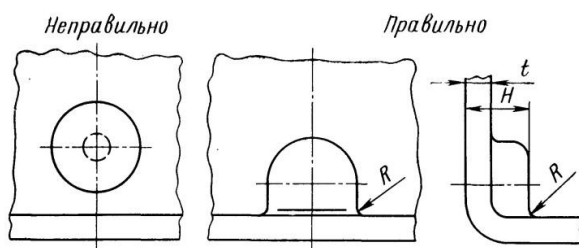


Рис. 3.10 Неправильное и правильное выполнение бобышки под отверстие

При отливке длинных плоских деталей на ровных поверхностях образуются трещины или коробления. Поэтому такие поверхности желательно изготавливать с припусками на обработку. Иногда бывает достаточным при согласии конструкторов разделить такую поверхность канавками или ребрами, которые уменьшают напряжение в литейной форме и препятствуют появлению указанных дефектов.

Получить литьем острые кромки, например, на лопатках турбин, насосов, вентиляторов, трудно, так как металл при заливке охлаждается в полости литейной формы и не заполняет тонкие сечения. Поэтому рекомендуется предусматривать отводное питание граней и по возможности назначать на наиболее тонкие части припуски на механическую обработку, особенно в тех случаях, когда грань должна быть острой и ровной.

Из приведенного ясно, что основные принципы конструирования точных отливок в своей основе такие же, как и отливок, получаемых в

песчано-глинистых формах. Однако при литье по выплавляемым моделям конструктор может проектировать отливку со сложной конфигурацией, повышенной точности и чистотой поверхности. Для этого в некоторых случаях следует максимально облегчать отливку с сохранением ее прочности путем введения ребер жесткости.

Преимущество литья по выплавляемым моделям заключается в том, что можно получать отливки из различных сплавов, высокой прочности при малой массе.

В зависимости от конфигурации отливки ее некоторые размеры приходится доводить как изготовителю, так и заказчику. Отливки типа вилок, например, из-за термических напряжений при охлаждении, сопротивления оболочковой формы, а также часто и во время транспортировки настолько деформируются, что их необходимо дополнительно рихтовать по шаблону для получения заданной формы. В этих случаях рекомендуется уже при проектировании отливки усиливать ее ребрами или соединять ее части технологическими связками (рисунок 3.11).

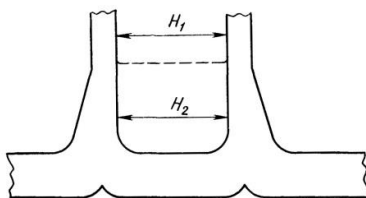


Рис. 3.11 Рекомендуемое усиление жёсткости детали, предупреждающее изменение размера H при литье

В других случаях деформацию можно предупредить за счет дополнительных литейных припусков, с учетом дополнительных расходов, связанных с их удалением и последующей отделкой отливок. Часто для получения определенного размера между двумя параллельными поверхностями отливок применяют механическую правку.

Цилиндрические или конические поверхности нельзя получить литьем с совершенно идеальной формой окружности из-за неравномерной усадки металла и напряжений, которые зависят от размеров отливки, толщины стенки и стенок, связанных с окружностями. Обычно удается получать отклонения окружности диаметром 10 мм в пределах $\pm 0,05$ мм.

Если отливка имеет форму кольца, то внутренний и внешний контуры окружностей эксцентричны. Это зависит от величины диаметра и от толщины стенки. Чем больше диаметр, тем меньше разница в симметрии обеих окружностей.

Технологическое усиление хотя и дает положительный результат, но повышает производственные расходы на отделку отливки и не гарантирует жесткости детали при ее эксплуатации.

Острые грани на стальных отливках выполняют с минимальной величиной радиуса скругления (на небольших участках до 0,15 мм). Для получения острых протяженных граней следует применять большие радиусы скруглений. Минимальный угол граней лезвия должен быть меньше 15° , иначе рекомендуемые радиусы скругления трудно выдерживать.

Литые сквозные отверстия в отливках из черных сплавов рекомендуется выполнять при отношении диаметра к длине отверстия не более 1:4. Глухие отверстия и углубления можно легко выполнить в отливках при их глубине, приблизительно равной диаметру для отливок из черных сплавов. Внутренние стенки отверстия или углубления в местах сопряжения с дном должны быть обязательно скруглены.

Замечательное преимущество литья по выплавляемым моделям – возможность получения в отливке каналов с искривленной осью при благоприятном отношении диаметра канала к его длине. При этом полость или литой канал могут иметь произвольную форму; этот профиль может изменяться еще и по длине (рисунок 3.12). Такой сложный профиль канала нельзя отлить с большой точностью. Получить же такую полость в большинстве случаев методами механической обработки вообще нельзя. Это преимущество литья особенно важно при получении отливок из труднообрабатываемых сплавов.

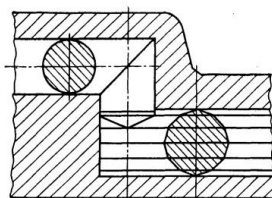


Рис. 3.12 Пример отливки с отверстиями, расположенными на разных осях

Конструктору важно знать наименьшую толщину стенки, выполняемую литьем. Назвать эту величину однозначно очень трудно, так как это связано с размерами всей отливки, расположением меньшей стенки по отношению к другим частям отливки и от размера ее площади. Наименьшую толщину стенки можно получить, если она прилегает к более массивным частям отливки. В этом случае при литье черных сплавов можно получать толщины от 0,5 мм.

Если вся отливка имеет одинаковую толщину стенки при небольших габаритных размерах для черных сплавов наименьшая толщина составит 1,2 мм.

Получение точных отливок максимальной массы и габаритных размеров зависит от уровня технологии в литейном цехе и от его оснащения, в частности в отделении изготовления оболочек и плавильном отделении. По литературным данным, максимальная масса отливок – до 200 кг. Обычно масса точных отливок не превышает 40 кг.

Необходимо отметить, что крупные и тяжелые отливки получаются с невысокой точностью. Целесообразно такие отливки, особенно симметричные, изготавливать из отдельных частей с последующей сваркой в приспособлениях. Сварочная техника в настоящее время развита до такого уровня, что сложная деталь, изготовленная из большинства литейных сплавов, будет иметь постоянные свойства, т.е. как будто она изготовлена в виде единой отливки.

На основании указанных выше рекомендаций в среде 3D моделирования проектируется твердотельная модель детали.

В настоящее время существует большое множество САД программных продуктов, способных проектировать цифровые модели любой сложности. Однако, каждая из программ обладает теми или иными недостатками в виде погрешностей проектирования, которые напрямую влияют на качество изделий (образцов), получаемых при последующем выращивании на установках 3D прототипирования (3D принтерах).

Установка Objet Eden 350 выращивает модель послойно согласно созданным перед началом построения «сечениям». После завершения выращенная модель имеет ступенчатую поверхность, высота ступеньки которой соответствует шагу построения – толщине слоя 16 мкм (рисунок 3.13).

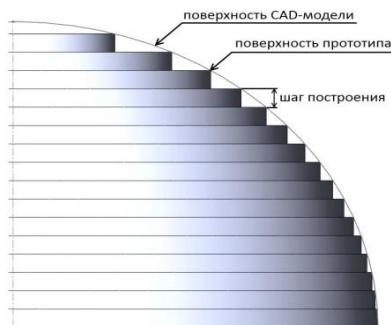


Рис. 3.13 Послойный принцип построения модели на 3D принтере Objet Eden 350

Качество поверхности и достижимая геометрическая точность прототипа напрямую зависит от ориентации модели на рабочей платформе. При построении плоской детали, расположив её горизонтально, можно получить низкую шероховатость горизонтальной поверхности; для получения лучшего качества на боковых поверхностях модель необходимо сориентировать под углом к плоскости платформы.

Поэтому предметом исследования была выбрана полусфера.

Методика проведения исследования заключается в следующем:

1. В каждом из 4-х программных продуктов была спроектирована одна и та же цифровая модель полусферы с радиусом 15 мм (рисунок 3.14). Для последующей идентификации выращенных образцов, на каждой из моделей были сделаны подписи тех программных систем, в которых модели были спроектированы: NX – Siemens NX 8.5; SW – Solid Works 2011; Adem – Adem 8.1; Компас – Компас 13.



Рис. 3.14 Цифровые модели полусферы, спроектированные в разных CAD программных продуктах

2. Стандартными средствами используемых САД программных продуктов все 4 цифровые модели были импортированы в формат .stl (рисунок 3.15). Данный формат является основным для технологического процесса выращивания на 3D принтерах. Особенностью формата .stl является разбиение исходной геометрии цифровой модели на конечно-элементную модель, состоящую из набора равносторонних треугольников.

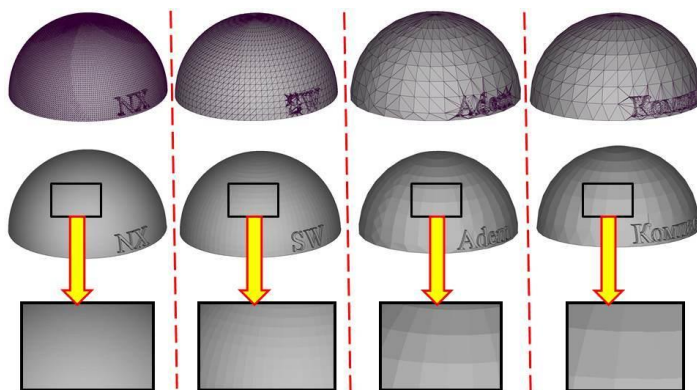


Рис. 3.15 Представление цифровых моделей сферы в формате .stl

Анализ рисунка 3.15 показал, что препроцессинг у используемых программных продуктов разный. У системы Siemens NX 8.5 удалось получить довольно мелкую сетку треугольников, соответственно и качество отрисовки поверхности на высоком уровне. У программы Компас 13 конечно-элементная модель получилась довольно грубая, что напрямую отразилось на качестве поверхности спроектированной цифровой модели.

Необходимо помнить, что 3D принтер полностью и без искажения передает полученную цифровую модель в производство, т.е. какое качество поверхности отображается на экране монитора, такое же качество получится и после процесса выращивания.

3. С использованием 3D принтера Objet Eden 350 выращиваем подготовленные цифровые модели 4-х полусфер (рисунок 3.16). На данный технологический процесс необходимо потратить 147 грамм основного материала FullCure 720, 52 грамма материала поддержки FullCure 705. Общее время изготовления занимает 1 час.



Рис. 3.16 Выращенные образцы

Процесс изготовления образцов методом послойного выращивания заканчивается удалением материала поддержки.

На рисунке 3.17 представлены образцы с укрупненным изображением полученных криволинейных поверхностей. Видно, что на образце, спроектированном в программе NX качество поверхности наилучшее, а на образце, спроектированном в программе Компас на образцах имеется своего рода огранка, такая же как и на .stl формате (см. рисунок 3.15).

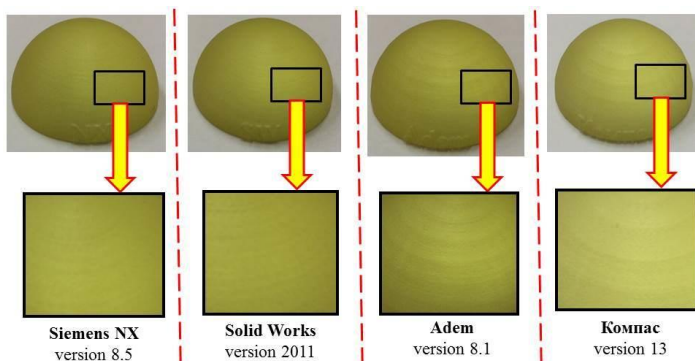


Рис. 3.17 Качество поверхностей на выращенных образцах

4. Анализ качества поверхностей выращенных деталей проводился на основе сравнения измеренных значений шероховатостей поверхностей. Измерение шероховатости проводилось с помощью профилометра Hommel Wave (рисунок 3.18), использующий контактный щуповой метод измерения. Прибор представляет собой датчик, оснащённый тонкой остро заточенной алмазной иглой с ошупывающей головкой.

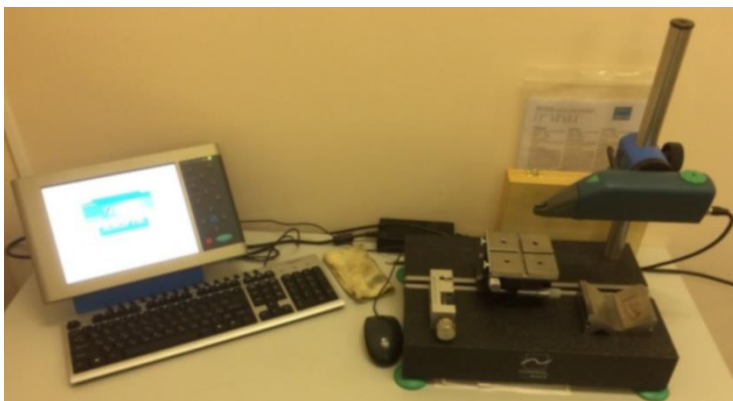


Рис. 3.18 Внешний вид профилометра Hommel Wave

Игла перемещается по нормали к исследуемой поверхности. Естественно, в местах микронеровностей (впадин и выступов) возникают механические колебания относительно головки. Эти колебания передаются на датчик, который преобразует механическую энергию в электрическую. Сигнал, генерируемый преобразователем, усиливается и измеряется: его параметры точно характеризуют неровности поверхности детали или изделия (рисунок 3.19).

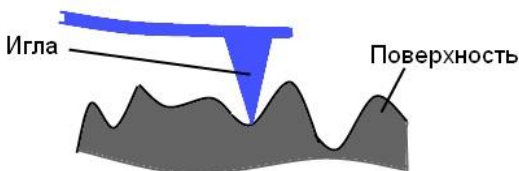


Рис. 3.19 Схема измерения шероховатости шуповым методом

В зависимости от типа преобразователя полезных сигналов профилометры подразделяются на индуктивные, электронные, индукционные и пьезоэлектрические, причём наибольшее распространение получили устройства первого вида. Кроме этого, существует ещё одна разновидность приборов – профилографы, позволяющие не только измерить но и записать параметры профиля в заранее подобранном горизонтальном и вертикальном масштабах.

Исследование неровности проводится в несколько этапов: профиль «ощупывается» определённое количество раз (рисунок 3.20), и лишь на основе серии измерений вычисляется окончательное – усредненное – значение параметра: количественная характеристика неровности относительно длины участка.



Рис. 3.20 Процесс измерения шероховатости поверхности

Критерием сравнения будет выступать параметр R_a – среднего арифметического значения отклонения профиля в пределах заданной длины (рисунок 3.21), так как данный параметр является наиболее предпочтительным при задании шероховатости.

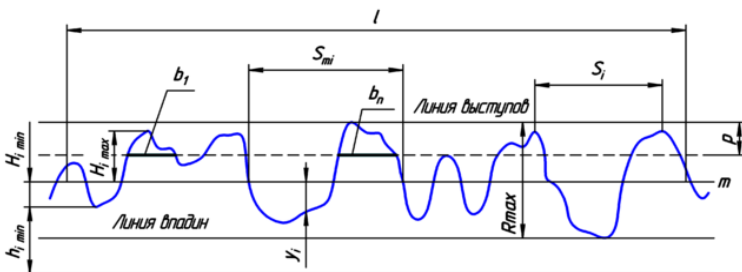


Рис. 3.21 Параметры шероховатости:

L – базовая длина; m – средняя линия профиля; S_{mi} – средний шаг неровностей профиля; S_i – средний шаг местных выступов профиля; $H_i \max$ – отклонение пяти наибольших максимумов профиля; $H_i \min$ – отклонение пяти наибольших минимумов профиля; $h_i \max$ – расстояние от высших точек пяти наибольших максимумов до линии параллельной средней и не пересекающей профиль; $h_i \min$ – расстояние от низших точек пяти наибольших минимумов до линии параллельной средней и не пересекающей профиль; R_{\max} – наибольшая высота профиля; y_i – отклонение профиля от линии m ; p – уровень сечения профиля; b_n – длина отрезков, отсекаемых на уровне p .

На рисунках 3.22 – 3.25 представлены результаты экспериментальных исследований по определению параметров шероховатости поверхностей 4 выращенных образцов.

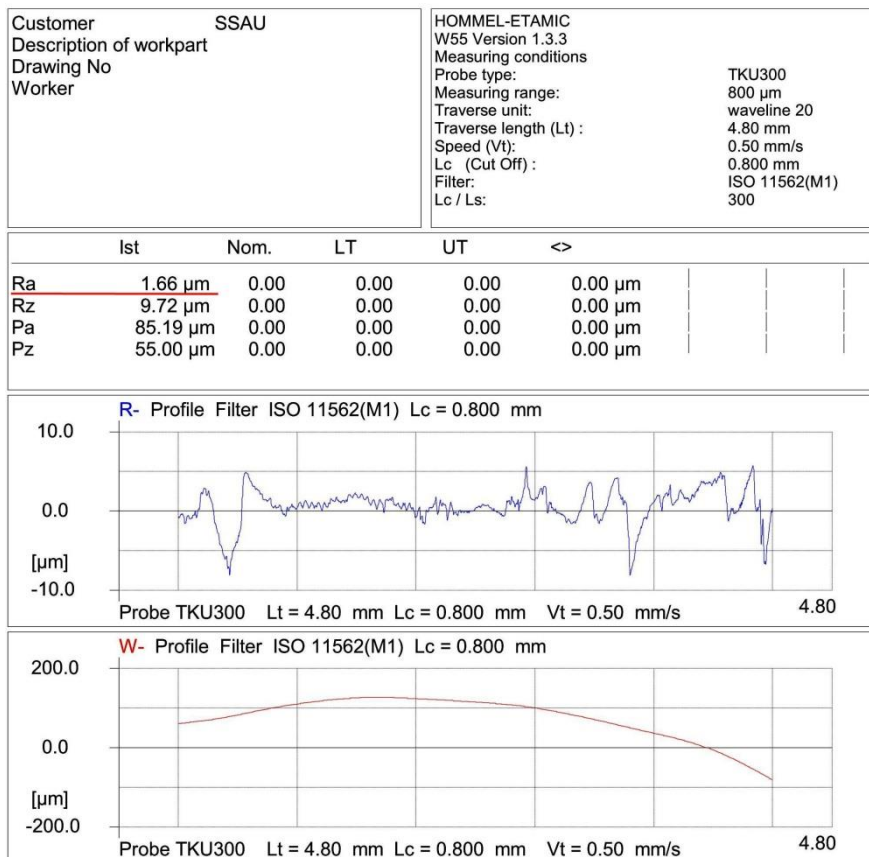


Рис. 3.22 Результаты определения шероховатости образца, спроектированном в программном продукте Siemens NX 8.5

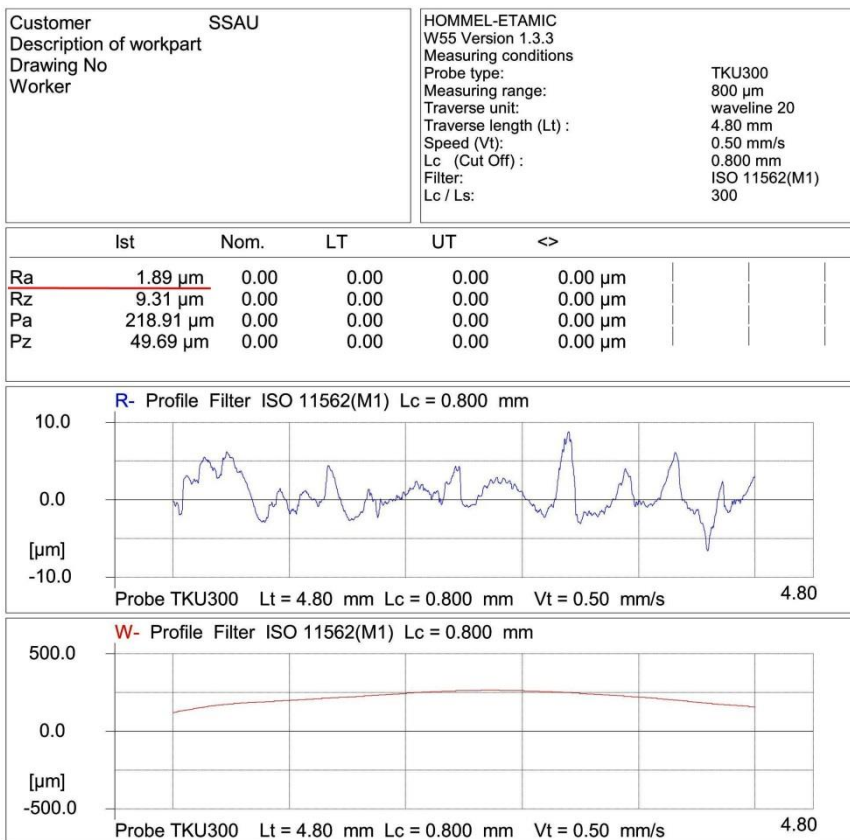


Рис. 3.23 Результаты определения шероховатости образца, спроектированном в программном продукте Solid Works 2011

Customer	SSAU	HOMMEL-ETAMIC
Description of workpart		W55 Version 1.3.3
Drawing No		Measuring conditions
Worker		Probe type: TKU300
		Measuring range: 800 μm
		Traverse unit: waveline 20
		Traverse length (Lt) : 4.80 mm
		Speed (Vt): 0.50 mm/s
		Lc (Cut Off) : 0.800 mm
		Filter: ISO 11562(M1)
		Lc / Ls: 300

	Ist	Nom.	LT	UT	<>
Ra	2.20 μm	0.00	0.00	0.00	0.00 μm
Rz	9.62 μm	0.00	0.00	0.00	0.00 μm
Pa	213.58 μm	0.00	0.00	0.00	0.00 μm
Pz	67.87 μm	0.00	0.00	0.00	0.00 μm

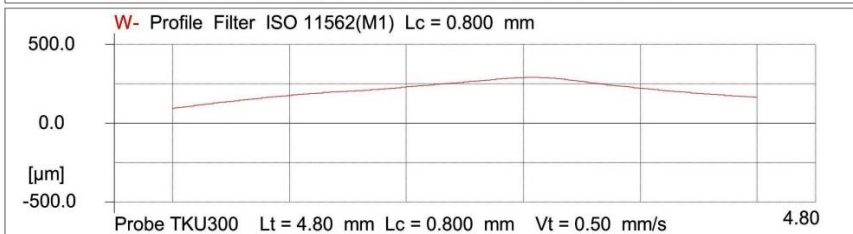
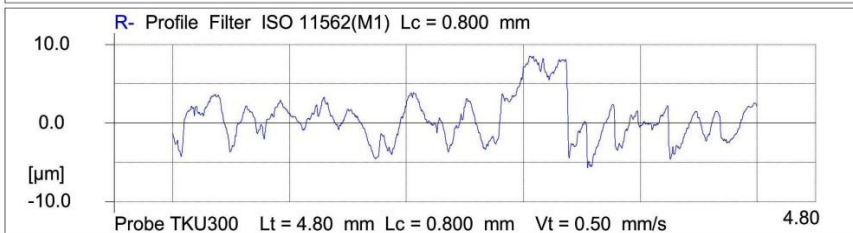


Рис. 3.24 Результаты определения шероховатости образца, спроектированном в программном продукте Adem 8.1

Customer	SSAU	HOMMEL-ETAMIC
Description of workpart		W55 Version 1.3.3
Drawing No		Measuring conditions
Worker		Probe type: TKU300
		Measuring range: 800 μm
		Traverse unit: waveline 20
		Traverse length (Lt) : 4.80 mm
		Speed (Vt): 0.50 mm/s
		Lc (Cut Off) : 0.800 mm
		Filter: ISO 11562(M1)
		Lc / Ls: 300

	lst	Nom.	LT	UT	<>			
Ra	2.42 μm	0.00	0.00	0.00	0.00 μm			
Rz	11.27 μm	0.00	0.00	0.00	0.00 μm			
Pa	189.79 μm	0.00	0.00	0.00	0.00 μm			
Pz	68.63 μm	0.00	0.00	0.00	0.00 μm			

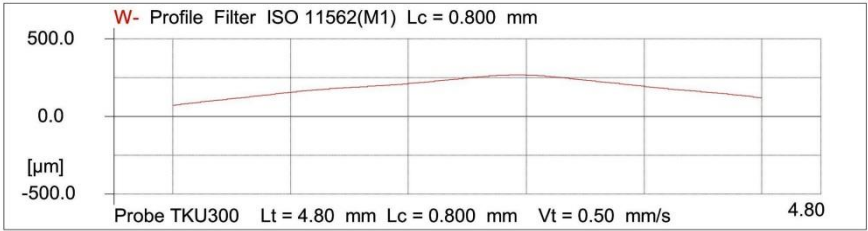
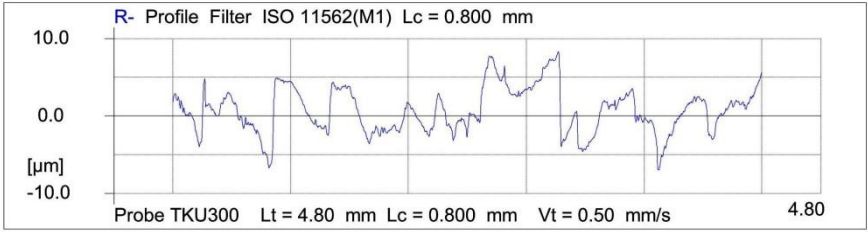


Рис. 3.25 Результаты определения шероховатости образца, спроектированном в программном продукте Компас 13

Таким образом, результаты измерения шероховатости показывают, что наиболее качественная поверхность получилась у образца, спроектированном в программном продукте Siemen NX 8.5 ($Ra = 1,66$ мкм). Немного грубее получилась поверхность у образца, спроектированном в программном продукте Solid Works 2011 ($Ra = 1,89$ мкм). Удовлетворительное качество поверхности было выявлено у образца сферы, который был спроектирован в программе Adem 8.1 ($Ra = 2,2$ мкм). Неудовлетворительное качество поверхности получилось у образца, спроектированного в программном продукте Компас 13 ($Ra = 2,42$ мкм). Необходимо помнить, что результаты проведенных экспериментальных исследований актуальны, только для рассмотренных версий программных продуктов.

Качество поверхности образцов (шероховатость), получаемых методом послойного выращивания, напрямую зависит от используемого программного обеспечения, от его функциональных возможностей, от корректности работы софта и компьютерной грамотности проектирования 3D цифровых моделей, что, в конечном итоге влияет на геометрическую точность размеров выращиваемых моделей.

Практическая часть

3.7 Выращивание тестовых образцов на 3D принтере

В соответствии с ГОСТ в CAD модуле программного продукта NX необходимо спроектировать объемные модели тестовых образцы и их пронумеровать (рисунки 3.26).

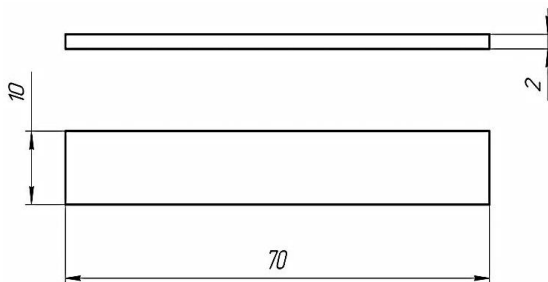


Рис. 3.26 Размеры образцов, используемых в эксперименте

Системой Eden принимаются:

✓ Файлы STL

✓ Файлы SLC

Возможности системы Eden таковы, что она может принимать оба типа файлов одновременно.

STL является сокращением от Standard Triangulation Language. Этот язык рассматривает любой объект как набор поверхностей и описывает каждую поверхность объекта как набор треугольников. Например, квадрат может быть описан как два треугольника; куб (шесть квадратов) как 12 треугольников. Искривленные поверхности нуждаются в большем количестве треугольников для их описания. Чем выше отклонение (для гладких поверхностей), тем большее количество треугольников необходимо. В результате, описание высококачественных объектов требует достаточно объемный файл.

Большинство САПР могут экспортировать файлы STL. Системой Eden эти файлы используются для выращивания образцов (быстрое прототипирование) и, также, для прямого изготовления форм для серийного производства.

Файлы STL являются ASCII (text) файлами. Содержимое каждого файла начинается с "solid" и заканчивается "end-solid" (прописными буквами). Между этими двумя ключевыми словами находится список треугольников, который описывает стороны модели. Каждый треугольник обозначает одиночный нормальный вектор, направленный от поверхности модели, затем следуют его X-Y-Z координаты. Это является расширенными Cartesian координатами и является значениями с плавающей точкой. Координаты всех треугольников должны быть положительными и должны находиться в объеме модели.

SLC является сокращением от Stereo-Lithography Contour. Файлы SLC описывают двухмерные контуры трехмерных моделей. Линии этих контуры являются полилиниями.

Файлы SLC являются ASCII (text) файлами, которые описывают модель как серию сечений. Это означает, что модели описанные файлом SLC не могут быть ориентированы; только их масштаб (размер) и положение на лотке могут быть изменены. По этой причине, ориентация модели в пространстве должна быть определена перед сохранением

файла SLC. Из-за данных свойств файлов SLC, отображение моделей в Objet Studio может отличаться от отображения файлов STL.

Таким образом, система Eden 350 может работать только с двумя видами файлов: .stl и .slc. Проектирование цифровых моделей
Для преобразования файла в STL формат (в CAD программе NX):

1. В меню Файл необходимо выбрать Экспорт – STL.
2. В диалоговом окне Экспорт – STL необходимо задать допуск на триангуляцию и допуск на смежность (рисунок 3.27).

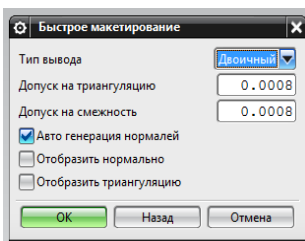


Рис. 3.27 Экспорт модели в формат STL

3. Нажимаем ОК и выбираем директорию, в которую необходимо сохранить модель.

4. Далее необходимо выбрать модель для экспорта.

5. Нажимаем кнопку ОК.

Программное обеспечение Objet для 3D печатной системы Eden состоит из двух приложений:

- Objet Studio
- Job Manager

С помощью Objet Studio подготавливаются входные файлы для выращивания на 3D принтере Eden. Objet Studio предоставляет широкий спектр возможностей по подготовке файлов к выращиванию, но всегда использует следующие базовые процедуры:

1. Размещение одного или более объектов на лотке вывода.
2. Позиционирование объекта (ов) на лотке.
3. Конфигурирование параметров объектов и лотка.
4. Сохранение конфигурации лотка как otf (Objet Tray Format) файла.
5. Передачу otf файла на 3D принтер Eden для выращивания.

Приложение Job Manager отображает очередь и статус работ, отправленных только с данного компьютера, и позволяет редактировать только эти работы.

Необходимо запустить приложение Objet Studio, дважды кликнув по этой иконке на рабочем столе. Запустится Objet Studio, отобразив пустой лоток вывода (рисунок 3.28).

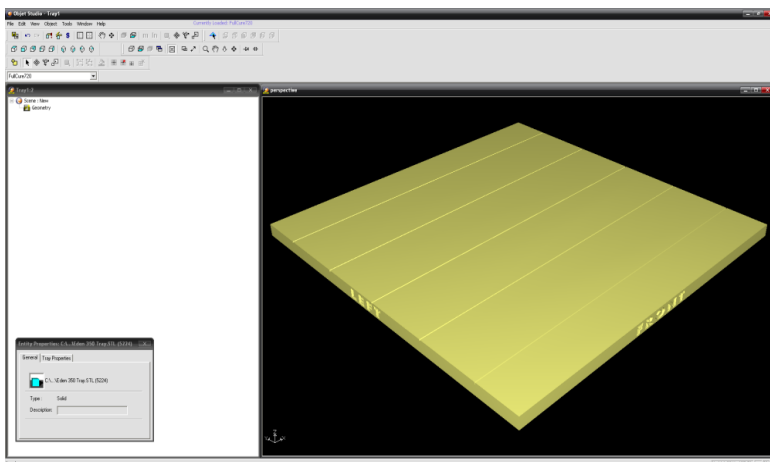


Рис. 3.28 Платформа построения в приложении Objet Studio

Для выращивания тестовых образцов в количестве 10 штук, необходимо открыть файл с моделью в формате .stl в Objet Studio и расположить объект на лотке вывода.

В панели инструментов необходимо выбрать тип основного материала – FullCure 720.

Для размещения объекта на лотке вывода необходимо открыть диалоговое окно Insert. Из меню Object, выбрать Insert, или на панели инструментов, кликнуть значок Insert Model, или кликнуть правой кнопкой мышки на лотке вывода и выбрать Insert. Появится диалоговое окно Insert (рисунок 3.29).

В поле Имя файла, указываем необходимую папку.

В поле Тип файла, необходимо выбрать файл формата .stl.

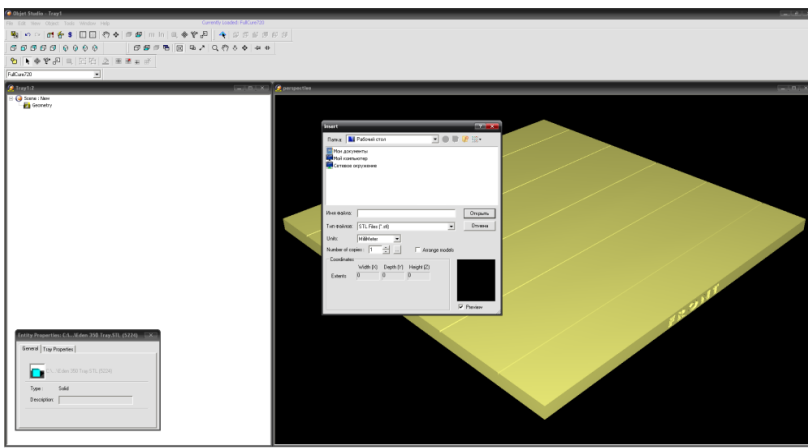


Рис. 3.29 Диалоговое окно Insert

По необходимости, можно выбрать следующие опции:

- Units – выбор миллиметров или дюймов для единиц измерения объекта.
- Number of copies – выбор необходимого числа копий выбранной модели для размещения на лотке вывода.
- Arrange models – для автоматического размещения моделей на лотке вывода для повышения эффективности производства моделей.

Нажимаем открыть.

Диалоговое окно закроется и Objet Studio разместит тестовые образцы на лотке вывода (рисунок 3.30).

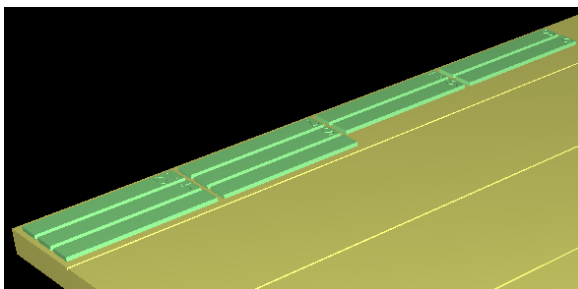


Рис. 3.30 Размещение тестовых образцов на платформе построения

Для качественного выращивания образцов и с требуемой точностью важно грамотно расположить объекты на лотке вывода. Objet Studio обладает функцией автоматического расположения объектов. Тем не менее, необходимо проверить, что объекты ориентированы логически.

Существует два способа расположения объектов в Objet Studio на лотке вывода.

Каждый раз, когда объект помещается на лоток вывода, необходимо выбрать Arrange models в диалоговом окне Insert.

После размещения нескольких объектов на лотке вывода, необходимо выбрать select Tools > Automatic Placement.

Присутствует возможность ручного расположения объектов на лотке вывода – даже, если они были автоматически упорядочены (используя опцию Arrange models в диалоговом окне Вставка).

Ориентация цифровых моделей на лотке вывода влияет на скорость и эффективность их производства на 3D принтере, где и сколько будет использовано материала модели и будет ли поверхность модели глянцевая. На рисунке 3.31 представлены выращенные тестовые образцы.

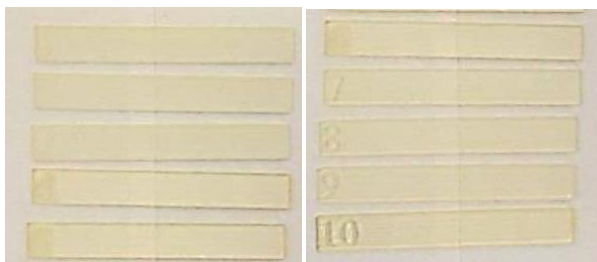


Рис. 3.31 Выращенные тестовые образцы на 3D принтере

После выращивания необходимо удалить материал поддержки с помощью установки WaterJet. Температура хранения образцов должна составлять 15...25 0С. Наружные измерения линейных размеров образцов необходимо производить с помощью гладких микрометров МК с диапазоном измерений 0-25, 0-50 и 0-75, имеющих цену деления 0,01 мм и допустимую погрешность $\pm 0,004$ мм.

На рисунке 3.32 показана типовая конструкция гладкого микрометра. К его основным деталям и узлам относятся скоба 1, пятка 2, микровинт 4, стопор винта 5, стержень 6, барабан 7 и трещотка 8 микрометрической головки, преобразующей вращательное движение барабана в поступательное движение микровинта.

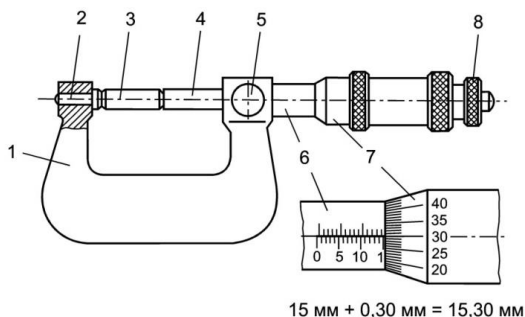


Рис. 3.32 Микрометр гладкий МК

Необходимо произвести на тестовых образцах измерение трех линейных размеров, а, b и с, соответствующих 10, 70 и 2 мм на 3D модели (рисунок 3.33).

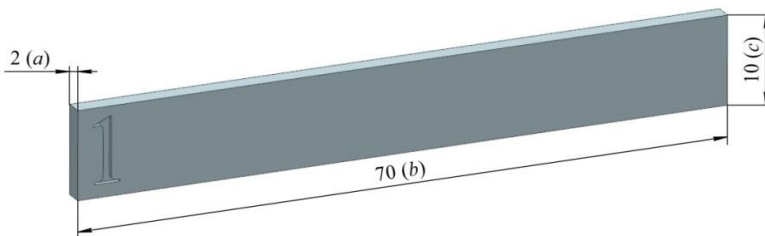


Рис. 3.33 Измеряемые параметры у образцов

Измеренные значения необходимо записать в соответствующие графы таблицы (см. приложение 1). Величины свободной линейной усадки необходимо рассчитать по формуле (1):

$$\alpha l = (l_0 - l) / l_0, \quad (1)$$

где l_0 – соответствующий размер на 3D модели, мм;

l – соответствующий размер на образце после усадки, мм.

Отклонение линейных размеров относительно номинальных значений рассчитываются по формуле:

$$\Delta = \Delta_{НОМ} - \Delta_{ИЗМЕР}, \quad (2)$$

где $\Delta_{НОМ}$ – номинальный линейный размер на 3D модели, мм;

$\Delta_{ИЗМЕР}$ – измеренный линейный размер на тестовом образце, мм.

Рассчитанные значения линейной усадки необходимо записать в соответствующие графы таблицы в приложении 1.

3.8 Содержание отчета

В процессе выполнения работы оформляется отчет (приложение 1) в соответствии с предложенным алгоритмом (пункт 2), заполняется цели и задачи лабораторной работы, приводится эскиз тестовых образцов для выращивания. Проводится измерение линейных размеров тестовых образцов, вычисляются отклонения от номинала (сравниваются с 3D моделью) и вычисляются величины линейных усадок. В конце отчета формируются выводы по проделанной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Специфика изготовления моделей с помощью 3D принтеров?
2. В чем ключевая особенность технологии послойного выращивания PolyJet?
3. Из каких основных блоков состоит 3D принтер Objet Eden 350?
4. Описать принцип проектирования 3D моделей для послойного выращивания.
5. В чем заключается принципиальное отличие качества выращенных образцов, спроектированных в различных CAD программных продуктах?
6. Для чего на 3D модели предназначены технологические уклоны и литейные радиусы?
7. Какова последовательность действий оператора при технологическом процессе послойного выращивания моделей?
8. Каковы основные характеристики материалов семейства FullCure?
9. Каким образом производится постобработка выращенных моделей?
10. Каким образом происходит расчет линейной усадки материала?
11. Каким образом происходит расчет отклонения линейных размеров относительно номинальных?

4 ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕТАЛЕЙ И СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1 Цель и задачи работы

Цель работы – закрепление теоретических знаний и получение практических навыков по подготовке управляющих программ и выполнению измерений геометрических параметров деталей с использованием координатных средств измерений.

Задачи:

- современные методы и средства измерений геометрических параметров деталей и сборочных единиц;
- изучить конструкцию и технические характеристики координатных средств измерений;
- проанализировать измерительную задачу и деталь, разработать управляющую программу для измерения геометрических параметров.

4.2 Последовательность выполнения работы

1. Изучить особенности методов и средств координатных измерений, в том числе реализующих контактный метод измерения.
2. Изучить специфику и особенности погрешностей координатных средств измерений.
3. Освоить последовательность и основные этапы разработки управляющих программ для координатных средств измерений на примере использования контактной координатно-измерительной машины.
4. Разработать управляющую программу для измерения геометрических параметров детали.
5. Произвести измерение геометрических параметров деталей либо выполнить верификацию управляющей программы.
6. Оформить отчет, сделать выводы по итогам выполнения практического занятия.

4.3 Программное обеспечение, оборудование, инструменты и средства измерений

Программное обеспечение: – PC-DMIS CAD++ 4.3.

Оборудование: координатно-измерительная машина DEA Global Performance 07.10.07.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.4 Современные методы и средства измерений геометрических параметров деталей машиностроения

В основе большинства современных средств измерений, применяемых в машиностроении для контроля геометрических параметров, заложен координатный метод измерения.

Координатные измерения – это измерения геометрических параметров объекта путем измерения координат отдельных точек поверхности объекта в принятой системе координат (прямоугольной, цилиндрической, сферической) и последующая математическая обработка измеренных координат для определения линейных и угловых размеров, отклонений формы и расположения поверхностей [18].

В промышленности наиболее важными универсальными измерительными приборами для контроля деталей произвольной формы являются координатно-измерительные машины (КИМ), которые могут быть оснащены как контактными, так и бесконтактными измерительными системами.

КИМ получили хорошее распространение в промышленности, поскольку они являются очень гибкими и позволяют производить измерения точек в пространстве с высокой точностью. В настоящее время они снабжены числовым программным управлением и сканирующими измерительными головками, как контактными и бесконтактными; автоматические измерения тысяч точек легко выполняются, даже на сложных поверхностях. В случаях, когда геометрическая точность поверхностей произвольной формы имеет решающее значение для эксплуатационных качеств или для внешнего вида изделия, процесс контроля, как правило, проводится на КИМ. Координатные измерения осуществляются при помощи контактного и бесконтактного методов. Рассмотрим подробнее эти методы.

4.4.1 Контактный метод измерений

Метод основан на измерении отдельных точек поверхностей деталей посредством касания этих поверхностей измерительным наконечником зачастую сферической формы. В отличие от традиционных средств измерений, КИМ позволяет измерять элементы геометрии свободной формы, поскольку измерения не выполняются напрямую. Размеры геометрических элементов вычисляются на основании координат точек или поверхности, причем этих точек должно быть достаточно для однозначного определения измеряемой геометрии (плоскость, отверстие, конус). Так же КИМ используют для определения параметров поверхности, величин отклонений формы и расположения поверхностей.

Важнейшим преимуществом контактных измерительных систем является высокая точность получаемых фактических значений координат точек поверхности. Заявленная производителями КИМ точность измерения составляет порядка 0,5-2 мкм.

Широко распространен порталный тип КИМ (рисунок 4.1). Преимущество порталных КИМ очевидно при измерении точных деталей в стационарных условиях специальных термостатированных помещений.



Рис. 4.1 – Процесс измерения детали на КИМ «DEA Global Performance 07.10.07»

Но в ряде случаев их использование невозможно или неоправданно, например, при измерении крупногабаритных деталей или когда нет возможности доставить деталь в специальное помещение. В этих случаях используются измерительные машины портативного типа. КИМ портативного типа представляет собой многоосевую измерительную «руку» с шестью степенями свободы, имеющую три подвижных сочленения (в «плече», «локте» и «запястье») со сферическим рабочим пространством. Каждое сочленение снабжено датчиком поворотов по осям. При касании измерительного наконечника об измеряемую поверхность, с высокой точностью определяются его координаты центра. Координаты точки касания определяются координатами вектора компенсации, отложенного из центра измерительного наконечника. Модуль вектора компенсации равен радиусу измерительного наконечника. Для определения направления вектора компенсации существуют различные способы, называемые методами компенсации. Приведем наиболее распространенные:

1. Направление вектора компенсации определяется по вектору нормали в точке измеряемой поверхности на САD-модели детали. Движение измерительного наконечника к измеряемой точке поверхности производится так же по направлению вектора-нормали (рисунок 4.2).

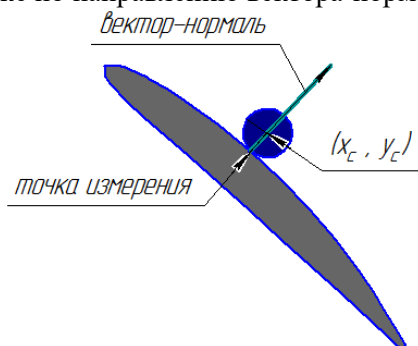


Рис. 4.2 – Измерение лопатки ГТД методом соответствия с 3D-моделью

2. Направление вектора компенсации определяется следующим образом:

– в случае измерения профилей (кривых) – вектором-нормалью к прямой, проведенной через две ближайшие точки (рисунок 4.3);

– если объект измерения – поверхность: вектором-нормалью является вектор нормали к плоскости, определенной измерением трех точек.

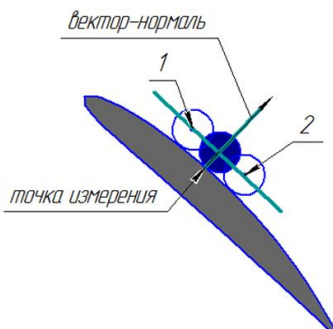


Рис. 4.3 – Определение вектор-нормали движения щупа по прямой, проведенной через центры щупа при измерении соседних точек

Недостатком данного способа является необходимость выполнения дополнительных измерений вспомогательных, что повышает трудоемкость контроля.

3. Вектор компенсации определяется по вектору нормали к поверхности, заданной по координатам центров измерительного наконечника, полученных касанием в множестве точек измеряемой поверхности. При измерении профиля (кривой) через центры измерительного наконечника задается кривая, отстоящая от измеряемого профиля на величину радиуса наконечника, рисунок 4.4.

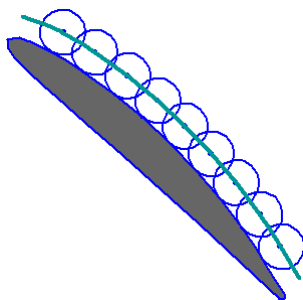


Рис. 4.4 – Измерение деталей сложных поверхностей методом «сканирования»

Наиболее широкое применение в практике измерений находят первый и третий способы. Первый из вышеперечисленных способов измерения сложных поверхностей обладает относительно невысокой точностью для поверхностей сложной формы, имеющих высокую кривизну. Например, при измерении формы пера лопатки ГТД, поверхности спинки или корыта достаточно точно можно измерить точки сложной поверхности по первому способу компенсации радиуса измерительного наконечника. Однако для измерения входных и выходных кромок пера с требуемой точностью необходимо использовать третий способ.

Среди основных недостатков контактных методов измерения относятся:

- высокий риск столкновения щупа с деталью в процессе измерения и как следствие необходимость верификации траектории перемещения рабочего щупа в процессе измерений нескольких смежных плоскостей;
- низкая скорость измерения;
- трудности с пересчетом фактических данных от смещения щупа [19];
- необходимость достаточно сложных креплений для измеряемой детали;
- невозможность оцифровки участков поверхности детали, содержащих мелкие элементы, размер которых сопоставим с размерами контактного щупа.

Все эти недостатки не позволяют использовать широко распространенные КИМ в качестве единственного универсального решения для оцифровки широкой номенклатуры деталей, например в авиационном двигателе, несмотря на актуальность их использования, оправданную высокой точностью и большой степенью автоматизации при измерениях однотипных деталей серийного производства.

4.4.2 Бесконтактные методы измерений

К бесконтактным методам измерений относятся оптические методы, основанные на оптических принципах, таких как автофокусировка, триангуляция и голография, а также лазерный метод. Преимуще-

ствами бесконтактных методов измерений являются, отсутствие силового воздействия, быстрый сбор данных о большом количестве точек, высокая степень гибкости в измерительных настройках [20].

Оптические системы статического действия

Оптические системы статического действия не требуют перемещения рабочих органов. В основе таких систем заложены два метода: 1) проекция интерференционных полос и 2) отражение интерференционных полос/Дефлектометрия.

Проекция интерференционных полос

Проекция интерференционных полос – метод, в котором положение измеряемых точек рассчитывается с помощью оптической триангуляции. В рассматриваемом методе измерение отдельных координат точек поверхности осуществляется без использования физических маркеров. Физические маркеры используются для совмещения отдельных измерений габаритных объектов с разных позиций.

В данном методе различают два подхода [21]: первый основан на проекции образца на поверхность и как минимум двух различных полей зрения камеры. В данном случае образец предназначен исключительно для формирования гомологических (соответственных) точек для триангуляции в пределах оптических изображений, выдаваемых камерой.

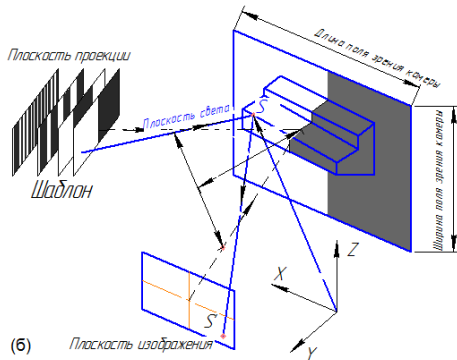
Второй подход находит численное значение искажения формы измеряемой детали. В этом случае проекционный прибор образца исполняет роль одной камеры. Метод проекции интерференционных полос также реализовывался различными исследовательскими группами в сочетании с другими, более точными датчиками. Более того, в настоящее время исследуется адаптивный метод проекции интерференционных полос с тем, чтобы расширить диапазон измеряемых поверхностей по их шероховатости и углам наклона поверхностей [22].

Стандартный объем измерения системы проекций интерференционных полос находится в диапазоне значений между 0,1 м и 1 м, с относительной точностью до 10^{-4} .

Пример системы проекций интерференционных полос представлен на рисунке 4.5.



(а)



(б)

Рис. 4.5 – Пример средства измерения, основанного на проекции интерференционных полос: а) фотография; б) оптическая схема, где представлена измеренная точка поверхности S

Рассмотрим принцип работы проекции интерференционных полос, схема которого представлена на рисунке 4.5.б. Проектор проецирует интерференционный рисунок полос, закодированный с помощью специального процесса, на измеряемый объект. Топография объекта приводит к деформации и отклонениям на интерференционном рисунке полос. Благодаря этому поверхность объекта становится видимой в 3D для систем с одной или несколькими камерами, которые образуют вторую ключевую часть сканера интерференционных полос белого света. Для определения отдельных точечных координат 3D, триангуляционный расчет (отношения в прямоугольном треугольнике) производится из каждого пикселя камеры на основе пересечения лучей (проектор-камера) и кодирования.

В зависимости от разрешающей способности камеры и используемого объема измерений, грубый или мелкий 3D точечный рисунок (разрешение) помещается на объект. Чем мельче рисунок, тем лучше можно представить сложные элементы (радиусы, кромки и т.д.).

Отражение интерференционных полос/Дефлектометрия

Общим недостатком систем проекций интерференционных полос является их неспособность измерить отражающие поверхности, например, зеркальные поверхности. В методе отражения интерференционных полос, также называемый дефлектометрией, экран проецирует чер-

ные и белые полосы на отражающую поверхность. Отраженная интерференционная картина просматривается с помощью видеокамеры и подвергается анализу посредством программного обеспечения. Таким образом, углы отражения могут быть определены для каждого пиксела, а локальные градиенты могут быть рассчитаны с высоким поперечным разрешением. Данные о поверхности получаются путем интеграции, с большим вертикальным разрешением, чем при проекции интерференционных полос. На рисунке 4.6 приведен пример горизонтальной настройки при измерении зеркальной поверхности произвольной формы.

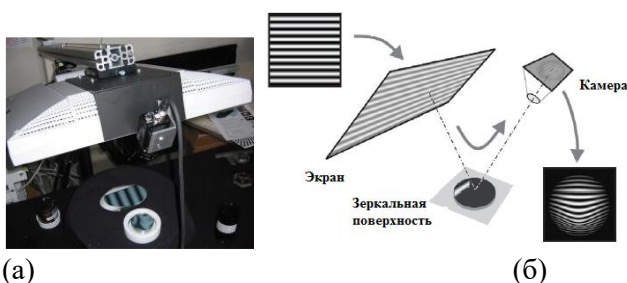


Рис. 4.6 – Пример системы отражения интерференционных полос:
 (а) изображение горизонтальной настройки малогабаритных объектов (б)

Сильно отражающие поверхности могут быть измерены на КИМ с помощью, например, специального триангуляционного оптического датчика [23], который использует три падающих луча света, проходящих через поляризационные пластины таким образом, что отраженный свет в значительной степени устраняется и только рассеянный свет может достигать ПЗС-камеру.

Оптические измерительные системы представляют собой дистанционные датчики, которые в зависимости от количества и положения измеряемых точек можно разделить на три основных типа: точечные датчики, линейные (полосковые) датчики и барьерные датчики. Пример представлен на рисунке 4.7.

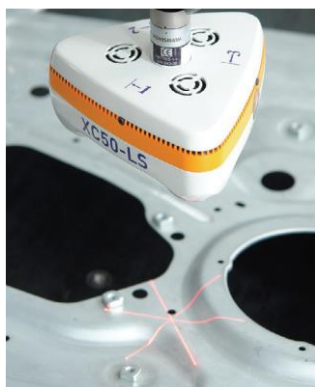


Рисунок 4.7 – Пример оптической измерительной системы, установленной на КИМ: мульти полосковый лазерный датчик

В таблице 4.1 приведены качественные характеристики применимости методов средств измерений с учетом классов размера детали, сложности формы, чистоты поверхности и свойств материала, таких как твердость и светопроницаемость [24]. Характерные погрешности измерения указаны на рисунке 4.8.

Табл. 4.1 – Оценка некоторых методов измерения

	Лазерный трекер	Непосредственное сличение	Тактильная КИМ	Оптическая КИМ	Рентгеновская томография	Проекция интерферен. полос	Отражение интер. полос/Дефлектометрия	Фотограмметрия	Интерферометрия	Тактильная микрогеометрия лав-ти и профилометрия	Оптическая микрогеометрия лав-ти и профилометрия	Конфокальная микроскопия	Сканирующая силовая микроскопия
Размер детали													
Крупногабаритная	●	☉	●	●		☉		●	☉				
Среднегабаритная	●	●	●	●		●		●	●				
Малогоабаритная		●	●	●	●	●	●	●	●	☉	☉		
Микро		☉	☉	●	●	☉	☉	●	●	●	●	●	●
Сложность формы													
Низкая	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Средняя	☉	☉	●	●	●	☉		☉	☉	☉	☉	☉	☉
Высокая	☉		☉	☉									
Материал и поверхность													
твердый, неточная	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
нетвердый	●	☉	☉	●	●	●	●	●	☉	☉	●	●	●
зеркальная	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●
светопроницаемый	●	☉	●	●				●	●	●	☉	●	●
светонепроницаемый	●	●	●	●	●	☉	☉	●	●	●	●	●	●
Единство измерений													
	☉	☉	●	☉	☉	☉	☉	●	●	☉	☉	☉	☉

Легенда	полная совместимость	●
	частичная совместимость	☉

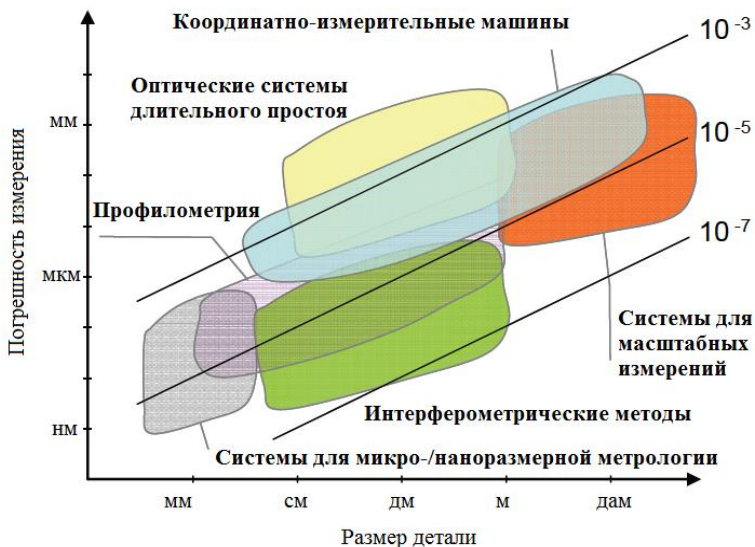


Рисунок 4.8 – Характерный диапазон погрешности измерения в зависимости от размера детали для различных классов измерительных систем

Точность измерительных средств определяется во многом их конструкцией. Рассмотрим конструктивные особенности современных контактных и бесконтактных КИМ. Начнем с конструкции контактных КИМ.

4.4.3 Структурная схема и базовые компоновки контактных КИМ

Компоновка в значительной степени определяет характеристики КИМ и требования к конструкции и параметрам основных узлов. В свою очередь компоновка зависит от габаритных размеров и массы измеряемых деталей; расположения измеряемых поверхностей; необходимого числа координатных перемещений для реализации оптимального в отношении точности и производительности процесса измерения.

Компоновка КИМ, предназначенной для решения определенных задач, должна оптимально удовлетворять следующим, отчасти противоречивым, требованиям:

- минимальное отклонение от принципа Аббе;
- обеспечение оптимальных динамических свойств;
- минимизация деформаций узлов в КИМ, возникающих из-за действия переменной массы измеряемых деталей, ИГ, перемещения подвижных узлов;
- возможность, удобство и точность компенсации деформаций;
- наличие открытого измерительного пространства, обеспечивающего удобство установки детали и хорошую ее обзорность в процессе измерения.

Принцип Аббе состоит в том, что минимальные ошибки измерения возникают, если контролируемый геометрический элемент и элемент сравнения находятся на одной линии – линии измерения. Этот принцип справедлив для поступательно перемещающихся звеньев. Последовательное расположение контролируемого и образцового элемента по одной линии приводит к увеличению габаритных размеров средств измерений, поэтому в ряде случаев применяют параллельное расположение сравнительных элементов, но и тогда нужно соблюдать условия, при которых ошибки измерения минимальны.

Портальные компоновки наиболее распространены и представлены рядом различных вариантов. Характерной особенностью этих компоновок является П-образный портал (рисунок 4.9).

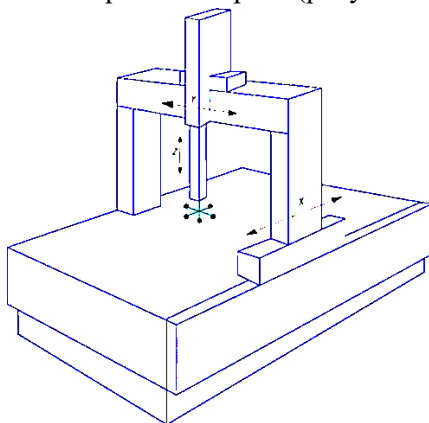


Рис. 4.9 – Портальная компоновка КИМ

Портал с колоннами перемещается по основной оси. По горизонтальной оси перемещается каретка, несущая подвижную вдоль вертикальной оси пиноль, на которой крепится ИГ. Портальные компоновки обладают высокой жесткостью основных узлов, точностью, хорошими динамическими свойствами, достаточно открытым пространством для установки детали и ее обзорностью в процессе измерения, удобством для развития отдельных КИМ в конструктивно унифицированные типоразмерные ряды, обеспечивающие широкий диапазон габаритов измеряемых деталей.

При повышенных требованиях к точности и увеличении диапазона измерений механические направляющие заменяются системами на воздушных подшипниках. Высокоточные направляющие производятся в основном из природного твердого камня (например, гранита). Подвижные компоненты перемещаются по каменным поверхностям на воздушной подушке толщиной всего в несколько микрометров, предназначенной для минимизации трения. Усилие, необходимое для передвижения кареток, является относительно небольшим, а отсутствие какого-либо запаздывания в системе позиционирования приводит к снижению погрешности измерения.

Портальные компоновки с подвижным порталом рекомендуются для прецизионных среднегабаритных КИМ с перемещением каретки вдоль портала до 1000 мм, пиноли до 800 мм и для средне- и крупногабаритных производственных КИМ с перемещением вдоль портала до 1600 мм, пиноли до 1400 мм. Перемещение портала вдоль основания определяется размерами последнего в пределах до нескольких метров.

Портальная компоновка с неподвижным порталом, как правило, используется для прецизионных среднегабаритных КИМ с координатными перемещениями до 1200 мм.

Повышенной жесткостью и стабильностью несущего подвижного звена при сравнительно небольшой его массе обладают КИМ с подвижным Г-образным полупорталом (рисунок 4.10), образованным из жесткой горизонтальной поперечины и легкой опоры. Полупортал одним концом поперечины базируется на поднятой и жестко прикрепленной относительно основания балке с направляющими, а свободным концом посредством подшипников опирается на направляющие основания.

Привод и ИП полупортала прикреплены к балке. Имеется свободный доступ с двух сторон для установки детали и достаточная обзорность при измерении. Такая компоновка рекомендуется для прецизионных КИМ средних габаритов с увеличенным перемещением по вертикальной оси, для которых измерительное пространство близко к кубу.

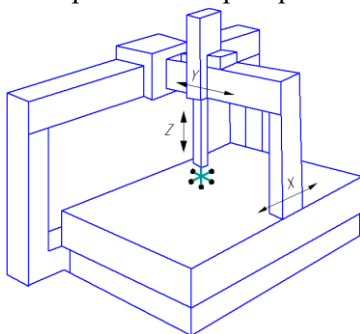
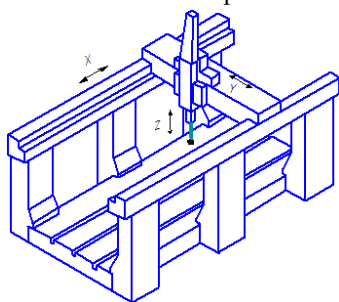
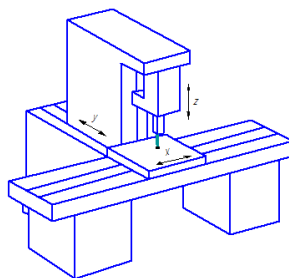


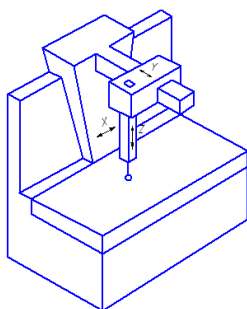
Рис. 4.10 – Портальные компоновки с полупорталами



а



б



в

Рис. 4.11 – Компоновки КИМ:

а) мостовая компоновка; б) стоечная компоновка; в) консольная компоновка

Мостовая компоновка позволяет получить меньшую по сравнению с другими компоновками массу подвижных узлов при высокой их жесткости и устойчивости. Она используется в крупногабаритных КИМ разных классов точности (рисунок 4.11,а) и является для них основной компоновкой. У мостовой компоновки каретка с пинолью перемещается по подвижной траверсе, обеими своими концами базирующейся на горизонтальных неподвижных балках, которые на колоннах подняты над столом для установки детали. Привод и ИП измерительной системы траверсы крепятся к одной из балок. КИМ такой компоновки имеет ограниченный с трех сторон доступ для загрузки деталей и наблюдения за измерением.

Стоечные компоновки характеризуются наличием подвижной или неподвижной относительно основания стойки, по которой, как правило, в вертикальном направлении перемещается пиноль или суппорт. Наиболее характерный вариант исполнения данных компоновок представлен на рисунок 4.11,б. Имея высокую универсальность, стоечная компоновка уступает ранее рассмотренным компоновкам по возможности достижения высокой точности измерения средне- и крупногабаритных деталей. Ей присущи недостатки, свойственные компоновкам с подвижной деталью.

Консольные компоновки (рисунок 4.11,в) отличаются наличием подвижной по одной или двум горизонтальным осям горизонтальной консоли. Когда консоль подвижна по одной оси относительно основания, по консоли перемещается каретка, несущая вертикально подвижную пиноль с ИГ. Если консоль перемещается в каретке. Подвижной относительно основания, то пиноль движется по вертикальной оси относительно консоли.

КИМ консольной компоновки обладают лучшими по сравнению с порталной компоновкой доступом для установки детали и обзорностью, а также лучшим соблюдением принципа Аббе. Однако этой компоновке присущи значительные деформации консоли, подшипников и узлов их базирования, снижающие точность КИМ. Машины этих компоновок очень чувствительны к изменению массы узлов, подвижных относительно консоли.

Помимо вышеперечисленных компоновок этого координатно-измерительные машины подразделяются на:

- машины с ручным управлением;
- машины с автоматическим перемещением по осям и джойстиками ручного управления,
- машины с автоматическим перемещением по осям и числовым программным управлением (CNC).

Кроме того, существуют различные комбинированные схемы, применяемые для машин, которые объединяют все вышеуказанные принципы.

Высокая точность измерения на КИМ обеспечивается:

- прецизионными направляющими, выполненными из твердых пород, например, из гранита (основание, балка портала, ползун);
- конструкцией портала, выполненного в виде жесткой замкнутой рамы;
- предметным столом, исключая деформации основания и направляющих портала, возникающих под действием массы измеряемых тяжелых деталей;
- жесткими, виброустойчивыми, прецизионными аэроэстатическими опорами с малым воздушным зазором и минимальным расходом воздуха;
- виброизолирующими опорами, автоматически поддерживающими горизонтальное положение основания КИМ;
- прецизионными фотоэлектрическими системами измерения перемещений узлов КИМ по всем координатам. Высокую производительность обеспечивают современные электроприводы на базе высокомоментных двигателей с плавным регулированием скоростей перемещения узлов КИМ в широком диапазоне; автоматическое управление процессом измерения производят при помощи персонального компьютера, обеспечивающего обработку результатов измерений и их выдачу в удобной для потребителя форме. Универсальность КИМ достигается

развитым программно-математическим обеспечением с большим набором модульных программ для измерения деталей с различными простыми и сложными поверхностями; системой измерительных головок касания с большим набором щупов различной конфигурации. Измерительные головки оснащаются наборами измерительных наконечников, обеспечивающих возможность контроля максимально большого числа геометрических параметров при одном установе детали, а также контроля диаметров отверстий, концентричности, межосевых расстояний и т.п.

Измерительные системы предназначены для отсчета перемещения подвижных узлов КИМ при измерении координат точек. Рассмотрим отображающий метод считывания, часто применяемого в измерительных датчиках линейных перемещений.

В упрощенном виде отображающий метод – это генерация сигнала на основе значений свет/тень: две шкалы со штрихами одинакового или похожего периода (шкала и шаблон) двигаются друг относительно друга. Носитель штрихов шаблона делается из прозрачного материала, носитель самой шкалы тоже может быть прозрачным или иметь металлическую рефлектирующую поверхность.

После прохождения параллельных лучей света через шаблон образуется определенная свето-теневая последовательность. Далее прошедшее излучение попадает на шкалу. При движении шаблона вдоль шкалы штрихи на шаблоне могут совпадать со штрихами на шкале, образуя в местах просветов на выходе «свет», либо штрихи накладываются на просветы и на выходе получается «тень». Ряд фотоэлементов преобразует этот световой сигнал в электрический. Штрихи на шаблоне, структурированные специальным образом, фильтруют световой поток так, чтобы он приближался к синусоидальной форме.

Чем меньше расстояние между штрихами, тем меньше и точнее должно быть расстояние между шкалой и считывающим элементом. Описанная схема представлена на рисунке 4.12.

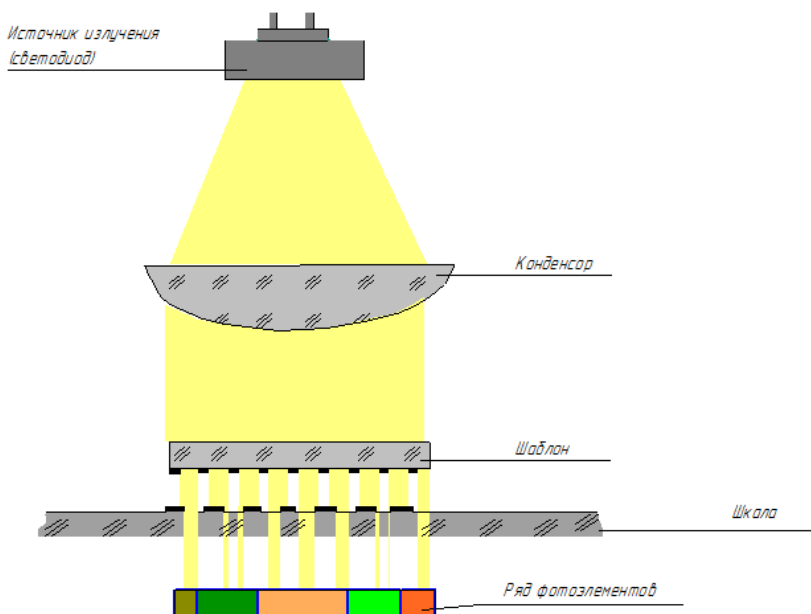


Рис. 4.12 – Отображающий метод считывания

Измерительные головки касания

ИГ являются одним из основных узлов КИМ, взаимодействующих с измеряемой деталью. Они в равной степени с ИП и узлами координатных перемещений участвуют в измерении координат точек и определяют точность, универсальность и производительность КИМ,

Тип и функциональные параметры головок определяют реализуемые на КИМ способы измерения, требования к системе управления, номенклатуру решаемых метрологических задач. На рисунке 4.13 представлена схема измерительной головки касания с основными составляющими ее узлами и системами, которые для головок различного назначения имеют разное конструктивное исполнение и осуществляют различие функции. Такими характерными для измерительной головки элементами являются: корпус 1, в котором монтируются все остальные узлы; узел 2 установки (базирования, подсветки), измерительного наконечника; простой или сложный измерительный наконечник 3, состоя-

ший из отдельных соединенных между собой стержней 4, к концам которых крепятся контактные элементы 5, в процессе измерения контактирующие с измеряемой поверхностью; предохранитель 6 от поломки в случае большого смещения наконечника (например, при аварийном столкновении с деталью); чувствительные элементы или ИП 7, реагирующие на перемещения измерительного наконечника; узел создания измерительного усилия и ориентации 8; электронная схема 9 питания и обработки сигналов. Узел установки измерительного наконечника позволяет ему перемещаться по определенному закону при соприкосновении наконечника с деталью и передает данное перемещение на чувствительный элемент.

При отклонении наконечника 3 в любом из показанных стрелками направлений опорный диск узла 2 поворачивается относительно оси, перпендикулярной оси головки, или смещается вдоль ее оси и смещает связанный с ним якорь индуктивного датчика 7. Это вызывает изменения электрического сигнала, что и используется для определения момента соприкосновения измерительного наконечника с деталью. При значительном смещении наконечника связанный с ним диск предохранителя 6 от поломки перемещается относительно втулки, соединенной с диском узла 2, имеющего значительно меньший предел перемещения, чем диск предохранителя 6.

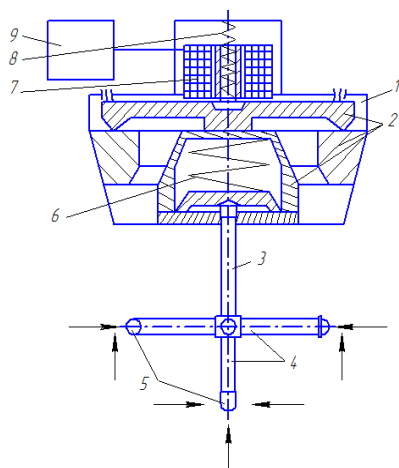


Рис. 4.13 – Схема измерительной головки

Стоит отметить, что измерительные головки, подобные применяемым на КИМ, находят широкое распространение в станках с ЧПУ для промежуточного измерения деталей, контроля настройки и изнашивания режущего инструмента на станках. Они могут быть применены в различных измерительных приборах, машинах для измерения длины и т.п.

По функциональному назначению измерительные головки подразделяются на две большие группы: измерительные головки касания (ИГК, также иногда называемые триггерными) и сканирующие измерительные головки. Для измерения деталей имеющих сложные поверхности важно измерять большое количество точек, расположенных на контролируемой поверхности. В настоящее время триггерным измерительным головкам касания предпочитают сканирующие контактные головки. Они могут измерять до 200 точек/с на скорости до 150 мм/с [25].

В измерительных головках касания измерительное усилие, возникающее при контакте наконечника с поверхностью, или небольшое перемещение наконечника вызывает измерение состояния чувствительного элемента и дискретное измерение электрического сигнала, формирующего командный сигнал на считывание координат и управление движением подвижных узлов КИМ.

Зона калибровки – часть рабочей зоны КИМ, предназначенная для калибровки измерительных наконечников измерительных головок. Ее размеры определяются размерами калибратора и измерительной головки. В качестве калибратора как правило используются прецизионные сферы, точность размеров и формы которых составляет доли микрометров.

При измерении детали с размерами, которые являются предельно большими для определенной КИМ и образуют составные измерительные головки, следует не только учитывать возможность доступа к измеряемым поверхностям, но и оптимально устанавливать головки для обеспечения минимальной потери измерительного пространства. Возможно совмещение зон аттестации и измерения: выполнив калибровку наконечника до начала измерения, калибратор удаляют. Но это возможно только в том случае, если в процессе измерения не потребуются новая калибровка положения центров измерительных наконечников в системе координат КИМ.

Более рационально измерительное пространство используется при установке измерительных головок на поворотных узлах (рисунок 4.14). Для этого могут быть использованы только работающие с различной ориентацией в пространстве измерительной головки или построенные на их основе составные головки. Поворот производится относительно одной и двух взаимно перпендикулярных осей от привода автоматически. Если поворотное устройство содержит прецизионные угловые измерительные системы, обеспечивающие поворот головки с необходимой для измерения точностью, то не требуется калибровка положения головки после каждого поворота. В противном случае необходимая после каждого поворота головки калибровка снижает производительность и точность измерений.

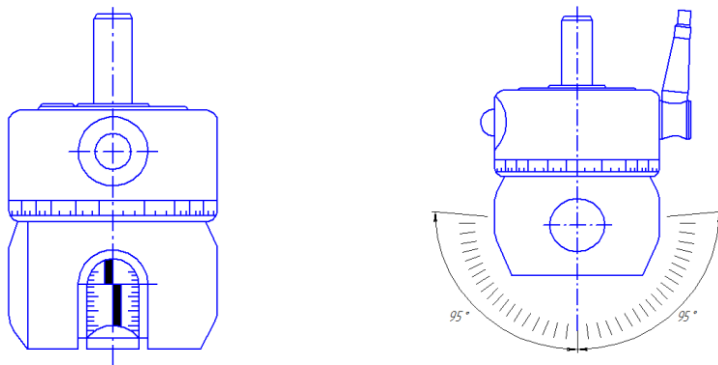


Рис. 4.14 – поворотная относительно двух осей головка КИМ

4.4.4 Конструкция оптического средства измерений СОМЕТ 6

В данном разделе будет рассмотрено устройство прибора для оптических координатных измерений СОМЕТ 6. Перечислим основные компоненты прибора.

1. Датчик СОМЕТ 6 состоит из модуля камеры, модуля проектора и крепежных модулей с крючковым гаечным ключом. Размеры крепежных модулей:

- Крепежный модуль 70 мм для полей обзора 150 и 250.
- Крепежный модуль 170 мм для полей обзора 400 и 700.
- Крепежный модуль 400 мм для поля обзора 1200.

2. Объективы: по одному объективу камеры для каждого поля обзора и использование объективов проектора для нескольких полей обзора при помощи распорных колец.

3. Блок питания Powerpack 300

4. Комплект кабелей

5. ПК СОМЕТ 6, включая программное обеспечение colin3D или СОМЕТplus, а также аппаратный ключ CodeMeter

6. Калибровочная пластина с соответствующим калибровочным шаблоном и калибровочным файлом.

Датчик СОМЕТ 6 представляет собой датчик проецированных интерференционных полос, состоящий из модуля камеры и модуля проектора. Эти два компонента привинчены к крепежному модулю, который соответствует определенному полю обзора (рисунок 4.15).



Рис. 4.15 – Датчик СОМЕТ 6

Выбрав подходящее место для установки датчика (столешницы, стол и т.д.), необходимо обеспечить надежную опору для системы и, как частное, для луча.

Для установки модуля проектора к модулю «луч», прикрепите крепежной гайкой сторону «луч» к фланцу модуля без накладной гайки. На рисунке 4.16 изображены главные модули системы.

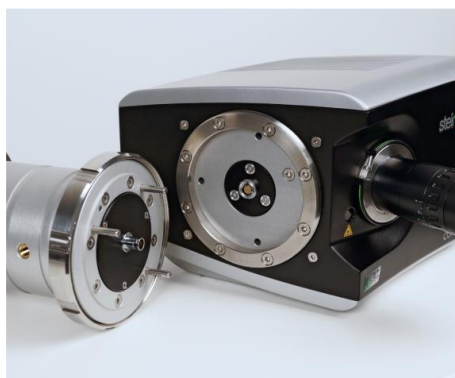


Рис. 4.16 – Проектор и «луч» (фланцевая часть)

Трехкоординатная головка крепится к руке штатива через пластиковую переходную втулку. Трехкоординатная головка вставляется в руку штатива до упора, насколько это позволяет втулка. При достижении упора, трехкоординатная головка выравнивается таким образом, что три регулировочных рычага находятся в верхнем положении. Детально трехкоординатная головка представлена на рисунке 4.17.

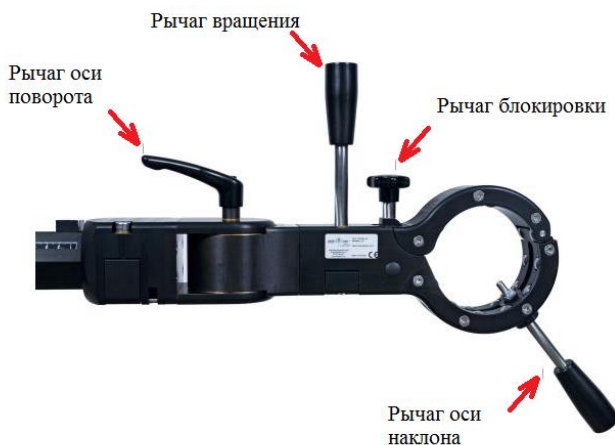


Рис. 4.17 – Трехкоординатная головка

Трёхкоординатная головка закрепляется на штативе с помощью шестигранного торцевого ключа, с моментом затяжки равным 5 Нм. Наклоня ослабленный рычаг блокировки в сторону рычага вращения, осуществляется разблокировка датчика. Держатель датчика теперь можно открыть. Стопорный рычаг возвращается в вертикальное положение с помощью возвратной пружины. Датчик СОМЕТ 6 устанавливается в трёхкоординатную головку. Модуль «луч» размещен в опоре датчика таким образом, что две линзы привинчены к модулям в направлении от рычагов трёхкоординатной головки (рисунок 4.18).



Рис. 4.18 – Установка датчика СОМЕТА 6 в трёхкоординатную головку

Стопорный рычаг захватывает верхнюю часть опоры датчика около места закрепления.

Выполнение измерений при помощи прибора СОМЕТ 6

Осуществляется выбор крепежного модуля и выбранных объективов исходя из размера поля обзора. Для каждого поля обзора существует комбинация объектива камеры и объектива проектора. При изменении поля обзора вы должны заменить объективы или использовать распорные кольца на стороне проектора. Расстояние между датчиком СОМЕТ 6 и центром поля обзора следующее:

- 600 мм для полей обзора 150 и 250;
- 785 мм для полей обзора 400 и 700;
- 1400 мм для поля обзора 1200 [26].

Во время измерения камера датчика СОМЕТ 6 должна быть расположена вертикально по отношению к поверхности объекта (рисунок 4.19). Эта ориентация обеспечивает наилучший захват камеры и позволяет измерить интерференционную картину проектора.

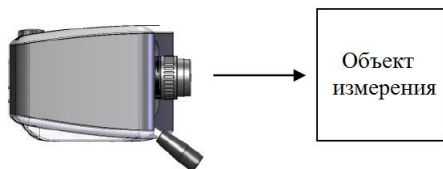


Рис. 4.19– Расположение камеры во время измерения

Лазеры камеры и проектора пересекаются в центре измеряемой области. Это гарантирует расположение объекта в центре измерительной области (рисунок 4.20).

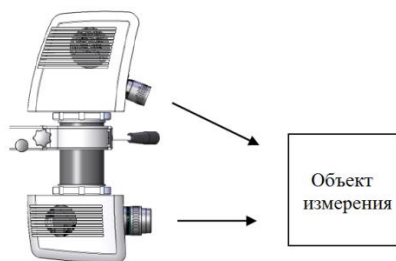


Рис. 4.20 – Лазеры камеры и проектора при измерении

Затемненные зоны не обеспечивают заданных характеристик измерений. Термин "затемнение" относится к области, на которой не может быть создана сетка или в которой камера не может захватить сетку. Для проведения измерений в этих областях, с той точностью, что вам необходима, измените положение датчика СОМЕТ 6 или объекта измерения.

На рисунке 4.21 показано неправильное расположение камеры/объекта измерения, что привело к появлению области затемнения.

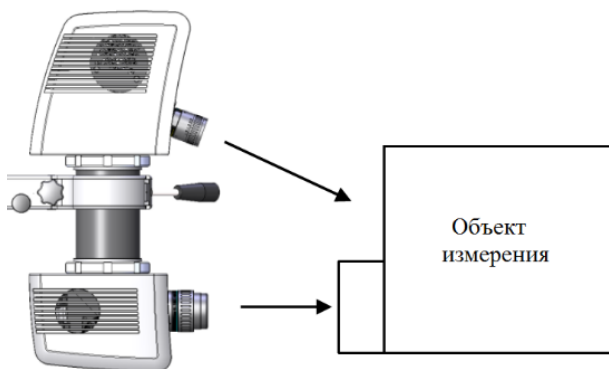


Рис. 4.21 – Образование области затемнения

Приведенное краткое описание оборудования предназначено для формирования представлений о современном оборудовании. Такие сведения будут необходимы для разработки операций измерений геометрических параметров деталей машиностроения.

4.5 Схемы измерения геометрических параметров

Рассмотрим некоторые типовые схемы измерений геометрических параметров. Приведем описание выполнения измерений геометрических параметров с использованием контрольно-измерительных приспособлений и с использованием трёх осевых координатно-измерительных машин.

При описании измерений на КИМ примем следующие кодовые обозначения:

И – измерение геометрического элемента, например, запись И(l_1 , 10) означает измерение прямой l_1 посредством 10 точек, И(ζ_1 , 2, 8) означает измерение цилиндрической поверхности ζ_1 посредством 2 сечений по 8 точек в каждом сечении.

Б – базирование (определение измерительной базы), например, запись Б(Ось X по направлению ζ_1) означает определение оси для измерения по оси цилиндрической поверхности ζ_1 .

П – построение геометрического элемента исходя из других элементов, например, запись П($l_{ср}$, средняя прямая; l_1 , l_2) означает построение средней прямой сходя из элементов l_1 и l_2 .

P – вывод размерной информации в протокол посредством инструментов программного обеспечения для выполнения измерений, например, P(//; l_1, l_2) – вывод информации о параллельности прямой l_2 относительно базовой прямой l_1 , P(координаты x и y ; Π_1 и Π_2) – вывод в протокол координат осей цилиндрических поверхностей Π_1 и Π_2 .

В приводимых ниже эскизах элемент плоскость будем изображать посредством треугольника имеющего три точки в вершинах, элемент прямая – прямой с двумя точками на концах, элемент цилиндр – цилиндрической поверхностью, имеющей два сечения с тремя точками в каждом из них.

Под измерением геометрического элемента понимается измерение определенного количества точек на поверхности детали с последующим вписыванием рассматриваемого геометрического элемента в массив измеренных точек. Например, плоская поверхность детали измеряется по нескольким точкам, не менее трех, с последующим вписыванием в измеренные точки номинальной плоской поверхности. После выполнения процедуры вписывания определяются геометрические параметры, характеризующие этот элемент и соответственно поверхность детали. Например, для плоской поверхности такими геометрическими параметрами являются вектор нормали координаты центральной точки.

В таблице 4.2, находящейся на следующей странице, приведены: обозначение измеряемого параметра на чертежах, упрощенная принципиальная схема измерения геометрического параметра с использованием контрольно-измерительного приспособления, схема измерения параметра с использованием КИМ и поясняющая последовательность выполнения вычислений геометрического параметра.

Таблица 4.2 Схемы измерения геометрических параметров

Наименование отклонений	Условное обозначение	Схемы измерения отклонений	Схемы измерения отклонений с использованием координатных средств измерений (КИМ)	Последовательность выполнения измерений/вычислений на КИМ
Непараллельность плоскостей				Первая схема И(1 ₁ , n), И(1 ₂ , n), P(//; 1 ₁ , 1 ₂). Вторая схема И(Ц ₁ , n), И(Ц ₂ , n), P(//; Ц ₁ , Ц ₂).
Непараллельность осей поверхностей вращения				И(Ц ₁ , k, m), И(Ц ₁ , k, m), P(//; Ц ₁ , Ц ₂).
Непараллельность осей вращения и плоскости				Первая схема: И(1 ₁ , n) или И(П ₁ , n), P(⊥; Ц ₁ , Ц ₂). Вторая схема: И(Ц ₁ , n), И(1 ₂ , n), П(⊥-пр, средняя прям.; 1 ₁ , 1 ₂), Б(ось X по направл. 1 _{пр}), Б(начало x и y по осн Ц ₁), P(коорд. u; 1 _{пр}).

Несоосность относительно базовой поверхности				И(Ц ₁ , к, м), И(О ₁ , п), Р(С; Ц ₁ , О ₁);
Торцевое биение				И(Ц ₁ , к, м), И(П ₁ , м), Р (Z, Ц ₁ , П ₁);
Непересечение осей				И(Ц ₁ , к, м), И(Ц ₂ , к, м), Б(Ось х по Ц ₁), Б(начало у по Ц ₁), Р(коорд. у; Ц ₁);
Смещение оси от номинального расположения				И(Ц ₁ , к, м), И(П ₂ , к, м), И(Ц ₃ , к, м), И(Ц ₄ , к, м), И(Ц ₅ , к, м), П(П ₂ по центру; Ц ₁ , Ц ₂), Б(Начало оси Х и Y по оси Ц ₁), Р(Ось Х по направлению l ₁), Р(Координаты х и у; Ц ₂ , Ц ₃ , Ц ₄ и Ц ₅);

4.6 Точность измерений

Целью точностного расчета является в определении допустимой величины погрешности измерений, являющейся исходной при выборе метода измерения, модели и типоразмера средства измерений.

Точностной расчет выполняется в следующей последовательности:

а) определение допустимой погрешности измерения контролируемого геометрического параметра;

б) определение допустимой величины погрешности средства измерения.

Процесс координатных измерений геометрических параметров по своей природе является стохастическим, на него оказывает влияние множество источников влияющих факторов. Наиболее общая классификация влияющих факторов приведена в работе [27] и может быть укрупнено перечислена:

- 1 погрешности, вносимые средством координатных измерений;
- 2 параметры методики измерения;
- 3 особенности измеряемых деталей (вид и характер погрешности формы измеряемых поверхностей, обусловленная деформациями от зажимных механизмов, качеством поверхностного слоя, доступностью измерительных наконечников для измерения);
- 4 алгоритмы обработки координат точек получаемых в процессе измерения;
- 5 влияние внешних факторов (температуры, вибрации, влажности, засоренности).

На рис. 4.22 приведена блок схема, включающая основные перечисленные факторы, взятая из [27].

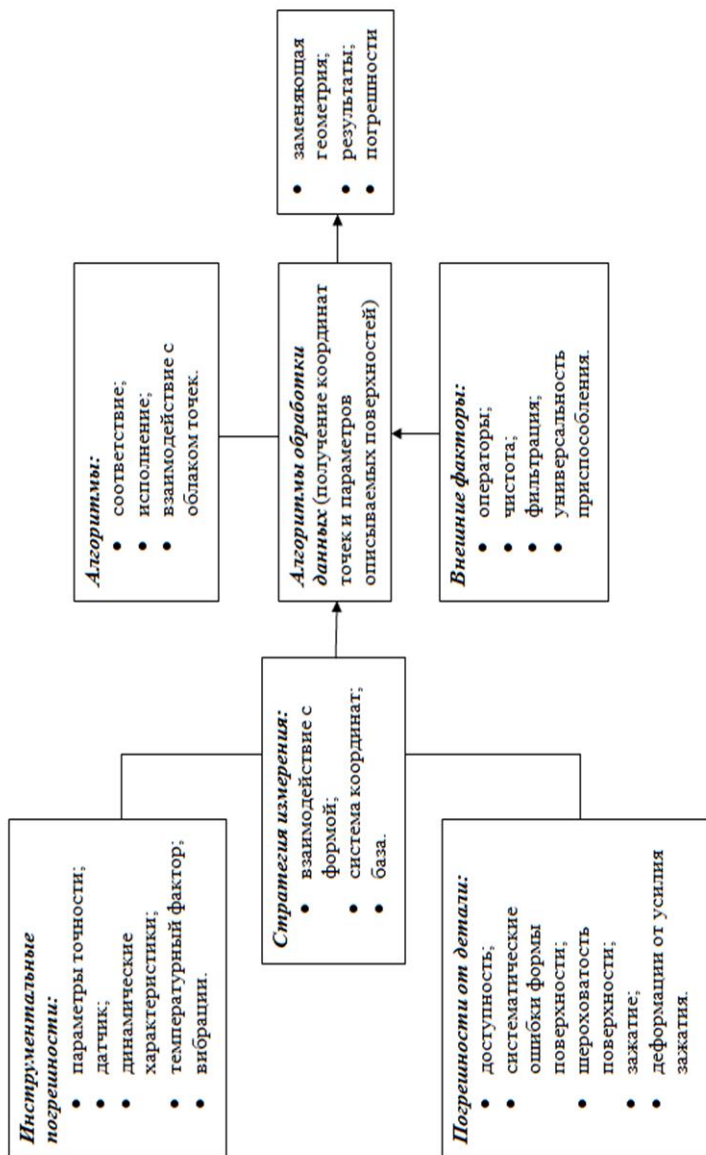


Рис. 4.22 – Факторы, влияющие на погрешность измерения геометрических параметров КИМ

Оценка погрешностей измерений осуществляется с использованием точечных и интервальных оценок. В качестве точечной оценки выступает среднеарифметическое \bar{X} , являющееся оценкой математического ожидания. Интервальная оценка определяется исходя из среднеквадратического отклонения (σ), уровня доверительной вероятности (p) и количества степеней свободы (ν_{eff}) с использованием t – распределения:

$$(\bar{X} - t_{p, \nu_{\text{eff}}} \sigma; \bar{X} + t_{p, \nu_{\text{eff}}} \sigma) \quad (4.1)$$

Получение аналитических выражений погрешностей измерений в зависимости от влияющих факторов затруднено из-за их вероятностного характера и сложных связей в процессе измерений. Для определения погрешностей измерений широко используется численное моделирование, основанное на использовании метода Монте-Карло. Целью настоящего пособия является формирование у читателя качественных представлений о действии влияющих факторов и определении уровня поддающихся регулированию факторов. Корректное моделирование с целью оценки величин погрешностей будет посвящено отдельное пособие.

При оценке точности измерений необходимо учесть, что любые координатные измерения реализуются на базе кинематических средств, имеющих направляющие для переноса измерительной головки из точки в точку. Если речь идет не о линейных, а о плоских или пространственных измерениях, то погрешности изготовления этих направляющих не могут быть скомпенсированы соблюдением первого принципа Аббе. Согласно этому принципу линия измерения (траектория движения центра наконечника) должна совпадать с осью шкалы (или другого носителя точности). При плоских и пространственных измерениях этот принцип можно соблюсти лишь для одной из координат. (Иногда, стремясь минимизировать отступление от него, средство измерения компонуют так, чтобы оси шкал пересекались в общей точке, и размещают шкалу в центре рабочего пространстве). Именно эта органическая невозможность соблюдения принципа Аббе объясняет доминирующее влияние погрешностей изготовления направляющих на точность КИМ.

Из сказанного следует, в частности, что погрешность многокоординатного измерительного прибора при нахождении координат точек, произвольным образом расположенных в его рабочем объеме, будет значительно больше погрешности, возникающей при измерении вдоль какой-либо координатной оси и часто указываемой в качестве точностной характеристики КИМ.

Следует оценить особенности координатных измерений применительно к использованию их для обеспечения взаимозаменяемости в традиционном смысле.

Функциональные качества машин тесно связаны с точностью выполнения их размеров, особенно размеров сопрягаемых поверхностей. Только выполнение размеров в строго определенных пределах допуска может обеспечить беспрепятственную сборку. Оно необходимо и для правильного функционирования машины. Основой современной взаимозаменяемости является определенная трактовка понятия «предельные размеры», которая носит название принципа Тейлора и зафиксирована в ряде международных документов, а также в отечественных стандартах, например, в [28].

В ГОСТ 25346-89 этот принцип истолковывается следующим образом: «Для отверстий диаметр наибольшего правильного воображаемого цилиндра, который может быть вписан в отверстие так, чтобы плотно контактировать с наиболее выступающими точками поверхности (размер сопрягаемой детали идеальной геометрической формы, прилегающей к отверстию без зазора), не должен быть меньше, чем проходной предел размера. Дополнительно наибольший диаметр в любом месте отверстия не должен превышать непроходного предела размера». Аналогична этому формулировка для валов.

Соблюдение этого условия может быть проверено методом непосредственного контроля с использованием двух предельных калибров, один из которых, проходной, является комплексным и представляет собой прототип сопрягаемой детали, а другой, непроходной, – элементный (например, при контроле отверстия – штихмасс). Такое сочетание калибров диктуется различием физической природы границ поля допуска. Контроль с помощью калибров является арбитражным. При использовании изготовителем других средств, например показывающих,

на нем лежит ответственность за такое их применение, которое обеспечивает соблюдение допусков, соответствующих контролю калибрами. Это в полной мере относится и к координатным измерениям.

Даже контроль с помощью калибров в тейлоровском смысле нельзя считать полостью однозначным. Однозначна лишь проверка комплексным проходным калибром, реализующим прилегающую поверхность. Проверка же элементарным непроходным калибром (для гладкого цилиндра это будет штихмасс или скоба) требует, строго говоря, бесконечного числа пробных сопряжений, чтобы убедиться, что калибр не проходит ни в одном месте. Поскольку это требование, понимаемое буквально, на практике нереализуемо, ограничиваются конечным, обычно небольшим числом пробных сопряжений, полагаясь на так называемый «постулат гладкости». Суть его заключается в предложении, что любая регулярная технология накладывает более или менее жесткие связи на взаимное расположение близких точек обрабатываемой поверхности. Поэтому проверка размера одного участка позволяет с некоторой вероятностью судить и о размерах соседних участков. Чем теснее эта корреляционная связь, тем с большим основанием можно судить о качестве всей поверхности детали по результатам контроля лишь в нескольких ее точках. Именно такой подход оправдывает многочисленные отступления от принципа Тейлора, допускаемые в реальных калибрах, а тем более при контроле показывающими средствами вместо проходного калибра.

Рассмотрим с этой точки зрения координатные измерения. Получаемые при них координаты изолированных точек не могут быть непосредственно сопоставлены с предельными образами, материализуемыми калибрами (например, цилиндром и отрезком). Так, при контроле непроходного размера цилиндра показывающими линейными средствами, например нутромером индикаторным, достаточно каждый отсчет, точнее – максимальный отсчет при покачивании в плоскости продольного сечения, сравнивать с предельным показанием. При этом настройка на диаметр достигается узлом центрирования – мостиком. При координатных измерениях необходимо с предельным непроходным размером сравнивать расстояния между парами точек, если следовать аналогии с нутромером. Однако такую пару точек при измерении следует располагать строго определенным образом относительно оси

отверстия, в то время как она (ось) еще неизвестна, подлежит определению.

Не менее сложна задача контроля по проходному размеру. Если пытаться имитировать контроль с помощью калибров, то при буквальном истолковании требований стандарта следовало бы измерить координаты большой совокупности точек поверхности, численно вписать в нее прилегающий цилиндр, определить его диаметр и сравнить с предельным. Даже с учетом постулата гладкости решение такой задачи отнимает много времени.

Ввиду вышесказанного в большинстве программных продуктов для КИМ поверхности определяются при помощи метода наименьших квадратов (МНК) по достаточному множеству точек измерения на КИМ. Например, определив в пространстве координат КИМ положение (направление оси) и диаметр среднего цилиндра, можно найти соосные ему максимальный и минимальный цилиндры, охватывающие (ограничивающие) все размерное поле данной детали, и сравнить диаметры этих цилиндров с допустимыми.

Таким образом, хотя в принципе координатные измерения позволяют более или менее точно реализовать принцип Тейлора путем имитации контроля с помощью калибров, это вряд ли целесообразно для рядовых случаев. Более рационален иной путь, когда при контроле размеров и расположения постулируют отсутствие отклонений формы, а при ее контроле – отсутствие отклонений параметров шероховатости. Такое условие для разобранного примера означает, что при контроле отверстия достаточно измерить координаты трех точек, позволяющие определить его диаметр и положение центра. Это условие, которое можно было бы назвать постулатом приоритета (старшинства), позволяет каждую типовую поверхность или ее сечение представить минимально возможным числом точек (рисунок 4.23).

Этот постулат соответствует основному положению теоретической метрологии, согласно которому измеряемый объект обладает лишь свойствами, а измеряемый параметр принадлежит модели объекта, и результат измерения представляет собой численное значение параметра модели объекта, полученное в результате физического эксперимента – измерения. В практике метрологии важнейшим является вопрос оценки корректности выбора модели.

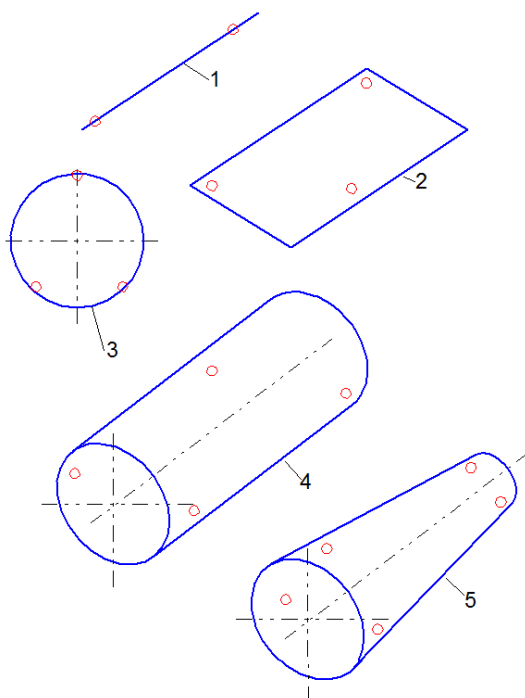


Рис. 4.23 – Минимальный набор точек, определяющий вид поверхности:
 1 – отрезок; 2 – плоскость; 3 – окружность; 4 – цилиндр; 5 – конус

Использование постулата старшинства экономит время контроля за счет некоторого увеличения случайной составляющей погрешности, что требует оценки допустимости такого подхода в каждом конкретном случае. Так, при автоматизации станков команда на окончание цикла абразивной обработки при врезной подаче все чаще подается по сигналу прибора, непрерывно изменяющего размер детали. В этом случае чем эффективнее удастся снизить случайную составляющую отклонения размера, тем большую роль в общей неточности обработки играют остающиеся неизменными отклонения формы. В таких случаях необходимо увеличение полноты контроля, что при координатных измерениях эквивалентно увеличению числа точек измерения и, благодаря этому, введению усредняющих параметров.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.7 Выполнение измерений на координатно-измерительных машинах

Последовательность выполнения работы будет рассмотрена на примере детали приведенной на рисунке 4.24.

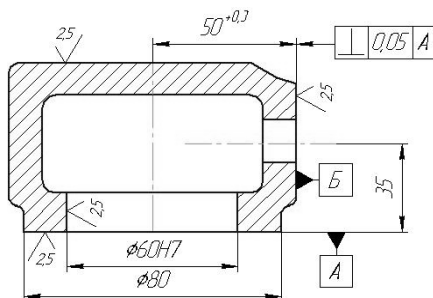
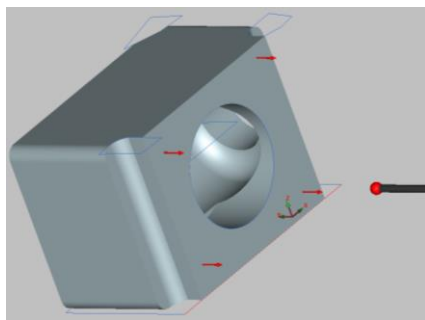


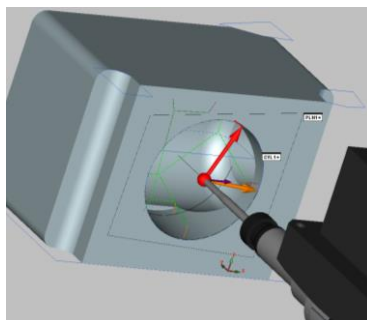
Рис. 4.24 – Эскиз детали, подлежащей контролю

Измерения будем выполнять в следующем порядке.

На первом этапе осуществляется последовательное измерение поверхностей деталей. На рисунках 4.25-4.26 приведен фрагмент создания измеряемых геометрических элементов в процессе интерактивной разработки управляющей программы для измерений.



а)

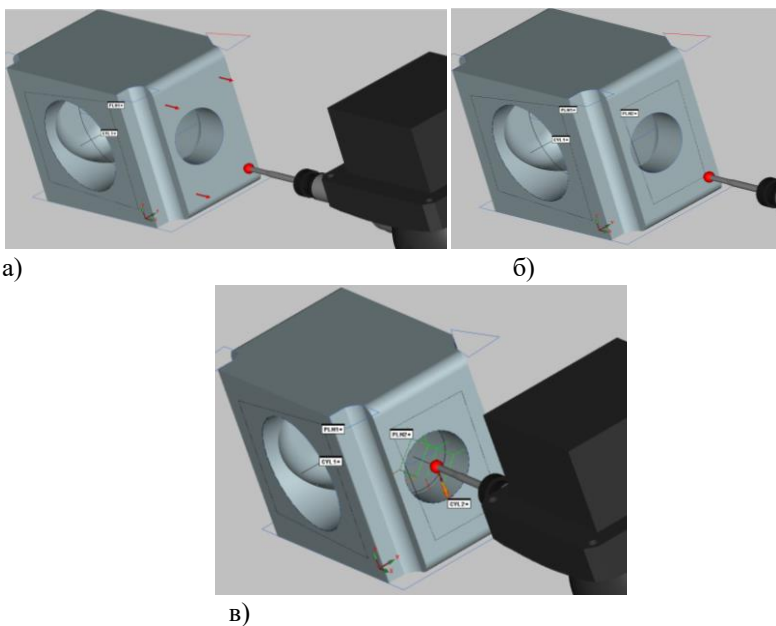


б)

Рис. 4.25 – Создание измеряемых геометрических элементов:

а) измерение точек на базовой поверхности А;

б) измерение точек цилиндрической поверхности $\phi 60H7$



- Рисунок 4.26 – Создание измеряемых геометрических элементов:
- а) измерение точек на базовой поверхности Б;
 - б) созданный в результате измерений геометрический элемент плоскость на базовой поверхности Б;
 - в) измерение точек цилиндрической поверхности

На следующем этапе выполняется указание базовых элементов частичный вывод размерной информации в протокол. На рисунке 4.27 приведено диалоговое окно задания базового элемента А.

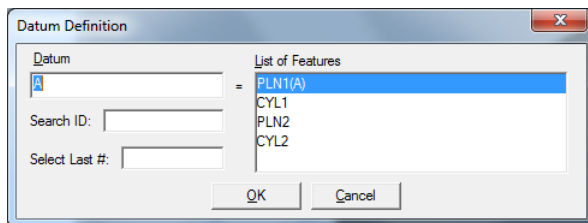


Рис. 4.27 – Задание базового элемента А

На рисунках 4.28а и 4.28б приведено создание команды вывода размерной информации в протокол.

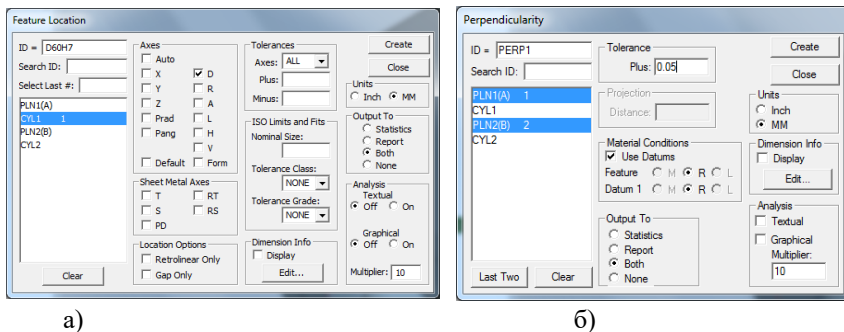


Рис. 4.28 – Создание команд вывода размерной информации в протокол: а) диаметра; б) отклонения от перпендикулярности

На следующем этапе выполняется создание локальных систем координат (рисунок 4.29).

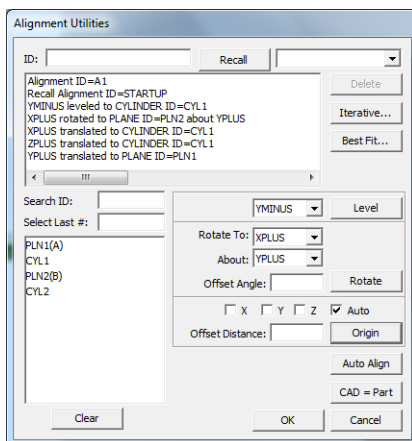


Рис. 4.29 – Диалог создания вспомогательной системы координат

На рисунке 4.30 можно увидеть результат создания новой системы координат.

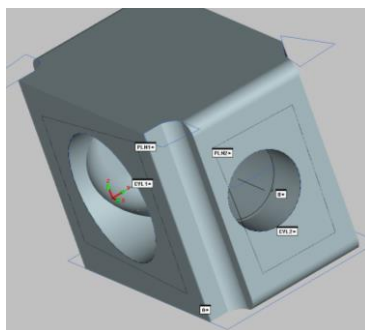


Рис. 4.30 – Результат создания вспомогательной системы координат

Окончательно осуществляется создание команд вывод размерной информации в протокол (рисунок 4.31).

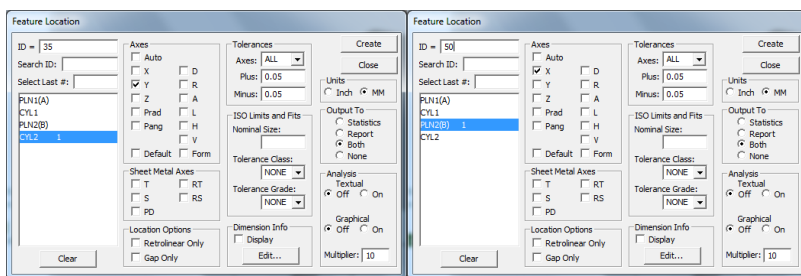


Рис. 4.31 – Создание команд вывода измеряемой информации в протокол

Укрупненно вид разработанной программы приведен на рисунке 4.32.

```

Edit Window - 01.PRG
File Header
STARTUP = Start Alignment
Manual/DCC Mode
Dimension Format
Load Probe - 40_D5
TLA90B180 = Set Active Tip
PLN1 = Measured Plane
TLA90B180 = Set Active Tip
CYL1 = CYLINDER (CONTACT)
TLA90B90 = Set Active Tip
PLN2 = Measured Plane
CYL2 = CYLINDER (CONTACT)
A = Datum Definition A : PLN1
B = Datum Definition B : PLN2
D60H7 = Dimension Location : CYL1
PERP1 = Dimension Perpendicularity : PLN1
A1 = Start Alignment
35 = Dimension Location : CYL2
50 = Dimension Location : PLN2
  
```

Рис. 4.32 – Разработанная управляющая программа

4.8 Последовательность выполнения практических заданий

4.8.1 Проведение конструкторско-метрологического анализа рабочего чертежа детали

Анализируют технические требования исходя из чертежа детали и ее служебного назначения. Оценивают обоснованность предъявляемых требований, рассматривают ситуации частичного их выполнения, выбирают способы обеспечения качества в процессе изготовления детали и методы контроля. Выявляют наиболее ответственные параметры, для которых характерны повышенные требования к шероховатости поверхности, точности размеров и формы и т.д.

При ознакомлении с чертежом сборочной единицы, изучается принцип ее работы и технические требования на сборку. Представляется информационная модель, характеризующая деталь с полнотой достаточной для технологического анализа. Деталь рассматривается как геометрический объект, ограниченный отдельными поверхностями и сочетанием их. Подготовка чертежа детали состоит из двух этапов: определения положения базовой системы координат детали и нумерации элементов детали. Элементы детали нумеруются арабскими цифрами.

Классифицируются поверхности детали по назначению. Различают следующие основные виды поверхности изделий: рабочие исполнительные (рабочие), базовые, вспомогательные и свободные. Рабочие поверхности обладают самыми высокими качественными показателями поверхностного слоя (часто термообработанного). Эти поверхности принимают непосредственное участие в работе изделия. Базовые поверхности определяют положение изделия относительно других изделий в механизме. Высокие требования предъявляются к качеству базовых поверхностей и точности их расположения с рабочими поверхностями. С помощью вспомогательных поверхностей определяется положение других изделий, присоединяемых к рассматриваемому изделию. Требования к качеству их изготовления ниже, чем к рабочим и базовым поверхностям. Свободные поверхности – все остальные поверхности, обычно не сопрягаемые с поверхностями других деталей в процессе работы, они создают конструктивную форму, обеспечивают

жесткость, не требуют высокой точности и могут оставаться в состоянии поставки исходной заготовки.

Метрологический анализ чертежа детали включает проверку: взаимной увязки допусков, установленных на размеры, отклонения формы, расположение поверхностей и шероховатость поверхности; достаточности установленных норм точности, т. е. наличия норм точности для всех элементов, определяющих выходные параметры изделия; контролепригодности норм точности.

Рассмотрим последовательность выполнения экспертизы чертежа гидропрессовой втулки (рисунок 4.33). На чертеже приведено: восемь ограниченных допусками, линейных размеров; ограниченный допуском угловой размер; два допуска формы, записанные текстом; четыре допуска на взаимное расположение поверхностей; четыре требования к шероховатости поверхности (кроме общего указания).

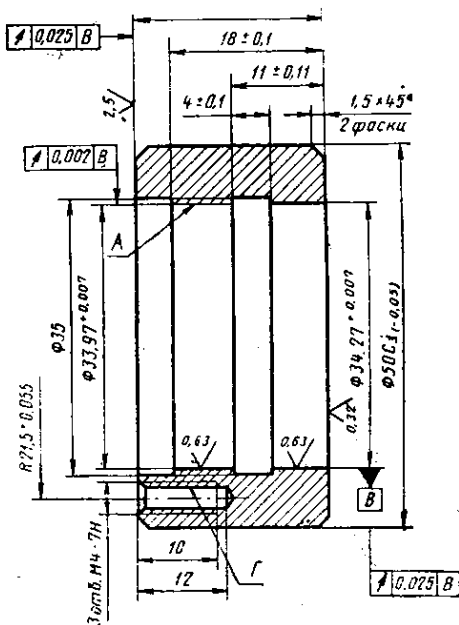


Рис. 4.33– Эскиз гидропрессовой втулки

Проверяем правильность терминологии при задании отклонений формы. Отмечаем, что допуски установлены только для частных случаев возможных отклонений – овальности и конусообразности – и при этом не учтена возможность появления других видов некруглости и отклонений профиля продольного сечения. На это обстоятельство следует обратить внимание конструктора и убедиться, чтобы в примененные термины вкладывались значения, соответствующие их определениям по стандарту. Совместно с конструктором следует рассмотреть целесообразность установления допусков на некруглость и отклонение профиля продольного сечения. При установлении допуска на некруглость следует учитывать, что величина овальности может в два раза превышать величину некруглости.

Проверяем приемлемость соотношения допусков на шероховатость поверхности и допусков размера и формы:

1) **Наружный диаметр 50Сз.** На чертеже для этой поверхности указана шероховатость $R_2 = 80$ мкм. Шероховатость должна быть $R_a = 2,5$ мкм по ГОСТ 2789–73.

2) **Левый торец.** На чертеже указана шероховатость $R_a = 2,5$ мкм. Учитывая наличие допуска на биение торца, равного 25 мкм, для определения требований к шероховатости используем, что $R_z \leq 0,4\delta B = 0,4 * 25 = 10$ мкм.

Учитывая соотношение $R_z \approx (4-5)R_a$, назначенное требование к шероховатости можно считать достаточным.

3) **Правый торец.** Проведя аналогичный расчет, убеждаемся, что требование к шероховатости $R_a = 0,32$ мкм – достаточно.

4) **Поверхности диаметром $33,97^{+0,007}$ и $34,27^{+0,007}$.** Для этих поверхностей указана шероховатость $R_a = 0,63$ мкм.

Должно быть выдержано соотношение $R_z \leq 0,6\delta\Phi = 0,6 * 7 = 4,2$ мкм.

Учитывая наличие допуска формы $R_z \leq 0,6\delta\Phi = 0,6 * 2 = 1,2$ мкм или $R_a \leq 0,24$ мкм, выбираем второе требование, как более жесткое и, считаем необходимым, в соответствии с ГОСТ 2789–73, установление $R_a = 0,2$ мкм.

При корректировке допуска на некруглость должно быть соответственно скорректировано требование к шероховатости поверхности. Таким образом, из четырех требований к шероховатости два нуждаются в корректировке и, кроме того, должно быть установлено еще одно требование к шероховатости.

Проверяется контролепригодность допусков размеров и на взаимное расположение поверхностей.

В ходе анализа формируется вывод о том, что метрологическая база В имеет малую длину и недостаточную геометрическую точность.

4.8.2 Разработка схемы выполнения измерений геометрических параметров на координатно-измерительных машинах

В данном этапе производится разработка схемы измерений геометрических параметров деталей для координатно измерительных машин. Возможно два варианта. Первый вариант включает в себя описание, приведенное в четвертом и пятом столбцах таблицы 2. При этом приводится описание схемы закрепления детали, а также используемого приспособления. Во втором варианте возможно разработка управляющей программы по примеру, представленному в разделе 6.

4.8.3 Проведение сравнительного анализа погрешностей

На данном этапе выполняется расчет допустимых погрешностей измерений. По окончании выполнения работ формируется отчет, содержащий результаты выполнения разделов. Отчет должен завершаться формированием выводов. Выводы должны содержать следующую информацию: преимущества и недостатки выполнения измерений на традиционных и современных средствах измерений, результаты сравнительного анализа точности измерений, рекомендации по внедрению рассмотренных методов в производственный процесс предприятия.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Классификация методов измерений.
2. Погрешность и точность измерений.
3. Место и роль координатно-измерительных машин в современном производственном процессе.
4. Типовые схемы координатно-измерительных машин.
5. Принцип измерения линейно-угловых геометрических параметров на КИМ.
6. Базирование деталей в координатных измерениях.
7. Последовательность написания измерительных программ на КИМ.
8. Измерительные наконечники. Виды и основные компоненты.
9. Погрешности измерения наконечников касания.
10. Основные погрешности процесса контактного измерения поверхностей сложной формы на контактных КИМ
11. Преимущества и недостатки контактных методов измерения.
12. Требования для выбора методов и средств измерения деталей со сложными поверхностями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1969.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962.
3. Гжиров Г.И., Серебницкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1990.
4. Древаль А.Е., Скороходов Е.А., Агеев А.В. Краткий справочник металлста / под ред. А.Е. Древаля, Е.А. Скороходова.– 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2005.
5. Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приспособлении: Справочник: В 2 т. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство стандартов, 1989.
6. Иващенко И.А. Проектирование технологических процессов производства ДЛА.М.: Машиностроение, 1981.
7. Корсаков В. С. Основы технологии машиностроения. – М., Высшая школа, 1974.
8. Малов А.Н. Справочник технолога-машиностроителя. М.: Машиностроение, 1972.
9. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин [и др.]; под общ. ред. В.Г. Сорокина. –М.: Машиностроение, 1989.
10. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник для машиностроительных вузов по специальности – «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» – СПб.: Машиностроение, 1985.
11. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: 0-28 Справочник. В 2 т. / А.Д. Локтев, И.Ф. Гуцин, Б.И. Балашев [и др.] – М.: Машиностроение, 1991.
12. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филипов, А.Н. Шевченко [и др.]; под общ. ред. И.А. Ординарцева. – СПб.: Машиностроение. СПб. Отд-ние, 1987.
13. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985.

14. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1/под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985..
15. Технология машиностроения : учебник для вузов. В 2 т. Т. 1. Основы технологии машиностроения / В.М. Бурцев, А.С. Васильев, А.М. Дальский [и др.]; ред. Дальского А.М. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999.
16. Технология технического контроля в машиностроении: Справочное пособие / под общ. ред. В.Н. Чупырина. – М.: Издательство стандартов, 1990.
17. Фираго В. П. Основы проектирования технологических процессов и приспособлений. Методы обработки поверхностей. – М.: Машиностроение, 1973.
18. Координатные измерительные машины и их применение: учебник / А.А. Гапшис, А.Ю. Каспарайтис, М.Б. Модестов [и др.] – М.: Машиностроение, 1988.
19. Осипович Д.А., Ярушин С.Г. Выбор метода оцифровки для контроля геометрии крупногабаритных сложнопрофильных деталей и узлов авиационных двигателей // Молодой ученый. – 2014. – №1 (60). – С. 103-109.
20. ISO 10360-2:2009 Geometrical product specifications (GPS) – Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) – Part 2: CMMs used for measuring linear dimensions. Геометрические спецификации изделий (GPS). Приемочные и повторные проверочные испытания координатно-измерительных машин (СММ). Часть 2: СММ, используемые для линейных измерений [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 2010.
21. Schwenke, H. Optical Methods for Dimensional Metrology in Production Engineering Keynote paper [Text]/ H. Schwenke, U. Neuschaefer-Rube, T. Pfeifer, H. Kunzmann // Annals of the CIRP. – 2002. – V. 51, no.2. –P.685-699.
22. Denkena, B. Three-dimensional optical Measurement with locally Adapted Projection [Text] / B. Denkena, W. Acker//Advanced Material Research. – 2007. -V. 22. – P.83-90.
23. Knauer, M. C., Kaminski, J., Häusler, G. Phase Measuring Deflectometry: a new approach to measure specular free-form surfaces [Text] / M.

- C. Knauer, J. Kaminski, G. Häusler // Proc. SPIE. – 2004. – V. 5457. – P.366-376.
24. Weckenmann, A. Probing Systems in Dimensional Metrology, Keynote paper [Text]/ A. Weckenmann, T. Estler, G. Peggs, D. McMurtry // Annals of the CIRP. – 2004. – V. 53, no. 2. –P.657-684.
25. Руководство по фотограмметрии COMETplus 9.6 / Компания «Steinbichler Optotechnik GmbH».
26. Wilhelml R.G. Task Specific Uncertainty in Coordinate Measurement [Text] / R.G. Wilhelml, R. Hocken, H. Schwenke. – Elseiver, 2003. – P. 4-5.
27. Ратмиров, В.А. Управление станками гибких производственных систем. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
28. ГОСТ 25346-89. Единая система допусков и посадок. Общие положения. Ряды допусков и основных отклонений – Введ. 1990-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1990.

Учебное издание

**Болотов Михаил Александрович
Вдовин Роман Александрович
Хаймович Александр Исаакович**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ГТД

Учебное пособие

Редактор Н.С. Куприянова
Компьютерная вёрстка И.И. Спиридоновой

Подписано в печать 10.11.2018. Формат 60 × 84 1/16.
Бумага офсетная. Печ. л. 13,5.
Тираж 100 экз. (1 з-д 1-25). Заказ . Арт. – 14(Р4У)/2018.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

Изд-во Самарского университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

