

Министерство образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Технология машиностроения

Часть 1

Учебное пособие

Под ред. д-ра техн. наук, проф. *С.Л.Мурашкина*

Санкт-Петербург
Издательство СПбГТУ
1999

Технология машиностроения. Часть I: Учеб. пособие/ Э.Л. Жужов, И.И. Козарь, Б.Я. Розовский, В.В. Дегтярев, А.М. Соловейчик; Под ред. С.Л. Мурашкина. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. 190 с.

Пособие соответствует государственному образовательному стандарту дисциплины ДН.14. "Технология машиностроения" направления 552900 "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств" в бакалаврской подготовке.

Рассмотрены система разработки и постановки продукции на производство, вопросы точности и надежности механической обработки, виды погрешностей и модели их образования.

Предназначено для студентов IV курсов ММФ, ЭНМФ, ЭлМФ, ФЭМ и ВФТЭМ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Санкт-Петербургского государственного технического университета.



ВВЕДЕНИЕ

Технология машиностроения – наука, занимающаяся изучением закономерностей процессов изготовления машин, с целью использования этих закономерностей для обеспечения выпуска машин заданного качества, в установленном производственной программой количестве и при наименьших народнохозяйственных затратах.

Технология машиностроения развивалась с развитием крупной промышленности, накапливая соответствующие методы и приёмы для изготовления машин. В прошлом технология машиностроения получила наибольшее развитие в оружейных мастерских и заводах, где изготовлялось оружие в больших количествах.

Так на Тульском оружейном заводе ещё в 1761 году впервые в мире было разработано и внедрено изготовление взаимозаменяемых деталей и их контроль при помощи калибров.

Технология машиностроения как техническая дисциплина ещё очень молода. Она зародилась в 30-х годах нашего века в эпоху первых пятилеток развития народного хозяйства СССР, будучи вызвана к жизни насущными потребностями создания новых и быстрее развития действующих отраслей машиностроения.

Технология машиностроения создавалась трудами русских учёных: Соколовского А.П., Балакшина Б.С., Кована В.М., Корсакова В.С. и других.

К «технологии машиностроения» относятся следующие области производства: технология литья; технология обработки давлением; технология сварки; технология механической обработки; технология сборки машин. То есть технология машиностроения охватывает все этапы процесса изготовления машиностроительной продукции.

Однако под технологией машиностроения обычно понимают научную дисциплину, изучающую преимущественно процессы механической об-

работки заготовок и сборки машин и попутно затрагивающую вопросы выбора заготовок и методы их изготовления. Это объясняется тем, что в машиностроении заданные формы деталей с требуемой точностью и качеством их поверхностей достигаются в основном механической обработкой.

Сложность процесса механической обработки и физической природы, происходящих при этом явлений, вызвана трудностью изучения всего комплекса вопросов в пределах одной технологической дисциплины и обусловила образование нескольких таких дисциплин: Резание металлов, Режущие инструменты, Металлорежущие станки, Конструирование приспособлений, Проектирование машинных цехов и заводов, Взаимозаменяемость стандартизация и технические измерения, Технология конструкционных материалов, Автоматизация и механизация технологических процессов и другие.

1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА (ТПП)

1.1. Общие положения

Техническая подготовка производства включает в себя три комплексных этапа: конструкторскую и технологическую подготовки, а также календарное планирование производственного процесса изготовления изделий в установленные сроки, в соответствующих объёмах и затратах.

Конструкторская подготовка завершается разработкой конструкции изделия и созданием чертежей с соответствующими спецификациями и другими конструкторскими документами в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Весь комплекс работ по технологической подготовке производства регламентируется Государственным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р 50995.3.1-96 "Технологическое обеспечение создания продукции. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА".

Настоящий стандарт действует совместно с ГОСТ Р 50995.0.1—96 и включает положения следующих стандартов:

ГОСТ 2.103—68 ЕСКД. Стадии разработки;

ГОСТ 3.1102—81 ЕСТД. Стадии разработки и виды документов;

ГОСТ Р 15.000—94 СРПП. Основные положения;

ГОСТ Р ИСО 9001—96 Системы качества. Модель обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании;

ГОСТ Р ИСО 9002—96 Системы качества. Модель обеспечения качества при производстве, монтаже и обслуживании;

ГОСТ Р ИСО 9003—96 Системы качества. Модель обеспечения качества при контроле и испытаниях готовой продукции;

Р—50—54—94—88 Правила организации и управления процессом технологической подготовки производства;

В настоящем стандарте применяют следующие термины:

Технологическая подготовка производства — вид производственной деятельности предприятия (группы предприятий), обеспечивающей технологическую готовность производства к изготовлению изделий, отвечающих требованиям заказчика или рынка данного класса изделий.

Технологическое решение — проектное решение, в котором определены значения параметров технологических процессов изготовления данного объекта в заданных условиях и с заданными характеристиками.

Организационное решение — проектное решение, в котором определена форма (порядок) соединения элементов производства для обеспечения изготовления заданного объекта в заданных условиях и с заданными характеристиками.

Настоящий стандарт устанавливает основные положения и порядок технологической подготовки производства продукции машиностроения и приборостроения (далее — изделий), проводимой при технологическом обеспечении создания продукции (далее — при технологическом обеспечении) во взаимодействии предприятий-разработчиков конструкторских документов на продукцию (далее — разработчиков), предприятий-изготовителей (далее — изготовителей) опытных образцов продукции (далее — опытных образцов), продукции повторяющегося или разового единичного производства (далее — единичных изделий), продукции серийного (массового) производства (далее — серийных изделий), а также специализированных технологических организаций и заказчиков (потребителей) готовой продукции (далее — заказчиков).

Целью ТПП является оптимальное по срокам и ресурсам обеспечение технологической готовности производства к изготовлению изделий в соответствии с требованиями заказчика или рынка данного класса изделий.

ТПП при технологическом обеспечении взаимосвязана со стадиями жизненного цикла продукции по ГОСТ Р 15.000, предусматривает проведение работ при проектировании изделий, изготовлении опытных образцов и единичных изделий, постановке на производство серийных изделий и направлена на:

- рациональное по срокам и ресурсам совмещение стадий разработки изделий и подготовки их производства;
- формирование определяющих (принципиальных) технологических и организационных решений по производству изделий в процессе их проектирования;
- выявление и решение принципиальных проблем технологии, применения материалов и организации производства до начала изготовления изделий для приемочных испытаний;
- своевременное обеспечение производства качественными технологическими процессами, материалами, комплектующими изделиями, средствами технологического оснащения на основе использования при их создании или приобретении, информационных массивов описаний конструкторско-технологических решений;
- своевременное обеспечение исходной технологической информацией материально-технических и организационно-экономических процессов подготовки производства, в том числе реконструкции, расширения или нового строительства;
- создание условий для организационной, информационной и технической совместимости работ ТПП, проводимых на стадиях разработки и постановки изделий на производство различными исполнителями.

Организационную, информационную и техническую совместимость работ ТПП обеспечивают на основе применения:

- рациональных параметрических и типоразмерных рядов объектов производства (изделий);

- типовых конструкторско-технологических, технологических и организационных решений, в том числе типовых (групповых) технологических процессов и унифицированных средств технологического оснащения;

- требований действующей нормативно-технической документации Системы разработки и постановки продукции на производство (СРПП), Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), Единой системы технологической документации (ЕСТД), Систем качества;

- прогрессивных информационных технологий на основе единых баз данных конструкторско-технологического назначения;

- постоянной обновляемости и достоверности информации, а также быстроты и простоты доступа к ней с учетом обеспечения санкционированного доступа к информации (конструкторской, технологической, производственной), изделиям, материалам и оборудованию, представляющим промышленную или коммерческую тайну; - методов информационного и математического моделирования процессов ТПП;

- методов сетевого планирования и управления ТПП;

- преемственности и документирования организационных решений по ТПП на этапах разработки и постановки изделий на производство;

- интенсивной компьютерной поддержки процессов ТПП.

Требования к качеству ТПП определяют исходя из общей политики и задач заказчика, разработчика и изготовителя в области обеспечения качества изделий при их разработке и производстве с учетом требований ГОСТ Р ИСО 9001 — ГОСТ Р ИСО 9003.

Исполнители ТПП осуществляют взаимоотношения на экономико-правовой основе, предусмотренной действующим законодательством.

Организация и управление процессами ТПП на уровне предприятий производятся по рекомендациям Р 50—297 и Р 50—54—94.

1.1.1. Порядок проведения технологической подготовки производства

Типовая схема организации ТПП при технологическом обеспечении приведена на рис.1.1, а содержание работ — в табл.1.1.

Технологическая подготовка производства производится:

- при проектировании изделия;
- при производстве опытных образцов и единичных изделий;
- при производстве серийных изделий.

Технологическая подготовка производства при проектировании изделия.

Задачей ТПП при проектировании изделия является формирование определяющих технологических и организационных решений по его производству.

Формирование определяющих технологических и организационных решений по производству изделия — составная часть работ, проводимых разработчиком по выбору конструкторско-технологических решений по изделию и обеспечению его технологичности в процессе выполнения технического предложения (аванпроекта), эскизного и технического проектов.

Организатором и ответственным исполнителем работ по формированию определяющих технологических и организационных решений по производству изделия является разработчик, соисполнителями — изготовители опытных образцов, единичных или серийных изделий, а при научно-технической или экономической целесообразности, — специализированные технологические организации, в том числе межведомственные, ведомственные, академические и университетские.

Необходимость проведения, объем и содержание ТПП при проектировании изделий разработчик устанавливает самостоятельно или по согласованию с заказчиком и изготовителем.

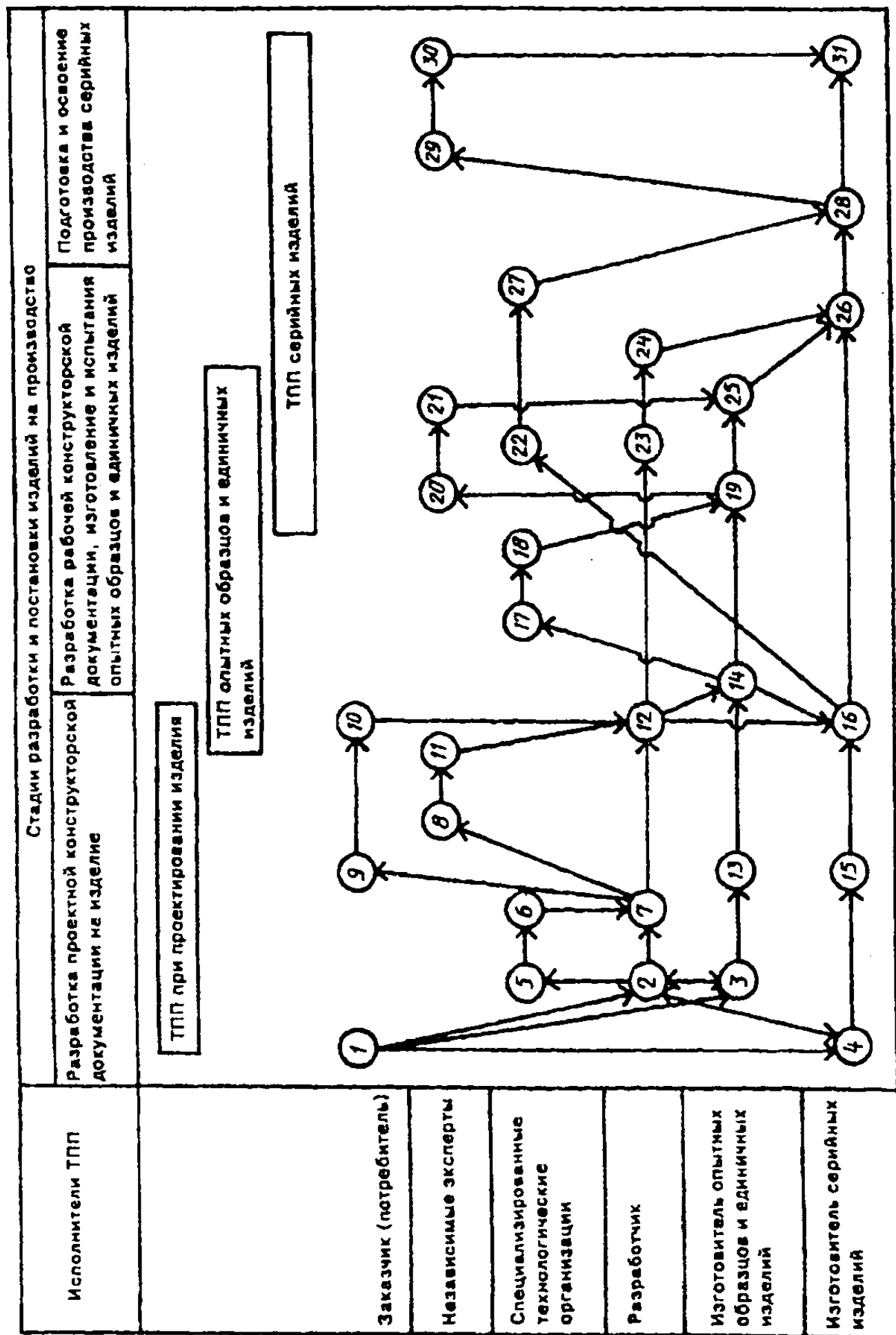


Рис.1.1.1. Типовая схема организации ТПП при технологическом обеспечении

**Содержание работ типовой схемы организации ТПП
при технологическом обеспечении**

Исполнители	Содержание работ
Заказчик (потребитель)	<p>1 —→2 Выбор разработчика изделия</p> <p>1 —→3 Выбор (участие в выборе) изготовителя единичных изделий</p> <p>1 —→4 Выбор (участие в выборе) изготовителя серийных изделий</p> <p>9 —→10 Оценка определяющих технологических и организационных решений по производству изделия</p> <p>10 —→12 Передача разработчику результатов оценки</p>
Независимые эксперты	<p>8 —→11 Оценка определяющих технологических и организационных решений по производству изделия</p> <p>11 —→12 Передача разработчику результатов оценки</p> <p>20 —→21 Оценка технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний</p> <p>21 —→25 Передача изготовителю опытных образцов и единичных изделий результатов оценки</p> <p>29 —→30 Оценка технологической готовности производства к изготовлению серийных изделий</p> <p>30 —→31 Передача изготовителю серийных изделий результатов оценки</p>

<p>Специализированные технологические организации</p>	<p>5 —→6 Участие в выполнении работ по ТПП при проектировании изделия</p> <p>6 —→7 Передача разработчику результатов работ по ТПП</p> <p>17 —→18 Участие в выполнении работ по ТПП опытных образцов и единичных изделий</p> <p>18 —→19 Передача изготовителю опытных образцов единичных изделий результатов работ по ТПП</p> <p>22 —→27 Участие в выполнении работ по ТПП серийных изделий</p> <p>27 —→28 Передача изготовителю серийных изделий результатов работ по ТПП</p>
<p>Разработчик</p>	<p>2 —→3 Выбор изготовителя опытных образцов и единичных изделий</p> <p>2 —→4 Выбор (участие в выборе) изготовителя серийных изделий</p> <p>2 —→5 Привлечение специализированных технологических организаций к выполнению работ по ТПП при проектировании изделия</p> <p>2 —→7 Организация и выполнение работ по ТПП при проектировании изделия</p> <p>7 —→8 Организация независимой оценки определяющих технологических и организационных решений по производству изделия</p> <p>7 —→12 Участие в оценке определяющих технологических и организационных решений по произ-</p>

	<p>водству изделия</p> <p>12 —→14 Передача изготовителю опытных образцов и единичных изделий конструкторской и технологической документации, необходимой для выполнения ТПП</p> <p>12 —→16 Передача изготовителю серийных изделий конструкторской и технологической документации, необходимой для начала выполнения наиболее сложных и трудоемких работ по ТПП</p> <p>12 —→23 Участие в выполнении работ по ТПП опытных образцов и единичных изделий</p> <p>23 —→24 Участие в оценке технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний</p> <p>24 —→26 Передача изготовителю серийных изделий необходимой для ТПП конструкторской и технологической документации, отработанной по результатам изготовления и приемочных испытаний опытных образцов</p>
Изготовитель опытных образцов и единичных изделий	<p>3 —→2 Выбор разработчика, если он не входит в одно объединение с изготовителем или не определен в заказе на создание изделия</p> <p>3 —→13 Участие в выполнении работ по ТПП при проектировании изделия</p> <p>13 —→14 Участие в оценке определяющих технологических и организационных решений по производству изделия</p>

	<p>14 —→16 Передача изготовителю серийных изделий технологической документации, необходимой для начала выполнения наиболее сложных и трудоемких работ по ТПП</p> <p>14 —→17 Привлечение специализированных технологических организаций к выполнению работ по ТПП опытных образцов и единичных изделий</p> <p>14 —→19 Организация и выполнение работ по ТПП опытных образцов и единичных изделий</p> <p>19 —→20 Организация независимой оценки технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний</p> <p>19 —→25 Оценка технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний</p> <p>25 —→26 Передача изготовителю серийных изделий необходимой для ТПП технологической документации, отработанной по результатам изготовления и приемочных испытаний опытных образцов</p>
Изготовитель серийных изделий	<p>4 —→2 Выбор разработчика, если он не входит в одно объединение с изготовителем или не определен в заказе на создание изделия</p> <p>4 —→15 Участие в выполнении работ по ТПП при проектировании изделия</p> <p>15 —→16 Участие в оценке определяющих технологических и организационных решений по производству</p>

	изделия
	16 —→22 Привлечение специализированных технологических организаций к выполнению работ по ТПП серийных изделий
	16 —→26 Организация и начало выполнения наиболее сложных и трудоемких работ по ТПП серийных изделий
	26 —→28 Выполнение и завершение работ по ТПП серийных изделий
	28 —→31 Оценка технологической готовности производства к изготовлению серийных изделий

Разработчик совместно с соисполнителями разрабатывает планы (графики) технологических работ, относящихся к его компетенции, на этапах проектирования изделия в виде самостоятельных документов или в составе планов (графиков) разработки технического предложения (аванпроекта), эскизного и технического проектов.

Разработчик в соответствии с планом представляет проектную конструкторскую документацию (комплектно на изделие в целом или по мере готовности на сложные элементы изделия) для совместной проработки ее специалистами — технологами разработчика, изготовителя и, при необходимости, специализированных технологических организаций. В общем случае технологическая проработка с учетом уточнения (корректировки) ее результатов на последующих этапах проектирования предусматривает:

- оценку сформированных при проектировании конструкторско-технологических решений с точки зрения их технологичности, реализуемости в производстве и конкурентоспособности;
- выявление определяющих проблем, связанных:

а) с разработкой принципиально новых или ранее не освоенных у изготовителей технологических и организационных решений, в том числе связанных с конверсией;

б) с разработкой наиболее ответственных технологических и организационных решений по изготовлению функционально ответственных технически сложных или уникальных элементов изделия (составных частей, систем, сборочных единиц, деталей);

в) с разработкой процессов вторичного использования, утилизации или уничтожения изделия и отходов его производства;

г) с обеспечением требований ресурсосбережения, экологии и охраны труда:

- выявление определяющих материалов (сырья, заготовок, полуфабрикатов) и средств технологического оснащения, в том числе ранее не применявшихся у изготовителей, дефицитных или требующих организации их разработки и производства;

- выявление определяющих проблем кооперации и специализации производства материалов, деталей, сборочных единиц, комплектующих изделий, средств технологического оснащения;

- укрупнение оценку контролепригодности изделия и процессов его изготовления, параметров и методов диагностирования;

- укрупненную оценку материалоемкости, трудоемкости, себестоимости разрабатываемого изделия;

- - выявление требований к организационно-техническому уровню производства у изготовителей;

- формирование планов (программ) научно-исследовательских и опытно-технологических работ по решению проблем в области технологии, материаловедения и организации производства.

Разработчик совместно с соисполнителями на основе результатов технологической проработки проектной конструкторской документации и выполнения научно-исследовательских и опытно-технологических работ формирует и уточняет на последующих этапах проектирования определяющие технологические и организационные решения по производству, которые в общем случае содержат:

- характеристику конструкторско-технологических решений по изделию с учетом их технологичности, реализуемости в производстве
- и конкурентоспособности;
- предложения по использованию конкурентоспособных перспективных разработок, изобретений и патентов в области технологии, материалов и организации производства;
- перечень определяющих технологических процессов, подлежащих разработке и освоению в производстве, основные требования к ним, принципиальные решения по их разработке;
- перечни определяющих материалов и средств технологического оснащения, основные требования к ним, предложения по их приобретению, разработке и производству;
- предложения по формированию планов (программ) отработки технологических процессов и средств технологического оснащения в рамках планов (программ) обеспечения качества и надежности изделия с учетом требований серийного производства;
- предложения по обеспечению стабильности технологических процессов и других элементов производства, непосредственно влияющих на качество изделия. Особое внимание уделяют элементам, контроль и измерение которых затруднены по техническим, экономическим и другим причинам;
- предложения по сертификации систем качества и производства;
- принципиальные решения по:

- а) вторичному использованию, утилизации или уничтожению изделия и отходов его производства;
- б) проблемам обеспечения требований ресурсосбережения, экологии и охраны труда;
- в) кооперации и специализации производства;
- г) повышению организационно-технического уровня производства у изготовителей, включая технологическое перевооружение, реконструкцию и расширение производства;
- д) организации ТПП.

Разработчик оформляет определяющие технологические и организационные решения по производству изделия в виде самостоятельных документов (книг, томов) или разделов пояснительных записок документации технического предложения (аванпроекта), эскизного или технического проектов.

По требованию заказчика или соглашению с изготовителем в целях обеспечения качества изделия и эффективности его производства в условиях применения значительного числа новых технологических и организационных решений разработчик оформляет указанные решения в директивной форме (например, в виде директивных технологических процессов, директивной трудоемкости и др.).

Критерий завершенности ТПП при проектировании изделия — наличие в составе технического (эскизного) проекта документации, содержащей определяющие технологические и организационные решения по производству изделия, подтвержденные, при необходимости, оценкой заказчика или независимых экспертов из специализированных технологических организаций, если они не участвуют в ТПП.

Особое внимание при оценке уделяют способности принятых решений:

- обеспечить изготовление изделий в соответствии с требованиями заказчика или рынка данного класса изделий;

- контролироваться и, при необходимости, приводиться в требуемое состояние, т.е. находиться в управляемых условиях.

Порядок оценки эксперт, заказчик и разработчик устанавливают по взаимному соглашению.

Технологическая подготовка производства опытных образцов и единичных изделий.

Задачами ТПП опытных образцов и единичных изделий являются:

- отработка в производственных условиях определяющих технологических и организационных решений по изготовлению изделия;
- обеспечение технологической готовности производства к изготовлению для приемочных испытаний опытных образцов, единичных и других изделий, подлежащих промышленному освоению.

Организатором и ответственным исполнителем ТПП опытных образцов и единичных изделий является их изготовитель, соисполнителями - разработчик и, при научно-технической и экономической целесообразности, - специализированные технологические организации.

Для проведения ТПП опытных образцов и единичных изделий разработчик передает изготовителю:

- рабочую конструкторскую документацию на опытный образец (без литеры или с литерой «О» по ГОСТ 2.103) или на единичное изделие разового изготовления (с литерой «И» по ГОСТ 2.103) по мере ее готовности или комплектно на изделие в целом. Для сокращения сроков ТПП изготовитель по согласованию с разработчиком может начинать ТПП по конструкторской документации технологического (эскизного) проекта;
- документацию (в том числе директивную), содержащую определяющие технологические и организационные решения по производству изделия.

Изготовитель совместно с соисполнителями на основе полученной от разработчика документации с учетом принципиальных решений по организации ТПП, принятых при проектировании изделия, разрабатывает план (график) ТПП опытных образцов и единичных изделий в виде самостоятельного документа или в составе плана (графика) изготовления указанных изделий.

ТПП опытных образцов и единичных изделий предусматривает выполнение следующих основных работ:

- проработку рабочей конструкторской документации на опытные образцы и единичные изделия с учетом технологичности заложенных в нее решений;

- завершение научно-исследовательских и опытно-технологических работ в области технологии, материаловедения и организации производства;

- разработку с использованием информационных массивов описаний конструкторско-технологических решений:

- а) технологических процессов изготовления опытных образцов и единичных изделий в соответствии с государственными стандартами ЕСТД;

- б) специальных средств технологического оснащения в соответствии с государственными стандартами ЕСКД и технологических процессов их изготовления в соответствии с государственными стандартами ЕСТД. Приоритетным для условий опытного производства является использование высокоточного универсального или переналаживаемого оборудования, упрощенной и переналаживаемой оснастки.

- в) управляющих программ для автоматизированного технологического оборудования:

- организацию изготовления специальных средств технологического оснащения для опытных образцов и единичных изделий;

- формирование планов (программ) отработки принципиально новых, ранее не освоенных и наиболее ответственных технологических процессов и

средств технологического оснащения в рамках планов (программ) обеспечения качества и надежности изделия с учетом требований серийного производства;

- отработку технологических процессов и средств технологического оснащения в соответствии с планами (программами) отработки;
- уточнение (корректировку) документации, содержащей определяющие технологические и организационные решения по производству изделия, а также рабочей документации на технологические процессы и средства технологического оснащения, — по результатам изготовления и испытаний опытных образцов и единичных изделий;
- обеспечение требований ресурсосбережения, экологии и охраны труда при изготовлении и испытаниях опытных образцов и единичных изделий.

С целью обеспечения технологической готовности производства к изготовлению качественных изделий для приемочных испытаний изготовитель выполняет в рамках ТПП мероприятия по организации:

- своевременного обеспечения производства по договорам и кооперационным связям необходимыми материалами, деталями, сборочными единицами, комплектующими изделиями, средствами технологического оснащения, а также входного контроля их качества;
- метрологического обеспечения производства;
- технического контроля и бездефектного изготовления;
- аттестации технологических процессов, рабочих мест исполнителей и технологического оборудования до его первичного применения;
- подготовку производственного персонала в связи с освоением новых технологий и материалов.

Критерий завершенности ТПП опытных образцов и единичных изделий - фактическое выполнение работ, предусмотренных планом, подтвержденное оценкой технологической готовности производства к изготовлению изделий для приемочных испытаний, которую выполняет изготовитель с привлечением,

при необходимости, независимых экспертов из специализированных технологических организаций, если они не участвуют в ТПП.

Особое внимание при оценке технологической готовности уделяют проверке:

- способности технологических процессов и других элементов производства обеспечить изготовление изделий в соответствии с требованиями документации и в заданные сроки;
- управляемости технологических процессов и других элементов производства, т.е. возможности их контроля и приведения, при необходимости, в требуемое состояние.

Порядок оценки эксперт и изготовитель устанавливают по взаимному согласию.

Технологическая подготовка производства серийных изделий

Задачей ТПП серийных изделий является обеспечение технологической готовности производства к изготовлению указанных изделий, а также изделий, ранее освоенных другими изготовителями или изготавливаемых по технической документации иностранных фирм.

Организатором и ответственным исполнителем ТПП серийных изделий является их изготовитель, соисполнителями, при научно-технической или экономической целесообразности, — специализированные технологические организации.

Для проведения ТПП серийных изделий разработчик передает изготовителю:

- комплект рабочей конструкторской документации на изделие (с литерой «01» или выше по ГОСТ 2.103);
- документацию (в том числе директивную), содержащую определяющие технологические и организационные решения по производству изделия, отработанную при изготовлении и испытаниях опытных образцов;

- опытные образцы, прошедшие приемочные испытания. При необходимости, с целью сокращения сроков ТПП, разработчик (изготовитель опытных образцов) на договорной основе передает изготовителю серийных изделий:

- документацию на однотипные технологические процессы (с literой «О» или выше по ГОСТ 3.1102);

- конструкторскую документацию на однотипные средства технологического оснащения, отработанную по результатам изготовления и испытаний опытных образцов;

- управляющие программы для однотипного оборудования;
- средства технологического оснащения, пригодные для использования;
- ведомости применения материалов и комплектующих изделий;
- расчет трудоемкости изготовления опытных образцов;
- план (график) ТПП опытных образцов;
- перечень квалификации исполнителей и др.

Изготовитель совместно с соисполнителями на основе полученной от разработчика документации с учетом принципиальных решений по организации ТПП, принятых при проектировании изделия, разрабатывает план (график) ТПП серийных изделий в виде самостоятельного документа или в составе плана (графика) постановки изделия на производство. При этом учитывают:

- сроки освоения серийного производства изделия;
- планируемые объемы выпуска изделий по годам освоения;
- прогноз устойчивости сбыта в течение нескольких лет;
- трудоемкость ТПП;
- состояние организационно-технического уровня производства и возможность его повышения с целью обеспечения коммерческой стратегии изготовителя на рынке;

- возможность кооперации и специализации производства для ритмичного обеспечения изготовления изделий качественными материалами, деталями, сборочными единицами, комплектующими изделиями, средствами технологического оснащения.

ТПП серийных изделий предусматривает выполнение следующих основных работ:

- проработку рабочей конструкторской документации на серийное изделие с учетом технологичности заложенных в нее решений;

- разработку или уточнение (корректировку) с использованием информационных массивов описаний конструкторско-технологических решений:

- а) технологических процессов изготовления серийного изделия в соответствии с государственными стандартами ЕСТД;

- б) специальных средств технологического оснащения в соответствии с государственными стандартами ЕСКД и технологических процессов их изготовления в соответствии с государственными стандартами ЕСТД;

- в) управляющих программ для автоматизированного технологического оборудования:

- приобретение (изготовление) специальных средств технологического оснащения для производства серийных изделий;

- обеспечение необходимой технологической информацией реконструкции или нового строительства производственной и испытательной баз;

- уточнение (корректировку) технологической документации по результатам изготовления и квалификационных испытаний установочной серии (первой промышленной партии);

- обеспечение требований ресурсосбережения, экологии и охраны труда при изготовлении и испытаниях серийных изделий;

- мероприятия в соответствии с целью обеспечения технологической готовности производства к изготовлению качественных изделий для приемочных испытаний.

Изготовитель серийных изделий по требованию заказчика или согласованию с разработчиком в целях сокращения сроков постановки изделий на производство выполняет наиболее сложные и трудоемкие работы ТПП одновременно с изготовлением и испытаниями опытных образцов. С этой целью разработчик и изготовитель опытных образцов в части, их касающейся, передают изготовителю серийных изделий:

- рабочую конструкторскую документацию на опытный образец (без литеры или с литерой «О» по ГОСТ 2.103);
- документацию, содержащую определяющие технологические и организационные решения по производству изделия;
- документацию на однотипные технологические процессы (без литеры или с литерой «О» по ГОСТ 3.1102);
- план (график) ТПП опытных образцов;
- другую необходимую документацию.

Критерий завершенности ТПП серийных изделий — фактическое выполнение работ, предусмотренных планом, подтвержденное оценкой технологической готовности производства к изготовлению серийных изделий в соответствии с критерием завершенности ТПП опытных образцов и единичных изделий.

Таким образом, система разработки и постановки продукции на производство (СРПП), являющаяся установленной государственными стандартами системой организации и управления процессом технологической подготовки производства, предусматривает широкое применение прогрессивных технологических процессов, стандартной технологической оснастки и оборудования, средств механизации и автоматизации производственных процессов, инженерно-технических и управленческих работ.

Основное назначение СРПП заключается в установлении системы организации и управления процессом технологической подготовки производства (ТПП), обеспечивающей:

- единый для всех предприятий и организации системный подход к выбору и применению методов и средств технологической подготовкой производства, соответствующих достижениям науки, техники и производства;
- освоение производства и выпуска изделий высшей категории качества в минимальные сроки, при минимальных трудовых и материальных затратах на ТПП на всех стадиях создания изделий, включая опытные образцы (партии), а также изделия единичного производства;
- организацию производства высокой степени точности, допускающей возможность непрерывного его совершенствования и быструю переналадку на выпуск новых изделий;
- рациональную организацию механизированного и автоматизированного выполнения комплекса инженерно-механических и управленческих работ;
- взаимосвязи ТПП и управления его с другими системами и подсистемами управления.
- ТПП включает решение задач, группируемых по следующим основным функциям:
 - обеспечение технологичности конструкции изделия;
 - разработка технологических процессов;
 - проектирование и изготовление средств технологического оснащения;
 - организация и управление процессом ТПП.

Технологическое проектирование от общего объёма технической подготовки составляет 30...40 % - для мелкосерийного, 40...50 % - для серийного и 50...60 % для массового производств.

По данным промышленности трудоёмкость ТПП при производстве гусеничного трактора составляла 620000 нормочасов, а конструирование – 125000 нормочасов.

Рационально настроенный технологический процесс должен совмещать выполнение технических, экономических и организационных задач, решаемых в данных производственных условиях, т. е. обеспечить выполнение всех требований к качеству изделия, предусмотренных конструкторской документацией, при наименьших затратах труда в количестве и сроки, установленные календарным планированием.

1.1.2. Типы производства, формы организации и виды технологических процессов

Типы производства.

Тип производства – классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объёма выпуска изделий.

Объём выпуска изделий – количество изделий определённых наименования, типоразмера и исполнения, изготовленных или ремонтируемых объединением, предприятием или его подразделением в течение планируемого интервала времени.

Реализуют следующие типы производства:

- единичное;
- серийное;
- массовое.

Одной из основных характеристик типа производства является коэффициент закрепления операций.

Коэффициент закрепления операций – отношение числа всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест.

Единичное производство – производство характеризуемое широкой номенклатурой изготавливаемых или ремонтируемых изделий и малым объемом выпуска изделий.

В единичном производстве изделия изготавливаются единичными экземплярами разнообразными по конструкции или размерам, причём повторяемость этих изделий редка или совсем отсутствует (турбостроение, судостроение).

В этом типе производства, как правило, используется, универсальное оборудование, приспособления и измерительный инструмент, рабочие имеют высокую квалификацию, сборка производится с использованием слесарно-пригоночных работ, т. е. по месту и т.п. Станки располагаются по признаку однородности обработки, т. е. создаются участки станков, предназначенных для одного вида обработки – токарных, строгальных, фрезерных и др.

Коэффициент закрепления операций > 40 .

Серийное производство – производство характеризуемое ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями выпуска.

В зависимости от количества изделий в партии или серии и значение коэффициента закрепления операций различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство.

Коэффициент закрепления операций в соответствии со стандартом принимают равным:

а) для мелкосерийного производства – свыше 20 до 40 включительно;

б) для среднесерийного производства – свыше 10 до 20 включительно;

в) для крупносерийного производства – свыше 1 до 10 включительно.

Основные признаки серийного производства:

1) станки применяются разнообразных типов: универсальные, специализированные, специальные, автоматизированные;

2) кадры различной квалификации;

3) работа может производиться на настроенных станках;

4) применяется и разметка и специальные приспособления;

5) сборка без пригонки и т. д.

Оборудование располагается в соответствии с предметной формой организации работы.

Станки располагаются в последовательности технологических операций для одной или нескольких деталей, требующих одинакового порядка обработки. В той же последовательности, очевидно, образуется и движение деталей (так называемые предметно- замкнутые участки). Обработка деталей производится партиями. При этом время выполнения операций на отдельных станках может быть не согласованно с временем операций на других станках.

Изготовленные детали хранятся во время работы у станков и затем транспортируются всей партией.

Массовое производство – производство, характеризуемое узкой номенклатурой и большим объёмом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых в течение продолжительного времени.

Коэффициент закрепления операций для массового производства принимают равным единице.

Таким образом, изделия изготавливаются в большом количестве длительное время, конструкция изделия меняется плавно. Рабочая сила низкой

квалификации при наличии настройщиков, оборудование автоматизированное, полная взаимозаменяемость при сборке.

Массовому производству присуща поточная форма организации производства, при которой операции обработки или сборки машины закреплены за определённым оборудованием или рабочими местами, оборудование расположено в порядке выполнения операций, а изготавливаемая деталь передается с одной операции на следующую сразу после выполнения предшествующей операции, как правило, при помощи специальных транспортных устройств.

Формы организации технологических процессов.

В соответствии со стандартами СРПП устанавливаются две формы организации технологических процессов:

- групповая;
- поточная.

Групповая форма организации техпроцессов характеризуется однородностью конструктивно-технологических признаков изделий, единством средств технологического оснащения одной или нескольких технологических операций и специализации рабочих мест.

Или иначе, групповая форма – это форма организации производства характеризуемая совместным изготовлением или ремонтом групп изделий различной конфигурации на специализированных рабочих местах.

Основой при групповой форме организации техпроцессов должно быть группирование изделий по конструктивно-технологическим признакам.

По результатам анализа классификационных групп изделий и показателей относительной трудоёмкости устанавливается профиль специализации каждого структурного подразделения (цеха, участка) и т. д.

$$K_{g\ i} = \frac{\sum_{i=1}^{i=k_0} t_{шт. i}}{K_B \cdot r_i}$$

$K_{g\ i}$ - показатель относительной трудоёмкости;

$t_{шт. i}$ -штучное время i -ой детали операции, нормоминуты;

K_0 - число операций по технологическому процессу обработки i – го изделия, в мин;

K_B - средний коэффициент выполнения норм времени;

$r_i = \frac{F_p \cdot 60}{N_i}$ - такт производства i – го изделия, в мин;

F_p - фонд времени в планируемый период, ч;

N_i - программа выпуска i – го изделия в планируемом периоде, шт.

Групповая организация производства может быть поточной или не поточной.

Поточная организация производства характеризуется расположением технологического оснащения в последовательности выполнения операций технологического процесса и специализации рабочих мест.

Поточную форму организации техпроцессов в зависимости от номенклатуры одновременно обрабатываемых изделий подразделяют на:

- однономенклатурную поточную линию;
- многономенклатурную поточную линию.

Примеры способов расположения оборудования в поточных линиях показаны на рис 1.2.

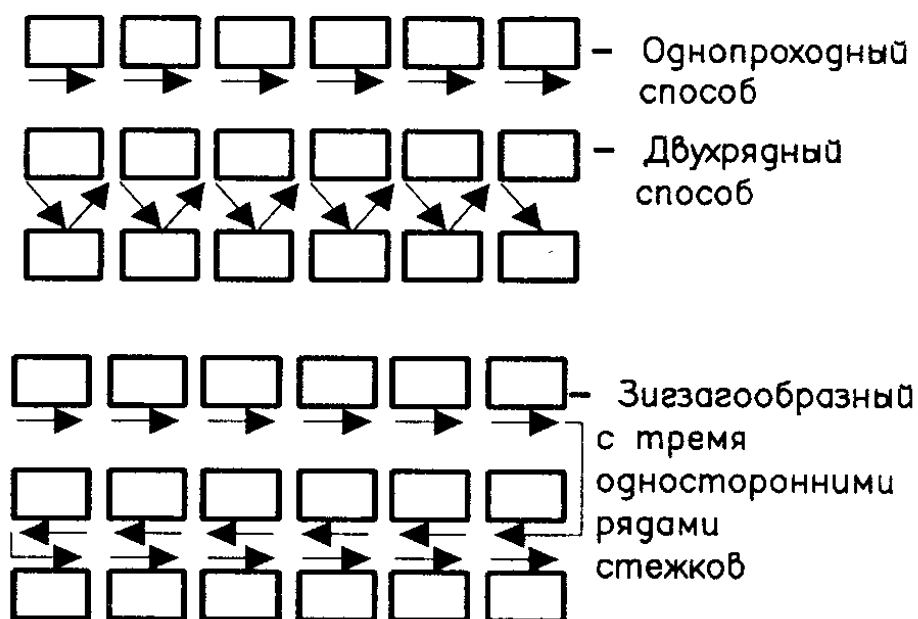


Рис.1.2. Способы расположения оборудования в поточных линиях

Виды технологических процессов.

По степени унификации различают следующие виды технологических процессов:

- 1) единичный;
- 2) типовой;
- 3) групповой.

Вид технологического процесса определяется количеством изделий, охватываемых процессом (одно изделие, группы однотипных изделий).

Наименование процессов устанавливают по стандартам СРПП.

1. Единичный технологический процесс – технологический процесс, относящийся к изделиям одного наименования, типоразмера и исполнения, независимо от типа производства (применяется для изготовления изделий

одного наименования, типоразмера и исполнения независимо от типа производства).

2. Типовой технологический процесс – технологический процесс, характеризующийся единством содержания и последовательности большинства технологических операций и переходов для группы изделий с общими конструктивными признаками.

Типовой процесс применяется:

а) как информационная основа при разработке рабочего технологического процесса;

б) как рабочий технологический процесс при наличии всей необходимой информации для изготовления детали, база для разработки стандартов на типовые технологические процессы.

Типовой технологический процесс может являться совокупностью типовых технологических операций, которые характеризуются единством содержания и последовательности технологических переходов для группы изделий с общими конструктивными признаками.

3. Групповой технологический процесс – технологический процесс, характеризующийся единством методов обработки с использованием однородных и быстро переналаживаемых приспособлений для групп изделий даже с разными конструктивными признаками.

Групповой технологический процесс может состоять из групповых технологических операций, которые являются общими для групп различных деталей с определённой групповой оснасткой на данном оборудовании.

Таким образом, групповой технологический процесс это совокупность групповых технологических операций, обеспечивающих обработку различных деталей группы (или нескольких групп) по общему технологическому маршруту.

Каждый вид технологических процессов характеризуется следующими признаками:

а) основным назначением процесса:

- рабочий,
- перспективный;

б) степенью детализации содержания процесса:

- маршрутный,
- операционный,
- маршрутно-операционный.

Рабочий технологический процесс – технологический процесс, выполняемый по рабочей и (или) конструкторской документации (применяется для изготовления в соответствии с требованиями рабочей технической документации).

Перспективный технологический процесс – технологический процесс соответствующий современным достижениям науки и техники, методы и средства, осуществления которого полностью или частично предстоит освоить на предприятии (разрабатывается как информационная основа для разработки рабочих технологических процессов при техническом и организационном перевооружении производства; рассчитан на применение более совершенных методов обработки, более производительных и экономически эффективных средств технологического оснащения и изменения принципов организации производства).

Маршрутный технологический процесс – технологический процесс выполняемый по документации, в которой содержание операций изменяется без указания переходов и режимов обработки (технологический маршрут - последовательность прохождения заготовки, детали или сборочной единицы по подразделениям предприятия при выполнении технологического процесса изготовления или ремонта).

Операционный технологический процесс – технологический процесс, выполняемый по документации, в которой содержание операций излагается с указанием переходов и режимов обработки.

Маршрутно-операционный технологический процесс - технологический процесс, выполняемый по документации, в которой содержание отдельных операций излагается без указания переходов и режимов обработки.

1.2. Структура технологического процесса и его основные характеристики

Готовые изделия (детали, сборочные единицы, комплексы и комплекты) получают из материалов и полуфабрикатов в результате осуществления отдельных процессов, совокупность которых составляет процесс производственный – совокупность всех действий людей и орудий труда, необходимых на данном предприятии для изготовления или ремонта продукции.

Все определения, касающиеся **структуры** технологического процесса, даны ниже в соответствии со стандартом ГОСТ 3.1109 – 82 (Процессы технологические, основные термины и определения).

Технологический процесс – часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) последующему определению состояния предмета труда; таким образом при реализации технологического процесса происходит изменение качественного состояния объекта производства (химических и физических свойств материала, форм, размеров, качества поверхности, внешнего вида объекта и т. д.; в техпроцесс включён также контроль качества);

Операция – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте (или с использованием одной технологической системы).

Установ – часть технологической операции, выполняемая при неприменном закреплении обрабатываемой заготовки или собираемой сборочной единицы.

Технологический переход – законченная часть технологической операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных технологических режимах и установке.

Вспомогательный переход – законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и (или) оборудования, которые и сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхности, но необходимы для выполнения технологического перехода.

Рабочий ход – законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхности свойств заготовки.

Вспомогательный ход – законченная часть технологического перехода состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, но необходимая для выполнения рабочего хода.

Позиция – фиксированное положение, занимаемое неизменно закреплённой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определённой части операции.

При разработке маршрута изготовления детали и его структуры рекомендуется следующая последовательность работы:

- выбрать тип заготовки;
- произвести технологическую разметку чертежа, пронумеровав все поверхности, подвергаемые механической обработке;

- в соответствии с рекомендациями таблиц среднеэкономических достижимых точностей обработки выбрать для каждой из пронумерованных поверхностей требуемое количество операций (переходов);
- составить из выбранных таким образом операций маршрут изготовления детали и представить его в виде табл.1.2;
- в соответствии с примером разработать структурную схему маршрута изготовления детали, представленной на рис.1.3.

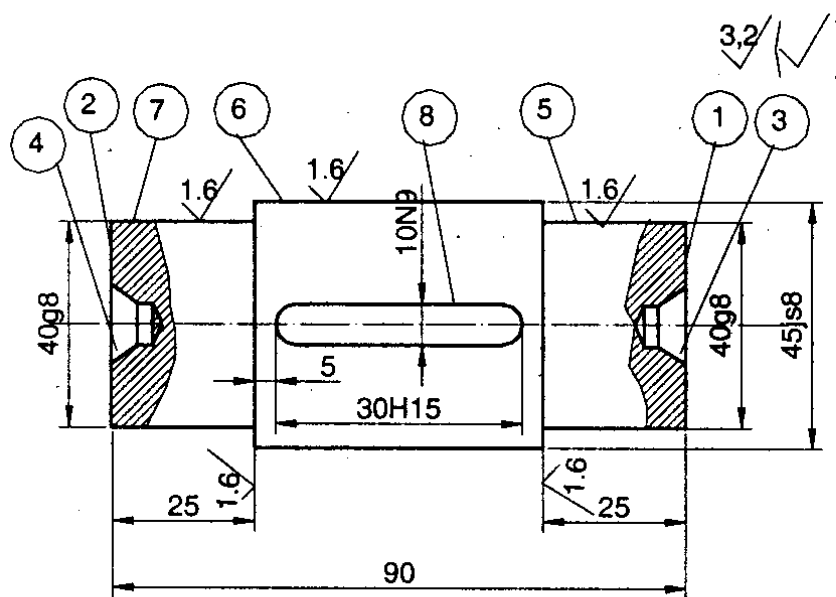


Рис.1.3. Эскиз вала

На эскизе вала не полностью приведены его элементы и технические требования.

Название и краткое их содержание операций, представленных в таблице соответствуют требованиям стандарта ЕСТД (Правила записи операций и переходов. Обработка резанием).

На рис.1.4 показана структурная схема маршрута для изготовления вала. При построении этой схемы, для расчёта количества рабочих ходов

можно воспользоваться следующими ориентировочными значениями максимальных глубин резания:

- при токарной обработке наружных, внутренних цилиндрических торцовых поверхностей – 4 мм;

Таблица 1.2

Номер операции	Наименование операций и их краткое содержание	Оборудование
05	Фрезерно-центровальная Фрезеровать торцы 1 и 2 и сверлить центровые отверстия 3 и 4	Фрезерно-центровальный станок
10	Токарная Точить поверхности 5, 6 и 7	Токарный станок
15	Вертикально-фрезерная Фрезеровать шпоночный паз 8	Вертикально-фрезерный станок
20	Кругло-шлифовальная Шлифовать поверхности 5, 6 и 7	Кругло-шлифовальный станок

В таблице приведена только номенклатура необходимых операций, а не их количество, которое зависит от точности каждой обрабатываемой поверхности.

- при фрезеровании плоскостей – 5 мм;
- при зенкеровании – 2 мм;
- при развёртывании – 0,2 мм;
- при шлифовании – 0,3 мм (при поперечной подаче шлифовального круга 0,005...0,015 мм) двойной ход или оборот.

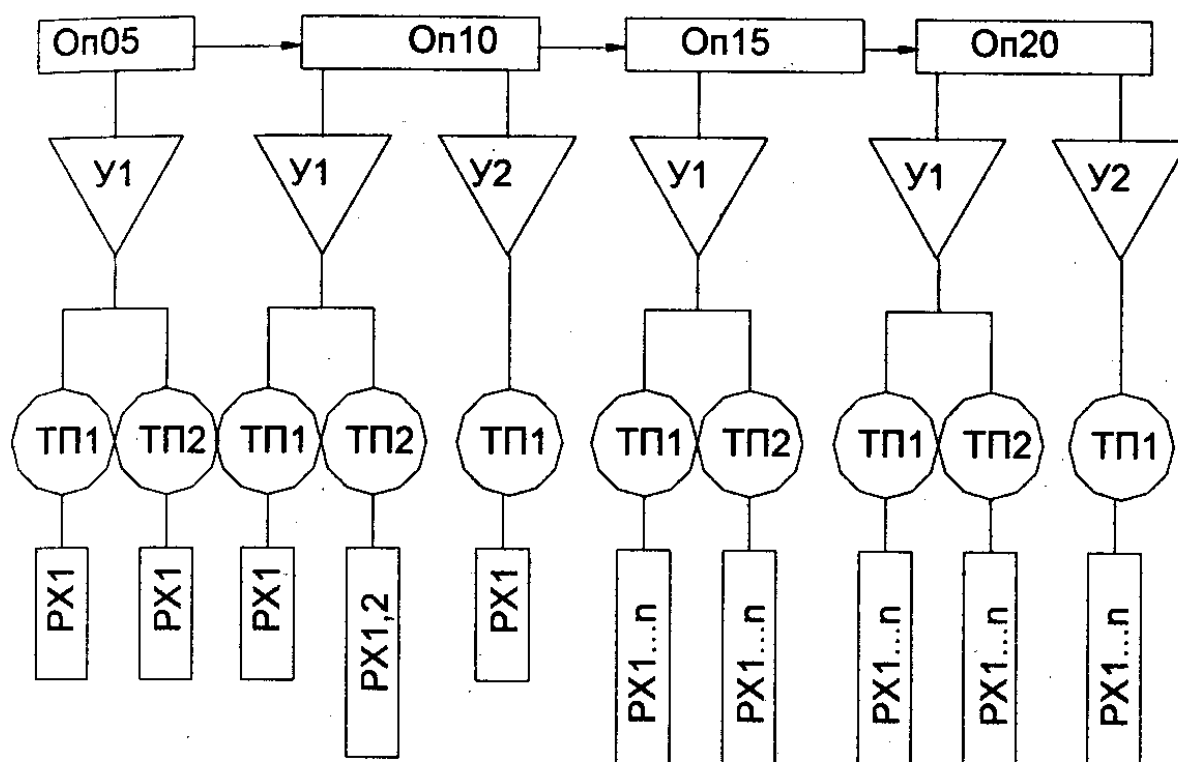


Рис.1.4. Структурная схема технологического процесса

Характеристики технологического процесса

Стандарты ЕСТД устанавливают следующие основные характеристики технологических процессов.

- цикл технологической операции – интервал календарного времени от начала до конца периодически повторяющийся технологической операции независимо от типа одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий;
- такт выпуска – интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий определённого наименования типоразмера и исполнения;
- ритм выпуска – количество изделий определённого наименования типоразмера и исполнения, выпускаемых в единицу времени;

- норма времени – регламентируемое время выполнения некоторого объёма работ в определённых производственных условиях одним или несколькими исполнителями соответствующей квалификации;
- норма выработки – регламентированное количество деталей, которое должно быть обработано в единицу времени;
- штучное время – интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий или равный календарному времени сборочной операции
- технологическая себестоимость обработки детали по всем операциям технологического процесса (цеховая себестоимость).

$$C_{об.} = L + Z$$

L – основная заработная плата производственных рабочих;

Z – сумма всех остальных цеховых расходов.

1.3. Основные принципы технологического проектирования

1. Принцип технологичности конструкции заключается в том, что при разработке конструкции детали учитываются как условия её эксплуатации в машине, так и технологические требования при её производстве.

В настоящее время на всех промышленных предприятиях существует тесная связь конструктора и технолога. После разработки изделия технологами производится анализ технологичности деталей, входящих в это изделие.

Ниже приведены некоторые критерии технологичности машины в целом:

- отношение количества стандартных деталей к общему количеству
- наличие в машине унифицированных узлов;
- преемственность конструкции;

- возможность осуществления сборки машины из отдельных узлов;
- соответствие применяемых методов изготовления заготовки условиям данного производства (выбор метода сборки для данного объема выпуска и типа производства должен производиться на основании расчёта и анализа размерных цепей; расчёт размерных цепей следует проводить используя методы $\max - \min$ или вероятностный [$\max - \min$ при количестве звеньев $n \leq 5$, при $n > 5$ - вероятностный]);

- конструкция детали должна обеспечивать возможность применения типовых и стандартных технологических процессов её изготовления;

2. Принцип деления обработки на стадии.

При черновой обработке основной задачей является быстрое удаление максимально возможного припуска, при этом деталь подвергается значительным силовым и тепловым деформациям.

На стадии чистовой обработки закладывается, в основном, требуемая точность детали.

Отделочная обработка обеспечивает получение требуемой шероховатости и физико-механических свойств поверхностного слоя.

В настоящее время отступают от этого принципа на основе использования жёсткого и точного оборудования, жестких и точных заготовок, позволяющих за один ход получать высокую точность.

3. Принцип независимости обработки, требующий такого построения технологического процесса, при котором исключается необходимость дополнительной обработки при сборке. Это не всегда выполнимо. Бывает, что взаимозаменяемость неэкономична и тогда прибегают к неполной (ограниченной) взаимозаменяемости: а) обработка деталей в сборе; б) работа по формуляру и пр.

4. Принцип концентрации технологических операций предусматривает концентрацию операций, объединение простых операций в одну сложную, выполнение всех операций на одном рабочем месте.

Это усложнение операции может производиться за счет:

- повышения квалификации рабочего (в единичном и мелкосерийном производствах);
- усовершенствования, автоматизации станков, использования многошпиндельных автоматов и полуавтоматов, агрегатных, многопозиционных многолезцовых станков (в массовом и крупносерийных производствах).

Концентрация операций упрощает планирование, резко повышает производительность труда за счёт сокращения времени обработки.

5. Принцип дифференциации операций.

Технологический процесс дифференцируется (расчленяется) на элементарные операции. Естественно операции простые требуют более низкой квалификации рабочего, упрощают возможность механизации и автоматизации их. Дифференциация экономически целесообразна в массовом производстве.

В современном производстве машин эти две тенденции концентрации и дифференциации существуют параллельно. Используются также и комбинированные решения.

1.4. Технологические процессы сборки

Сборка – образование соединений составных частей изделия. Соединения могут быть разъёмными и неразъёмными (соединение свинчиванием, запрессовыванием, сваркой, склеиванием и пр.).

Сборочные работы составляют значительную долю общей трудоемкости изготовления машины. В зависимости от типа производства трудоемкость сборки составляет от (20...30)% в массовом и до (30...40)% в единичном производстве. Основная часть слесарно-сборочных работ представляет собой ручные работы, требующие больших затрат физического труда и высокой квалификации рабочих.

Вышеизложенное показывает, что при изготовлении машины сборке принадлежит ведущая роль. Технологические процессы изготовления деталей в большинстве случаев подчинены технологии сборки машины. Следовательно, сначала должна разрабатываться технология сборки машины, а затем – технология изготовления деталей.

В зависимости от условий, типа и организации производства сборка имеет различные организационные формы (поточную и непоточную, стационарную и подвижную, узловую и общую).

Технологический процесс сборки представляет собой часть производственного процесса, содержащего действия по установке и образованию соединений, составных частей изделия.

Технологический процесс сборки обычно разрабатывают поэтапно:

- в зависимости от объёма выпуска (заданной программы) устанавливается целесообразная организационная форма сборки, определяются её такт и ритм;
- осуществляется технологический анализ сборочных чертежей для отработки конструкции на технологичность;

- производятся размерный анализ конструкций, расчёт размерной цепей и разрабатываются методы достижения точности сборки (полная, не полная, групповая взаимозаменяемость, регулировка и пригонка);
- определяется целесообразная степень дифференциации или концентрации сборочных операций;
- устанавливается последовательность соединения всех сборочных единиц и деталей изделия и составляются технологические схемы узлов и общей сборки;
- разрабатываются (или выбираются) наиболее производительные экономичные и технически обоснованные способы сборки, способы контроля и испытаний;
- разрабатываются (или выбираются) необходимые технологические или вспомогательное оборудование и технологическая оснастка (приспособления, режущий инструмент, монтажное и контрольное оборудование);
- производятся техническое нормирование сборочных работ определение экономических показателей;
- разрабатывается планировка оборудования, рабочих мест и оформляется техническая документация на сборку.

Одним из основных этапов проектирования, в большой степени определяющих эффективность технологических процессов сборки является анализ технологичности конструкции. В соответствии со стандартами ЕСТПП требования к технологичности сборочной единицы разбиты на 3 группы:

- 1) требования к составу сборочной единицы;
- 2) требования к конструкции соединения составных частей;
- 3) требования к точности и методу сборки.

Требования к составу сборочной единицы:

- сборочная единица должна расчленяться на рациональное число составных частей с учетом принципа агрегатирования;

- конструкция сборочной единицы должна обеспечивать возможность компоновки из стандартных и унифицированных частей;
- сборка изделия не должна обуславливать применение сложного технологического оснащения;
- виды используемых соединений, их конструкции и месторасположение должны соответствовать требованиям механизации и автоматизации сборочных работ;
- в конструкции сборочной единицы и ее составных частей, имеющих массу более 20 кг должны предусматриваться конструктивные элементы для удобного захвата грузоподъемными средствами, используемыми в процессе сборки, разборки и транспортирования;
- конструкция сборочной единицы должна предусматривать базовую составную часть, которая является основой для расположения остальных составных частей;
- компоновка конструкции сборочной единицы должна позволять производить сборку при неизменном базировании составных частей;
- в конструкции базовой составной части необходимо предусматривать возможность использования конструктивных сборочных баз в качестве технологических и измерительных;
- компоновка сборочной единицы должна обеспечивать общую сборку без промежуточной разборки и повторныхборок составных частей;
- компоновка составных частей сборочной единицы должна обеспечивать удобный доступ к местам, требующим контроля, регулировки и проведения других работ, регламентированных технологией подготовки изделия к функционированию и технического обслуживания;
- компоновка сборочной единицы должна предусматривать рациональное расположение такелажных узлов, монтажных опор и других устройств для обеспечения транспортабельности изделия.

Требования к конструкции соединений составных частей:

- количество поверхностей и мест соединений составных частей в общем случае должно быть наименьшим;
- места соединений составных частей должны быть доступны для механизации сборочных работ и контроля качества соединений;
- соединение составных частей не должно требовать сложной и необоснованно точной обработки сопрягаемых поверхностей;
- конструкции соединений составных частей не должны требовать дополнительной обработки в процессе сборки.

Требования к точности и методу сборки:

- точность расположения составных частей должна быть обоснована взаимосвязана с точностью изготовления составных частей;
- выбор места сборки для данного объема выпуска и типа производства должен производиться на основании расчета и анализа размерных цепей;
- расчет размерных цепей следует производить, используя методы максимума-минимума - метод полной взаимозаменяемости, или, основанный на теории вероятностей, метод неполной взаимозаменяемости.

В качестве примечания можно отметить, что стандарт рекомендует применять метод максимума-минимума только при расчете коротких размерных цепей (менее пяти) с высокой точностью замыкающего звена или многозвенных размерных цепей с малой точностью замыкающего звена.

В большинстве случаев, при решении сборочных размерных цепей рекомендуется применять метод неполной взаимозаменяемости.

В зависимости от типа производства используются также другие методы достижения точности замыкающего звена:

- метод групповой взаимозаменяемости;
- метод регулирования;
- метод пригонки.

Краткие характеристики всех методов приведены ниже.

Метод полной взаимозаменяемости экономично применять в крупносерийном и массовом производстве. Основан метод на расчете размерных цепей на максимум – минимум. Метод прост и обеспечивает 100 %-ую взаимозаменяемость. Недостаток метода – уменьшение допусков на составляющие звенья, что приводит к увеличению себестоимости изготовления и трудоемкости.

Метод неполной взаимозаменяемости заключается в том, что допуски на размеры деталей, составляющие размерную цепь, преднамеренно расширяют для удешевления производства. В основе метода лежит положение теории вероятности, согласно которому крайние значения погрешностей, составляющих звеньев размерной цепи встречаются значительно реже, чем средние значения. Такая сборка целесообразна в серийном и массовом производствах при многозвенных цепях.

Метод групповой взаимозаменяемости применяют при сборке соединений высокой точности, когда точность сборки практически недостижима методом полной взаимозаменяемости (например, шарикоподшипники). В этом случае детали изготавливают по расширенным допускам и сортируют в зависимости от размеров на группы так, чтобы при соединении деталей, входящих в группу, было обеспечено достижение установленного конструктором допуска замыкающего звена.

Недостатками данной сборки являются: дополнительные затраты на сортировку деталей по группам и на организацию хранения и учета деталей; усложнение работы планово-диспетчерской службы.

Сборка методом групповой взаимозаменяемости применяется в массовом и крупносерийном производствах при сборке соединений, обеспечение точности которых другими методами потребует больших затрат.

Сборка методом пригонки трудоемка и применяется в единичном и мелкосерийном производствах.

Метод регулирования имеет преимущество перед методом пригонки, т.е. не требует дополнительных затрат и применяется в мелко- и среднесерийного производствах.

Разновидностью метода компенсации погрешностей является способ сборки плоскостных соединений с применением компенсирующего материала, (на пример, пластмассовой прослойки).

Особое внимание следует уделять при сборке размерным цепям, составляющими звеньями которых являются разные геометрические параметры, так как решение этих цепей проверяет на совместимость допуски, установленные на основе различных нормативных источников.

На рис.1.5 показана параллельно-звеньевая размерная цепь, замыкают

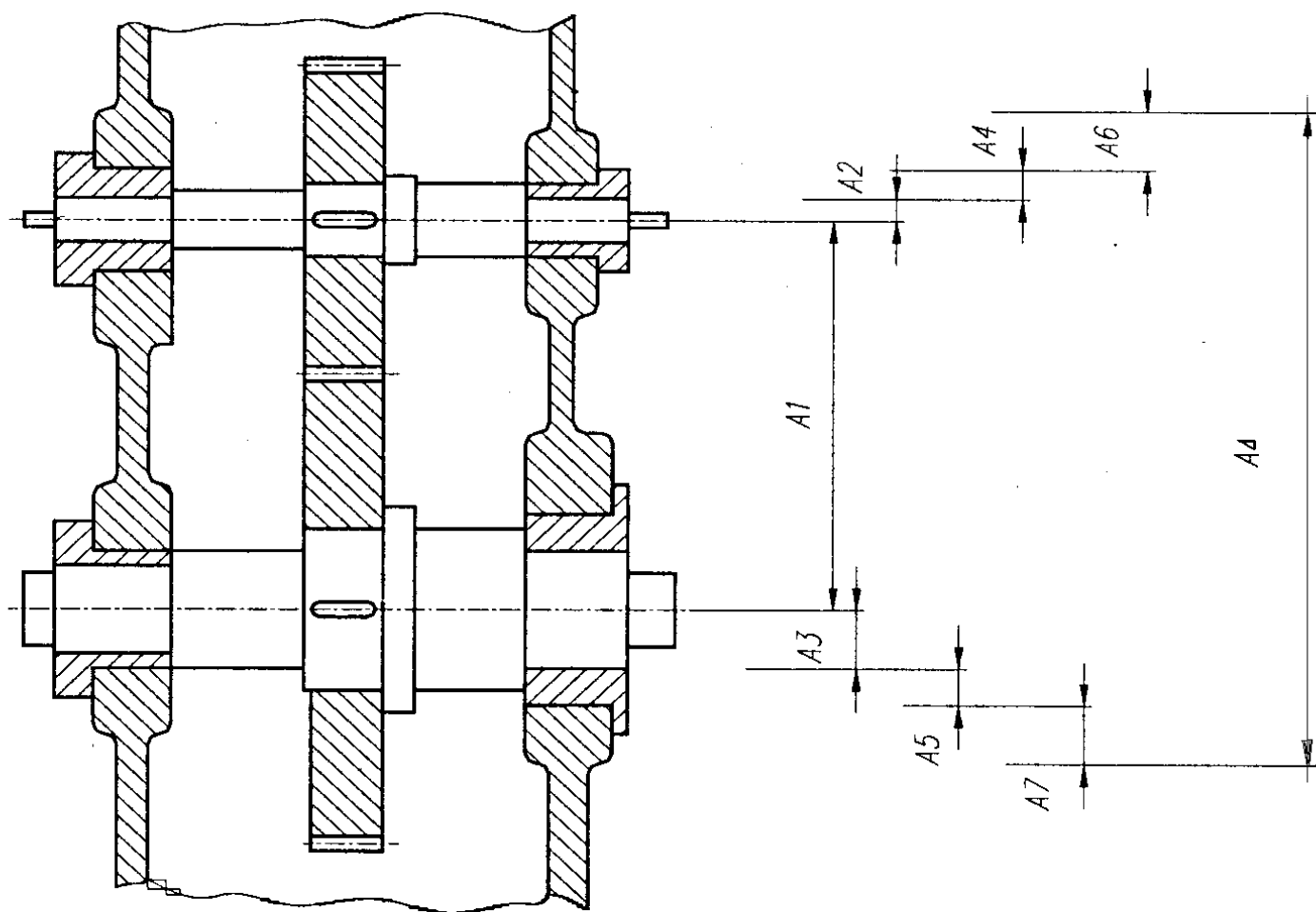


Рис. 1.5. Размерная цепь для межосевого расстояния цилиндрической зубчатой передачи

щим звеном $\Delta\Delta$ которой является монтажное межосевое расстояние зубчатой передачи с отклонениями, нормируемыми стандартом, а составляющими звеньями являются: A_1 - расстояние между осями гнёзд корпуса (отклонения определяются из расчёта данной цепи); A_2 и A_3 - отклонение от соосности наружной и внутренней поверхностей подшипниковых втулок; A_4 и A_5 - смещение осей базовых шеек валов на половину зазора под воздействием распорной силы (зазоры определяются расчётом и выбором посадок); A_6 и A_7 - отклонения от соосности мест посадки шестерён по отношению к базовым шейкам валов (определяется с учётом допустимого радиального биения шестерён).

На рис.1.6 показана плоская размерная цепь, замыкающим звеном которой является половина минимального бокового зазора цилиндрической передачи $B\Delta = 0.5 \cdot j_{n \min}$, а составляющими звеньями: B_1 и B_2 - смещение

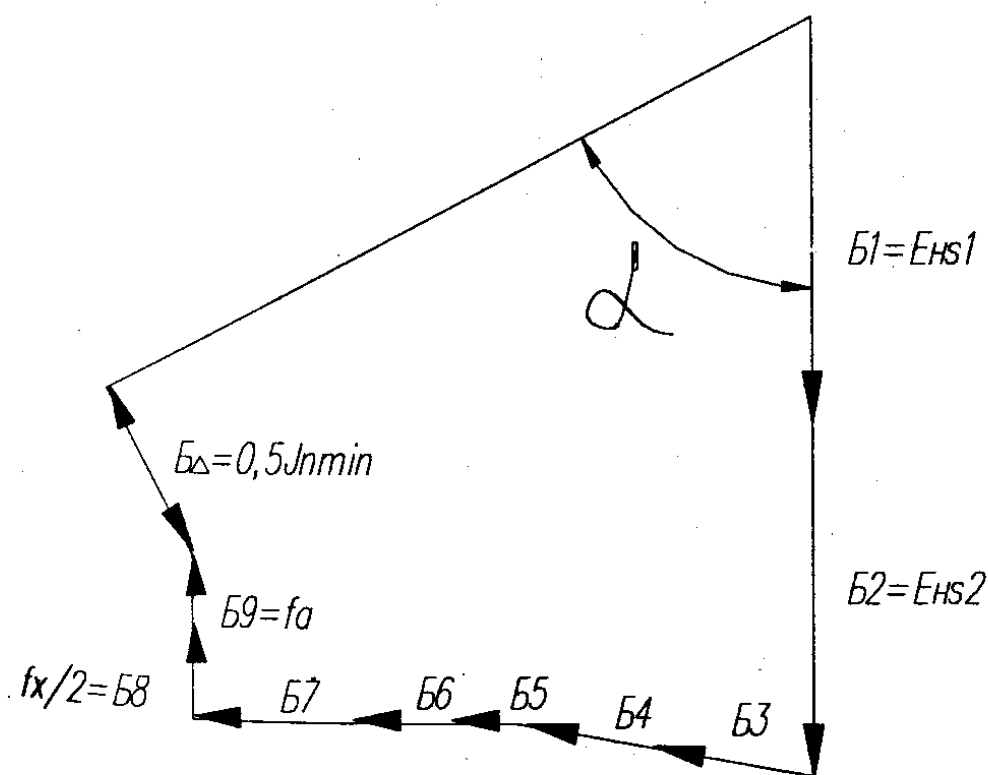


Рис. 1.6. Размерная цепь для половины бокового зазора цилиндрической зубчатой передачи

исходного контура E_{hs} для обоих колёс (по виду сопряжения и норма плавности). B_3 и B_4 - половина отклонений шага зацепления f_{pb} для обоих колёс (по нормам плавности передачи); B_5 и B_6 - половины погрешности направления зуба F_β для обоих колёс (по нормам контакта); B_7 и B_8 - половины допусков соответственно на перекос f_y и отклонения от параллельности f_x осей колёс в передаче (по нормам точности контакта); B_9 - нижнее отклонение межосевого расстояния f_a передачи (по нормам вид сопряжения). В результате расчёта этой цепи гарантированный боковой зазор:

$$j_{n \min} = (E_{hs1} + E_{hs2}) \cdot 2 \sin \alpha - K_j$$

K_j - компенсационный зазор, компенсирующий погрешность изготовления зубчатых колёс и сборки передачи, уменьшающий боковой зазор:

$$K_j = \sqrt{(f_a \cdot 2 \sin \alpha)^2 + 2 \cdot (f_{pb})^2 + 2 \cdot (F_\beta)^2 + (f_x \cdot \sin \alpha)^2 + (f_y \cdot \cos \alpha)^2}$$

Для разработки последовательности сборочных операций необходимо привести расчленение собираемого изделия на составные части. При этом учитывают следующие требования:

- сборочную единицу не следует расчленять в процессе сборки, транспортировки и монтажа;
- сборочным операциям предшествуют подготовительные и пригонные работы, которые выделяют в самостоятельные операции;
- габаритные размеры сборочных единиц устанавливают с учетом наличия подъемно-транспортных средств;
- сборочная единица должна состоять из небольшого числа деталей сопряжений для упрощения организации сборочных работ;
- сокращать число деталей, подаваемых непосредственно на сборку, исключением базовой детали и крепежа;

- изделие следует расчленять так, чтобы его конструкция позволяла осуществлять сборку с наибольшим числом сборочных единиц.

Последовательность сборки (сборочных операций) разрабатывают, соблюдая следующие требования:

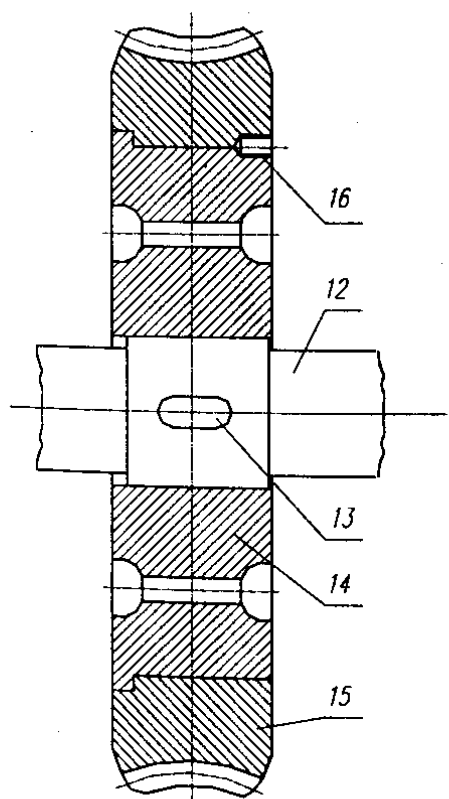
- предшествующие операции не должны затруднять выполнение последующих;

- для поточной сборки разбивка процесса на операции должна осуществляться с учетом такта сборки;

- после операций, содержащих регулирование или пригонку, необходимо предусмотреть контрольные операции;

- если изделие имеет несколько размерных цепей, то сборку начинают с наиболее сложной и ответственной цепи;

- в каждой размерной цепи сборку необходимо завершать установкой тех элементов соединения, которые образуют ее замыкающее звено;



- при наличии нескольких размерных цепей с общими звеньями сборку начинать с элементов той цепи, которая в наибольшей степени влияет на точность изделия.

Для определения последовательности сборки изделия и его составляющих частей разрабатывают технологические схемы сборки. На рис.1.7 показана сборочная единица – вал с червячным колесом, а на рис.1.8 – технологическая схема его сборки

Технологические схемы, являясь первым

этапом разработки технологического процес-

Рис.1.7. Сборочная единица – вал с червячным колесом

са, в наглядной форме отражают маршрут сборки изделия и его составных частей. Технологические схемы сборки составляют на основе сборочных чертежей изделия.

На технологических схемах каждая деталь или сборочная единица обозначается прямоугольником, разделенным на 3 части. В верхней части прямоугольника указывают наименование детали или сборочной единицы, в левой нижней части – номер, присвоенный детали или сборочной единице на сборочных чертежах изделия, в правой нижней части – число собираемых элементов. Сборочные единицы обозначают буквами «Сб» (сборка). Базовыми называют детали или сборочные единицы, с которых начинается сборка. Каждой сборочной единице присваивается номер ее базовой детали. Например, «Сб.14» – сборочная единица с базовой деталью 14 (ступица колеса).

Технологическую схему сборки строят в следующей последовательности

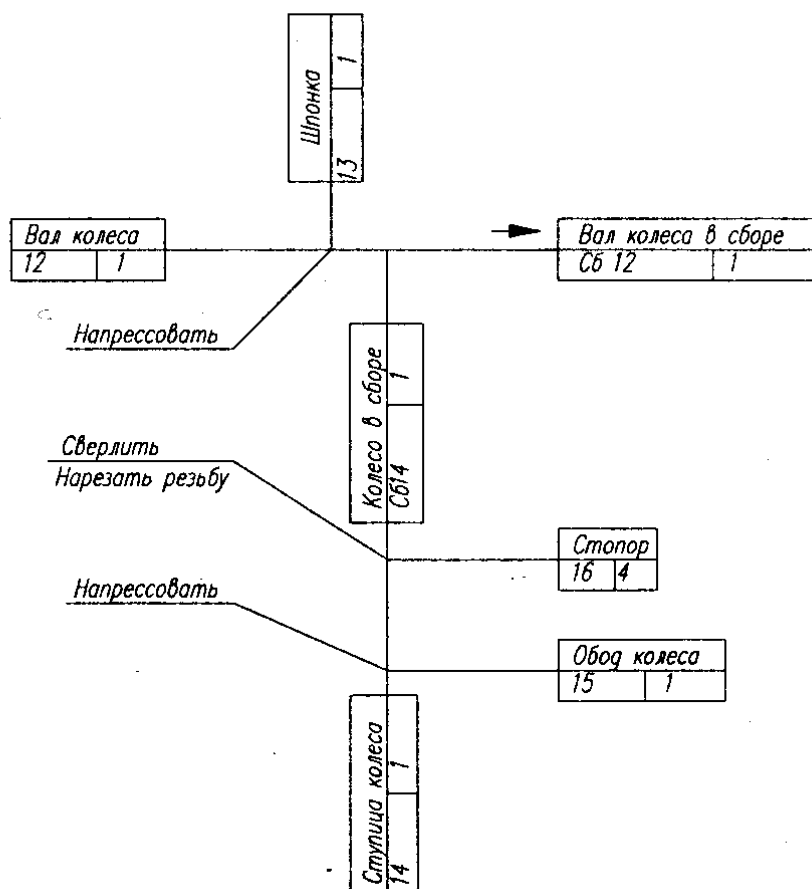


Рис.1.8. Технологическая схема сборки сборочной единицы

В левой части схемы (рис.1.8) указывают базовую деталь или базовую сборочную единицу. В правой части схемы указывают собираемое изделие в сборе. Эти два прямоугольника соединяют горизонтальной линией. Выше этой линии прямоугольниками обозначают все детали, входящие непосредственно в изделие, в порядке, соответствующем последовательности сборки. Ниже этой линии прямоугольниками обозначают сборочные единицы, непосредственно входящие в изделие.

Схемы сборки сборочных единиц могут строиться как отдельно (по приведенному выше правилу), так и непосредственно на общей схеме, развивая ее в нижней части схемы (под линией).

Технологические схемы сборки сопровождаются подписями, если они не очевидны из самой схемы, например, «Запрессовать», «Сварить», «Проверить на биение» и т.д.

Технологические схемы сборки одного и того же изделия многовариантные. Оптимальный вариант выбирают из условия обеспечения заданного качества сборки, экономичности и производительности процесса при заданном масштабе выпуска изделий. Составление технологических схем целесообразно при проектировании сборочных процессов для любого типа производства. Технологические схемы упрощают разработку сборочных процессов и облегчают оценку изделия на технологичность.

Технологические процессы сборки типовых сборочных единиц, сборки неподвижных разъемных соединений (резьбовых, шпоночных, шлицевых и т.п.), сборки неразъемных соединений (пластическим деформированием, сваркой, пайкой, склеиванием), сборки различных передач машин и механизмов (зубчатые, цепные и др.) описаны в соответствующей справочной литературе.

2. ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

2.1. Точность и ее определяющие факторы

Под точностью в технологии машиностроения понимается степень соответствия производимых изделий их заранее установленным параметрам. Она в большой мере определяется точностью изготовления отдельных деталей и сборочных единиц.

Точность в машиностроении – понятие комплексное. Оно характеризует не только геометрические параметры машин и их элементы, но и единообразие различных свойств изготавливаемых изделий (упругих, динамических, магнитных, электрических и др.).

Понятие точности детали включает в себя следующие параметры:

- точность размеров;
- точность формы поверхностей;
- точность относительного расположения поверхностей;
- шероховатость поверхностей;
- волнистость;
- физико-механические свойства поверхностного слоя.

Количественные показатели точности и допускаемые отклонения регламентируются Единой системой допусков и посадок и ее стандартами. Задача обеспечения необходимой точности изделия решаются на этапах их конструирования, разработки и внедрения технологии изготовления.

Любой технологический процесс реализуется в определённой технологической системе (системе СПИД – станок, приспособление, инструмент, деталь – включающей в себя средства технологического оснащения и заготовку).

С момента начала механической обработки заготовки технологическая система действует как многофакторная автоматическая система, структурная схема которой представлена на рис.2.1.

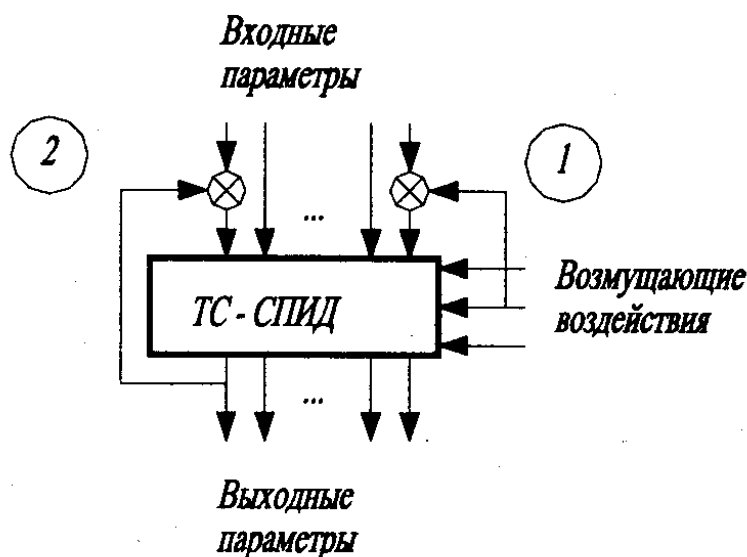


Рис.2.1. Структурная модель многофакторной автоматической технологической системы механической обработки

Входными параметрами этой системы являются:

- характеристики металлорежущего станка – тип, модель, мощность, диапазоны частот вращения и подач, точность, жёсткость, виброустойчивость;
- характеристики технологической оснастки – приспособлений, устройств механизации и автоматизации, промышленных роботов;
- характеристики заготовки – материал, его химический состав, механические свойства, погрешность размеров, формы, взаимного расположения, качество поверхностного слоя;
- технологическая схема обработки поверхности;
- эксплуатационные свойства режущего инструмента – прочность, стойкость, размерный износ;
- режимы резания – V , S , t ;
- начальный размер наладки.

К возмущающим воздействиям, нарушающим начальные условия обработки, относятся:

- упругие деформации элементов технологической системы;
- размерный износ режущего инструмента;
- тепловые деформации элементов технологической системы;
- погрешность установки заготовок;
- погрешность корректирования первичного наладочного размера;
- погрешность измерений;
- погрешности профильного и мерного режущего инструмента;
- погрешность от перераспределения внутренних остаточных напряжений;
- колебания элементов технологической системы.

Выходными параметрами являются:

- качество механической обработки – точность размеров, формы, взаимного расположения и качество обработанной поверхности;
- производительность механической обработки;
- экономические критерии процесса обработки.

Из схемы видны возможные пути управления технологическими процессами:

- управление по выходным параметрам (обратная связь 1);
- управление по внешним возмущающим воздействиям (обратная связь 2).

Более подробно, вопросы управления технологическими процессами рассмотрены ниже.

На общую суммарную погрешность обработки может оказывать влияние совокупность любых из перечисленных выше параметров (входных, возмущающих и выходных). К элементарным составляющим суммарной погрешности относятся:

- неточность технологической схемы обработки;

- геометрическая погрешность станков;
- погрешность приспособлений;
- погрешность мерного и профильного режущего инструмента;
- погрешности измерений;
- погрешность от упругих деформаций элементов технологической системы;
- тепловые деформации элементов технологической системы;
- размерный износ режущего инструмента;
- погрешность начальной размерной наладки;
- погрешность подналадки;
- погрешность установки заготовок;
- погрешность от перераспределения остаточных внутренних напряжений;
- шероховатость обработанной поверхности;
- погрешность, вызываемая колебаниями элементов технологической системы;
- погрешность, определяемая конструктивными особенностями системы управления технологическим процессом.

На рис.2.2 показана структурная модель многофакторного технологического процесса механической обработки в случае использования нескольких технологических систем. Из рисунка видно, что часть выходных параметров предшествующей системы являются входными параметрами последующей системы, что наглядно демонстрирует явление технологической наследственности.

В технологии машиностроения под технологической наследственностью понимается перенесение на готовое изделие в процессе его изготовления погрешностей, механических и физико-химических свойств исходной заготовки или свойств и погрешностей, сформировавшихся у заготовки на отдельных операциях изготовления изделия.

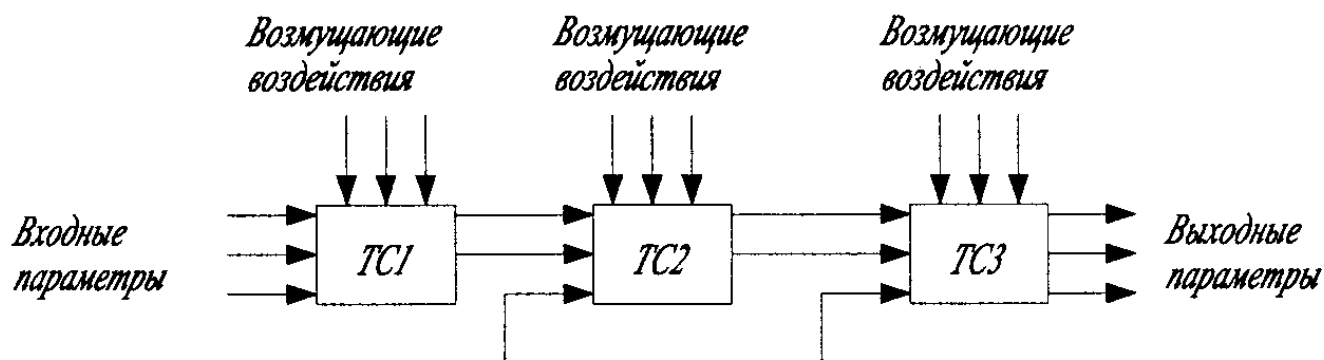


Рис.2.2. Структурная модель многофакторного технологического процесса

Проявление технологической наследственности может привести как улучшению, так и к ухудшению эксплуатационных свойств деталей.

Технологический процесс изготовления деталей должен разрабатываться с учетом технологической наследственности так, чтобы сохранить у детали положительные качества (наклеп поверхностного слоя, высокую поверхностную твердость, остаточные напряжения сжатия и др.) или, наоборот, устранить отрицательные качества – дефектный слой, отклонения формы и расположение поверхностей, и др.

Для целесообразного использования явления технологической наследственности необходимо установить непосредственные связи между эксплуатационными характеристиками деталей и режимами обработки заготовок.

Технологическая наследственность проявляется на всех этапах реализации технологических процессов.

В технологии машиностроения принято различать следующие виды элементарных погрешностей обработки по воздействию на технологическую систему:

- систематические постоянные погрешности, вызываемые, например неточностью мерного инструмента;

- систематические погрешности, закономерно изменяющиеся по течению технологического процесса, вызываемые, например, размерным износом режущего инструмента;

- случайные погрешности, которые, появившись при обработке одной заготовки, необязательно появляются при обработке других заготовок, а их значения для различных заготовок изменяются в определённых пределах от Δ_{\min} до Δ_{\max} . Предсказать момент появления и величину этих погрешностей возможно только с определенной вероятностью.

Систематические погрешности обработки изучаются с помощью теоретических или экспериментальных исследований закономерностей, которым они подчиняются.

Случайные погрешности изучаются с применением теории вероятностей и математической статистики.

Для исследований точности механической обработки используются следующие основные методы: расчетно-аналитический; вероятностно-статистический и расчетно-статистический.

Расчетно-аналитическая модель предполагает полную детерминированность процесса, для которого точно известны как начальная точность, так и влияние сопутствующих факторов. Путем решения систем уравнений, описывающих закономерности переноса погрешностей технологического процесса, однозначно определяется искомая точность. Факт детерминированности означает, что при одном и том же комплексе исходных условий при каждом последующем расчете получается один и тот же результат. Однако реальные процессы не всегда правильно отображаются детерминированными моделями и правомерность их применения в таких случаях, зависит от детальности изучения исследуемого процесса. Математическое описание процессов в этом случае заключается в последовательном определении начальных (исходных) погрешностей заготовки; далее устанавливается в аналитическом виде их влияние на

окончательную точность готовой детали и, наконец, решается полученная система уравнений.

Вероятностно-статистическая модель применяется при изготовлении достаточно больших партий деталей. Она позволяет без раскрытия физической сути явлений решать ряд задач по оценке и исследованию точности обработки сборки, контроля и анализу точности оборудования. При этом определяют как первичные, так и суммарные погрешности.

Расчетно-статистические модели сочетают положительные стороны обоих, выше рассмотренных методов. Они пригодны для различных условий производства и являются весьма гибкими, так как позволяют рассчитывать первичные и суммарные погрешности, оценивая их отдельные составляющие статистически или расчетным путем. При недостатке данных модель носит в большей мере вероятностно-статистический характер. В то же время, применяя терминированный подход, можно определить поле рассеивания случайных погрешностей и отдельные погрешности расчетно-аналитическим методом.

2.2. Статистические методы исследования точности механической обработки

К статистическим методам относятся исследования с использованием кривых распределения погрешностей и графоаналитический метод (точечных диаграмм).

2.2.1. Метод кривых распределения погрешностей

Центральная теорема теории вероятностей Ляпунова дает теоретическое обоснование тому факту, что при устойчивом процессе обработки деталей на настроенных станках и при отсутствии изменяющихся во времени систематических погрешностей действительные размеры деталей часто подчиняются закону нормального распределения, так как результирующая погрешность обра-

ботки представляет собой сумму большого числа погрешностей, зависящих от станка, приспособления, инструмента и заготовки.

Этот метод оценки точности применяется в условиях производства большого количества деталей. Для его применения необходимо произвести выборку деталей из обрабатываемых на исследуемой операции. Количество деталей в выборке влияет на точность оценки и определяется по специальной методике. По результатам измерения деталей выборки строится опытная кривая распределения, к которой по критерию согласия подбирается теоретический закон распределения.

Опытные кривые распределения строят следующим образом.

По оси абсцисс откладывают измеряемую величину, например диаметр деталей, через определенные интервалы, а на оси ординат их количество, попадающее в эти интервалы, или частоты.

Частость — это отношение числа деталей одного размера к общему числу деталей выборки. Соединяя точки пересечения, получают ломаную линию, которая называется опытной кривой распределения или полигоном распределения деталей по размерам (рис.2.3).

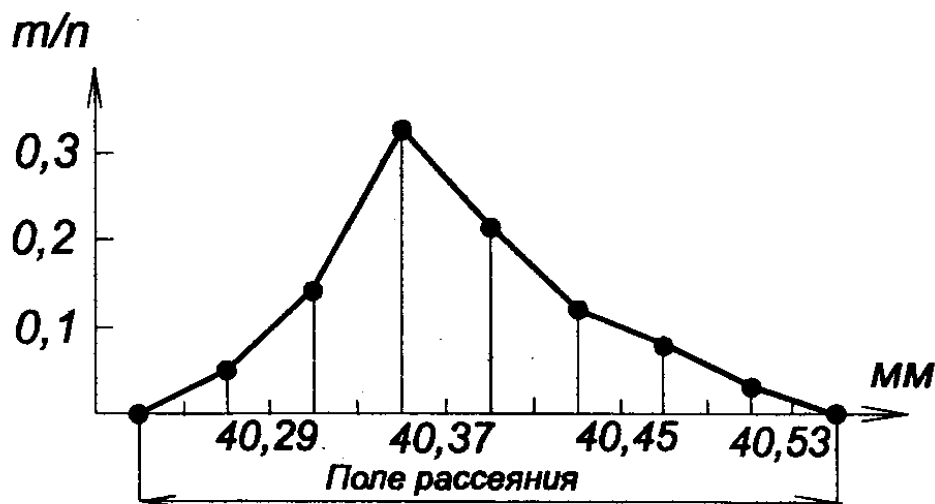


Рис.2.3. Опытная кривая или полигон распределения размеров

Определяют поле рассеяния размеров деталей как приближенную меру и точности. Поле рассеяния размеров определяется на основе рассчитываемые параметров соответствующего теоретического закона распределения.

Плотность вероятности или дифференциальная функция распределение случайной величины непрерывного типа, подчиняющейся закону нормального распределения, имеет следующее выражение

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}},$$

где x – переменная случайная величина; $\varphi(x)$ – плотность вероятности

σ – среднее квадратичное отклонение случайной величины x от \bar{x} ;

\bar{x} – среднее значение (математическое ожидание a) величин x ;

e – основание натуральных логарифмов.

Дифференциальная функция нормального распределения графической выражается в виде кривой холмообразного типа.

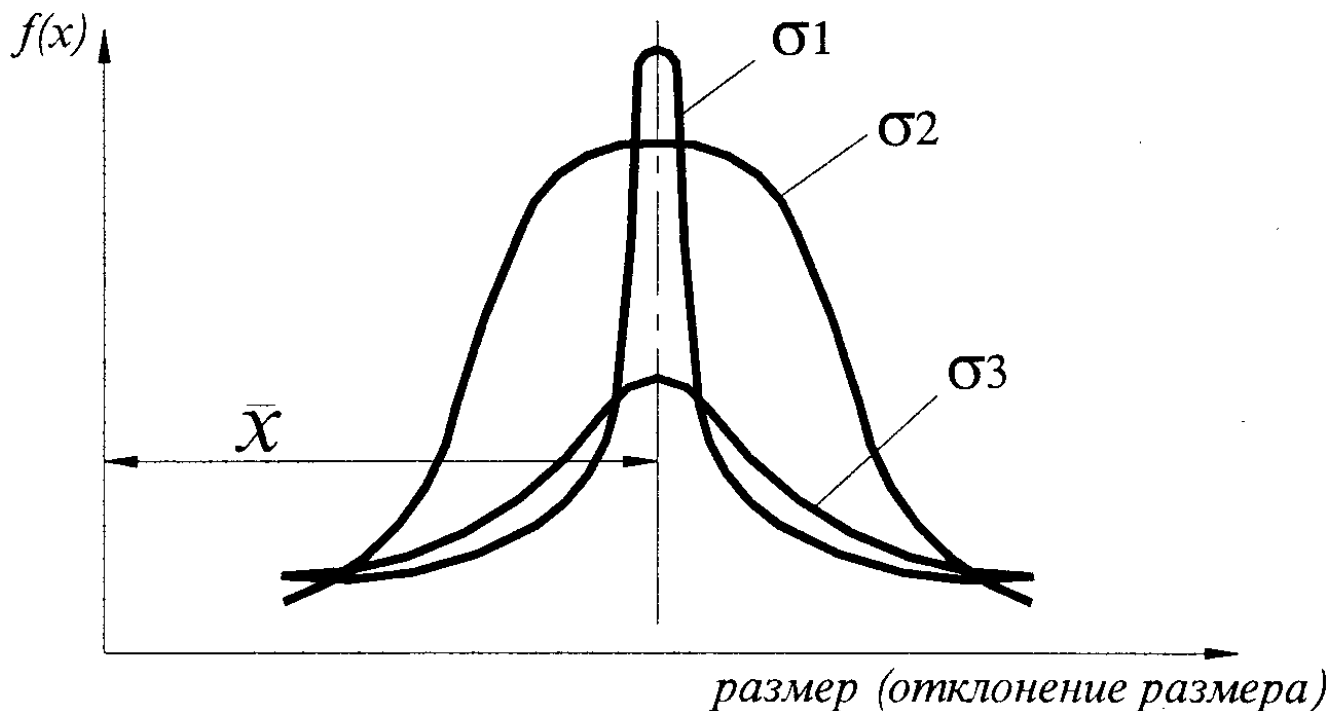


Рис.2.4. Влияние среднего квадратичного отклонения на форму кривой

По виду кривой она симметрична относительно ординаты точки $x = \bar{x}$, т.е. равновозможны одинаковые положительные и отрицательные отклонения от \bar{x} . При этом меньшие отклонения более вероятны, чем большие, и весьма большие отклонения от центра группирования маловероятны. Положение кривой относительно начала координат и ее форма определяются двумя параметрами \bar{x} и σ . С изменением \bar{x} форма кривой не меняется, но изменяется ее положение относительно начала координат. С изменением σ положение кривой не изменяется, но изменяется ее форма. С уменьшением σ кривая становится более вытянутой, а ветви ее сближаются; с увеличением σ наоборот, кривая становится более приплюснутой, а ветви ее раздвигаются шире.

Интегральный закон нормального распределения выражается в общем виде так:

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

Если случайная величина x следует нормальному закону, то достоверно, что она может принимать любые численные значения в пределах $\mp \infty$, поэтому

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

Вероятность $P(-\infty < x < +\infty) = 1$ представляет собой площадь под дифференциальной кривой нормального распределения. Очевидно, что вероятность значений x (рис.2.5) в любом другом интервале x_1-x_2 меньше единицы и будет равна

$$P(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx$$

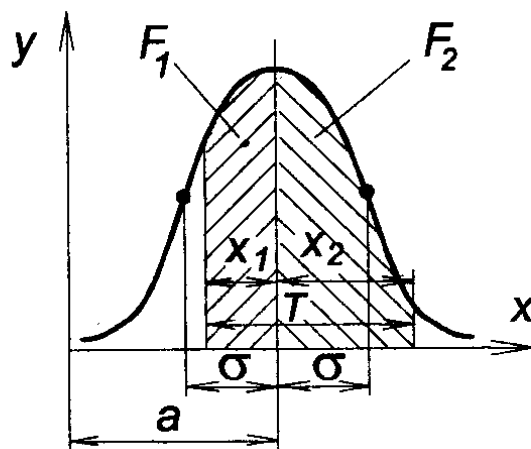


Рис.2.5. Кривая нормального распределения погрешностей

Произведем замену переменной x путем подстановки $\frac{x - \bar{x}}{\sigma}$

и, учитывая, что $x = t\sigma + \bar{x}$; $dx = \sigma \cdot dt$, получим

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

Новые пределы интегрирования заменили пределы x_1 и x_2 . Правую часть уравнения (1) можно представить в виде суммы двух интегралов

$$P(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\int_0^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt - \int_0^{t_1} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \right] \quad (2)$$

Знак плюс в уравнении (2) изменился на минус вследствие изменении пределов интегрирования с t_1-0 на $0-t_1$.

Интеграл $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ носит название нормированной функции Лапласа и его значения для различных $t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$ приведены в приложении (1). Эта функция нечетная, следовательно, $\Phi(-t) = -\Phi(t)$ и для отрицательных значений t табличные данные берутся со знаком минус.

Таким образом, вероятность того, что случайная величина, подчиняющаяся закону нормального распределения, при испытаниях примет значения в пределах $x_1 - x_2$, может быть записана через $\Phi(t)$ следующим образом:

$$P(x_1 < x < x_2) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = \Phi\left(\frac{x_2 - \bar{x}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - \bar{x}}{\sigma}\right)$$

Нетрудно убедиться, что значения случайной величины x будут находиться в интервале от $\bar{x} - 3\sigma$ до $\bar{x} + 3\sigma$ с вероятностью, весьма близкой к единице. Действительно, в этом случае

$$P(x_a < x < x_b) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1)$$

так как $x_a = \bar{x} - 3\sigma$; $x_b = \bar{x} + 3\sigma$; $t_1 = -3$; $t_2 = 3$;

Следовательно,

$$P[\bar{x} - 3\sigma < x < \bar{x} + 3\sigma] = \Phi(3) - \Phi(-3) = 2\Phi(3)$$

Согласно табличным значениям $\Phi(t)$, $2\Phi(3) = 0,9973$. Таким образом, вероятность появления случайной величины вне указанного интервала не превосходит $q = 1 - P = 1 - 0,9973 = 0,0027$, т.е. очень мала. Поэтому принято зону рассеивания случайной величины x , подчиняющуюся нормальному распределению, ограничить пределами $\pm 3\sigma$.

Рассмотрим пример по расчету процента годных и негодных деталей следующих исходных данных:

$$T_d = 2000 \text{ мкм}; es = 200 \text{ мкм}; ei = 0; \bar{x} = 100 \text{ мкм}; \sigma = 50 \text{ мкм} \\ (x = \Delta d; \bar{x} = \Delta \bar{d}).$$

Определяем количество годных деталей.

$$P(ei < \Delta d < es) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = \Phi\left(\frac{es - \Delta \bar{d}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{ei - \Delta \bar{d}}{\sigma}\right) = \\ = \Phi(2) - \Phi(-2) = 2\Phi(2) = 2 \cdot 0,4775 = 0,9550$$

Процент неисправимого брака

$$P[(\Delta \bar{d} - 3\sigma) < \Delta d < ei] = \Phi\left(\frac{ei - \Delta \bar{d}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\Delta \bar{d} - 3\sigma - \Delta d}{\sigma}\right) = \\ = \Phi(-2) - \Phi(-3) = -0,4775 + 0,4986 = 0,0211$$

Процент исправимого брака

$$P[es < \Delta d < (\Delta d + 3\sigma)] = \Phi\left(\frac{\Delta \bar{d} + 3\sigma - \Delta d}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{es - \Delta d}{\sigma}\right) = \\ = \Phi(3) - \Phi(2) = -0,4775 + 0,4986 = 0,0211$$

Для исключения неисправимого брака необходимо сместить наладочные размер, т.е. среднее значение $\Delta \bar{d}$ до $\Delta \bar{d} = 3\sigma = 3 \times 50 = 150 \text{ мкм}$. То количество годных деталей при $\Delta \bar{d} = 150 \text{ мкм}$

$$P(ei < \Delta d < es) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = \Phi\left(\frac{200 - 150}{50}\right) - \Phi\left(\frac{0 - 150}{50}\right) = \\ = \Phi(1) - \Phi(-3) = 0,3415 + 0,4775 = 0,8401$$

Количество годных деталей составит 84,01%.

На основе использования кривых распределения погрешностей разработаны рекомендации по выбору методов, обеспечивающих достижимые средние экономические точности обработки.

Кроме закона нормального распределения используются и другие законы. Так, если на размер обработки оказывает влияние установившийся износ инст-

румента, то распределение размеров деталей будут подчиняться закону равной вероятности (рис.2.6,а). Если имеет место ярко выраженный начальный износ, зона установившегося износа мала, а за ней идет зона ускоренного возрастания износа, распределение размеров деталей может оказаться выраженным законом треугольника (Симпсона), как показано на рис. 2.6,б.

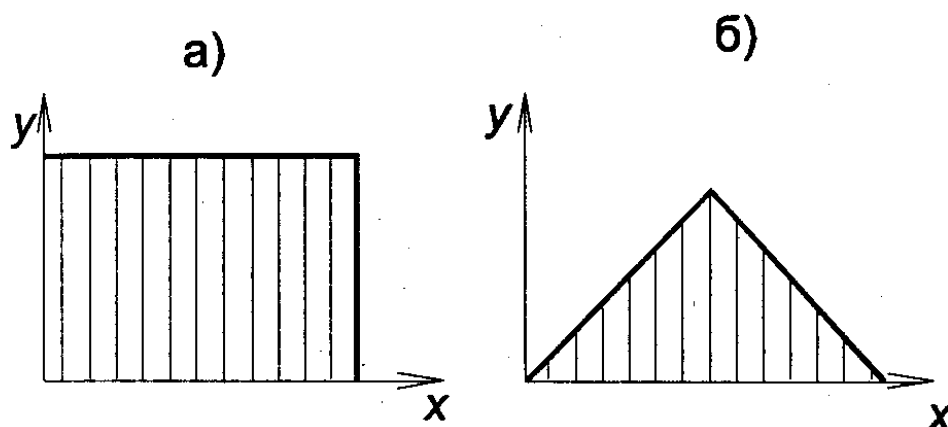


Рис.2.6. Законы распределения погрешностей (размеров): а) – равной вероятности; б) – Симпсона (треугольника)

Распределение погрешностей взаимного положения, формы (отклонений от параллельности, перпендикулярности двух поверхностей, перпендикулярности оси детали к торцу, разностенности полых деталей) подчиняется закону эксцентриситета (Релея).

Метод кривых распределения универсален и нашел широкое применение в производстве. Однако по полученным кривым не всегда возможно определение причин, вызывающих изменение точности обработки. Метод не учитывает последовательности обработки, фиксирует результаты законченного этапа, т.е. «обращен в прошлое». Кривые распределения не дают необходимой информации для управления точностью процесса обработки заготовок.

2.2.2. Графоаналитический метод (метод точечных диаграмм)

Графоаналитический метод оценки точности технологических операций следует применять:

- для получения качественной характеристики точности технологических операций;
- как предварительный этап по установлению качественных значений показателей точности и стабильности и закономерностей их изменения в процессе обработки.

Оценка точности проводится путём построения графиков, на которых по оси абсцисс откладывают условные номера обрабатываемых заготовок в последовательности их обработки (или время окончания их обработки) по оси ординат – значения погрешностей контролируемого параметра и его измеренные значения. Графики должны строиться по данным протоколов измерений.

В зависимости от цели исследования и вида технологического процесса на один график наносят результаты измерения деталей выборок, относящихся к одной или нескольким партиям деталей.

Схематическое изображение одной реализации случайного процесса (t) изменения погрешностей контролируемого параметра приведено на рис.2.7.

По данному графику можно судить:

- о соответствии контролируемого параметра установленному полю допуска (IT);
- о характере изменения систематических погрешностей изготовления;
- о предполагаемом моменте выхода контролируемого параметра детали за границы поля допуска;

о точности наладки оборудования на заданный размер.

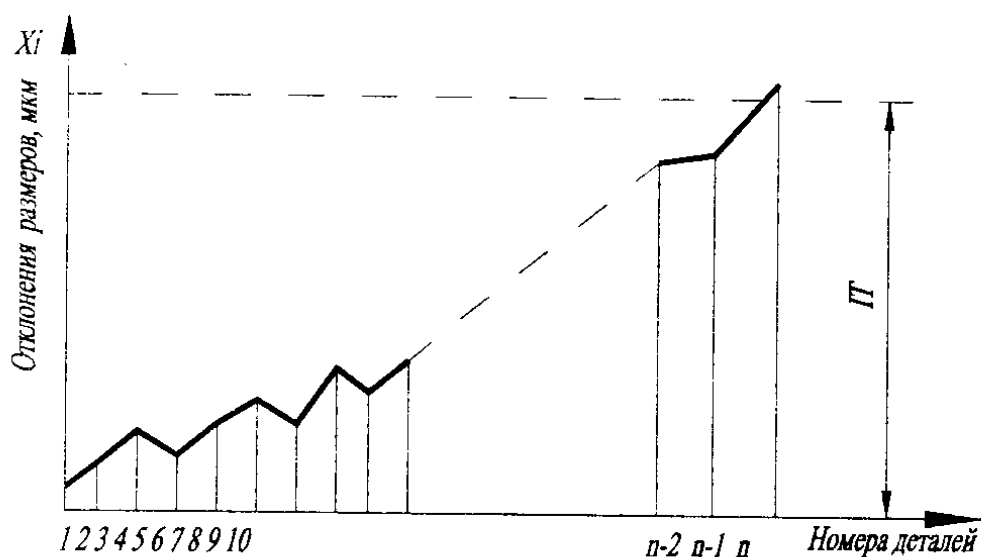


Рис.2.7. Точечная диаграмма отклонений размеров партии деталей

Рассмотрим случай изготовления нескольких партий деталей на одном оборудовании и возможной смене (или перезаточке) режущего инструмента. В этом случае на графике (рис.2.8) изображено несколько реализаций случайного процесса $x(t)$ изменения погрешностей контролируемого пара

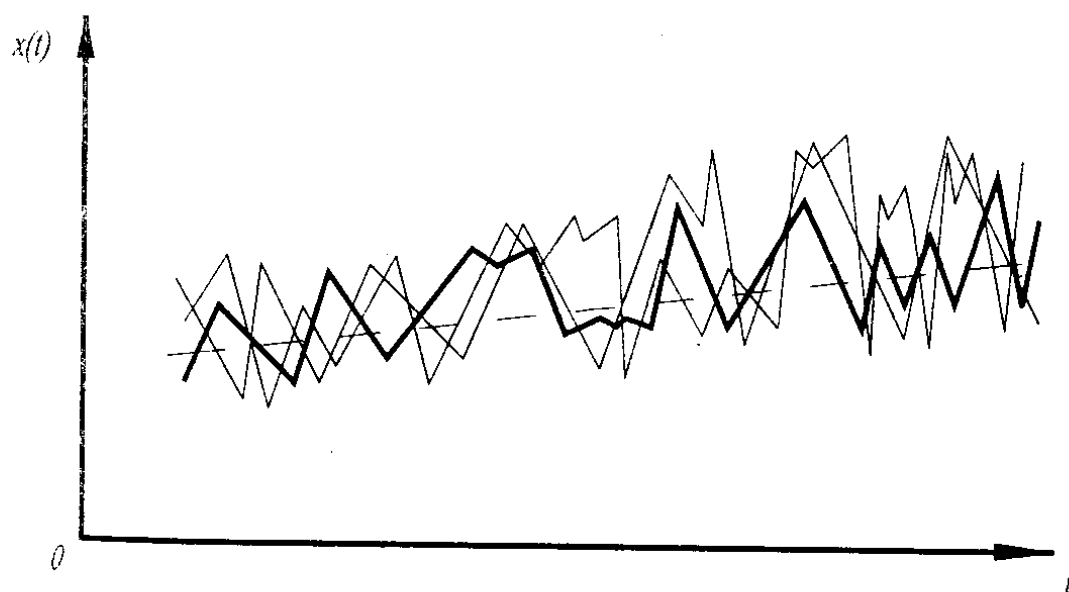


Рис.2.8. Точечные диаграммы отклонений размеров нескольких партий деталей

метра на одном оборудовании.

По данному графику можно судить:

- о соответствии точностных характеристик системы станок – приспособление – инструмент – деталь исследуемого оборудования установленным полям допусков на контролируемый параметр;
- о величине и виде распределения погрешности настройки оборудования;
- о величине и характере изменения систематических погрешностей в процессе обработки;
- о величине и характере изменения величины случайной погрешности во времени.

В тех случаях, когда статистический анализ точности технологического процесса проводят с целью изучения влияния на точность обработки одного конкретного фактора, на график наносят две реализации по результатам измерения двух партий деталей, полученных при различных значениях исследуемого фактора и максимально возможной идентичности условий обработки по другим факторам.

Исследование влияния качества заготовок на точностные характеристики деталей должно проводиться путём нанесения на один график для реализаций, соответствующих погрешностям заготовок и погрешностям исследуемого параметра деталей, получаемых из тех же заготовок.

2.3. Расчетно-статистический метод исследования точности

2.3.1. Погрешности установки. Стандарты по базированию и установочным элементам

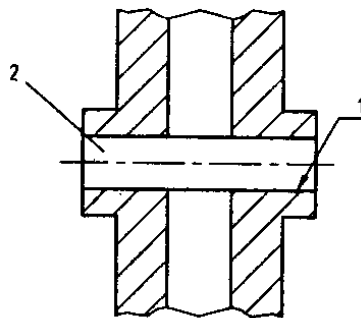
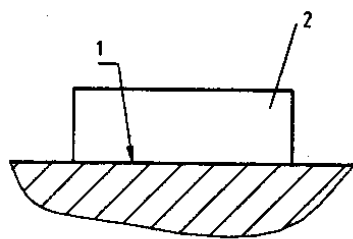
Установка включает в себя процессы базирования и закрепления заготовки.

Основные понятия по базированию, основанные на ГОСТ 21495-76* «Базирование и базы в машиностроении», приведены ниже.

Базирование – придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

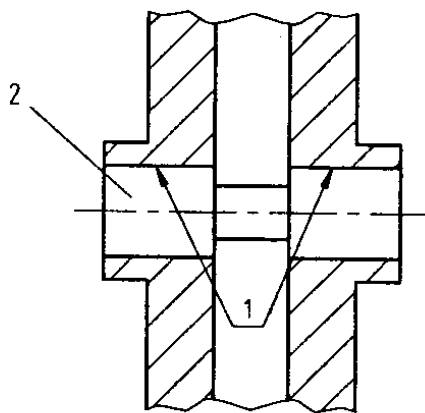
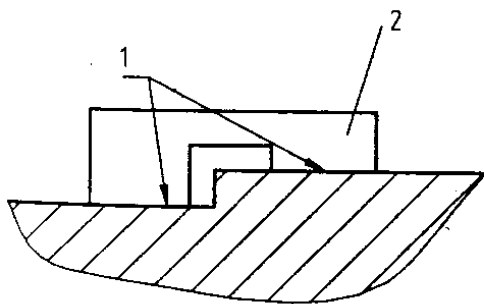
База – поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования.

База-поверхность

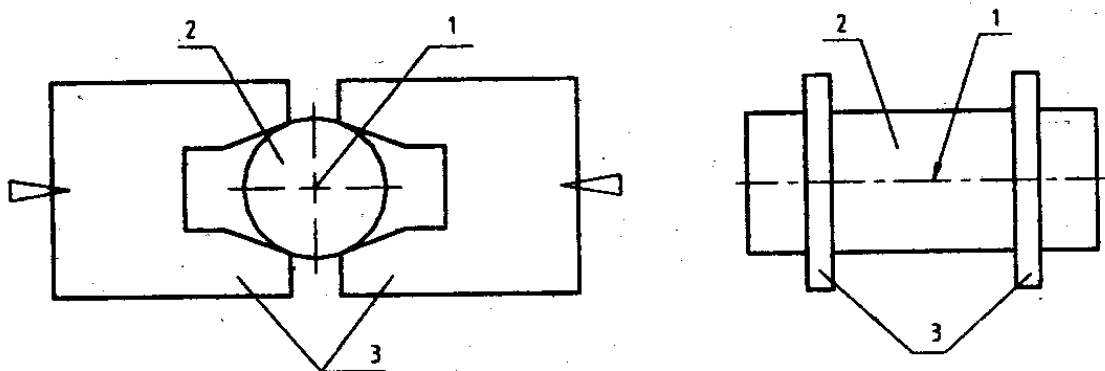


1- база; 2- заготовка.

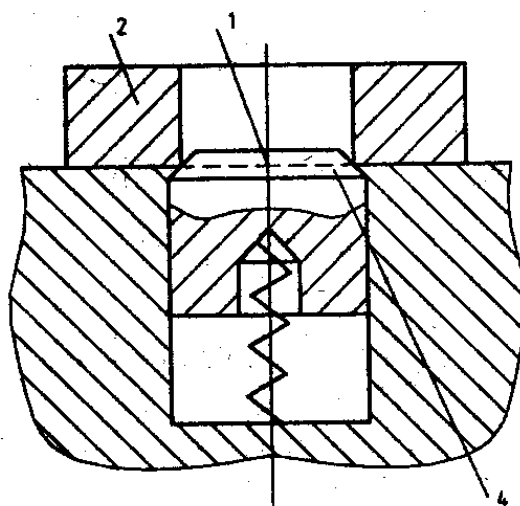
База – сочетание поверхностей



База - ось



База - точка



Действительная база – база, фактически используемая в конструкции, изготовлении, эксплуатации или ремонте изделия.

Комплект баз – совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или изделия (рис.2.9).

Конструкторская база – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

Основная база – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии (рис.2.10,а).

Вспомогательная база – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения положения присоединяемого к ним изделия (рис.2.10,б).

Технологическая база – база (I,II,III), используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта (рис.2.11).

Измерительная база – база, служащая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения (рис.2.10,в).

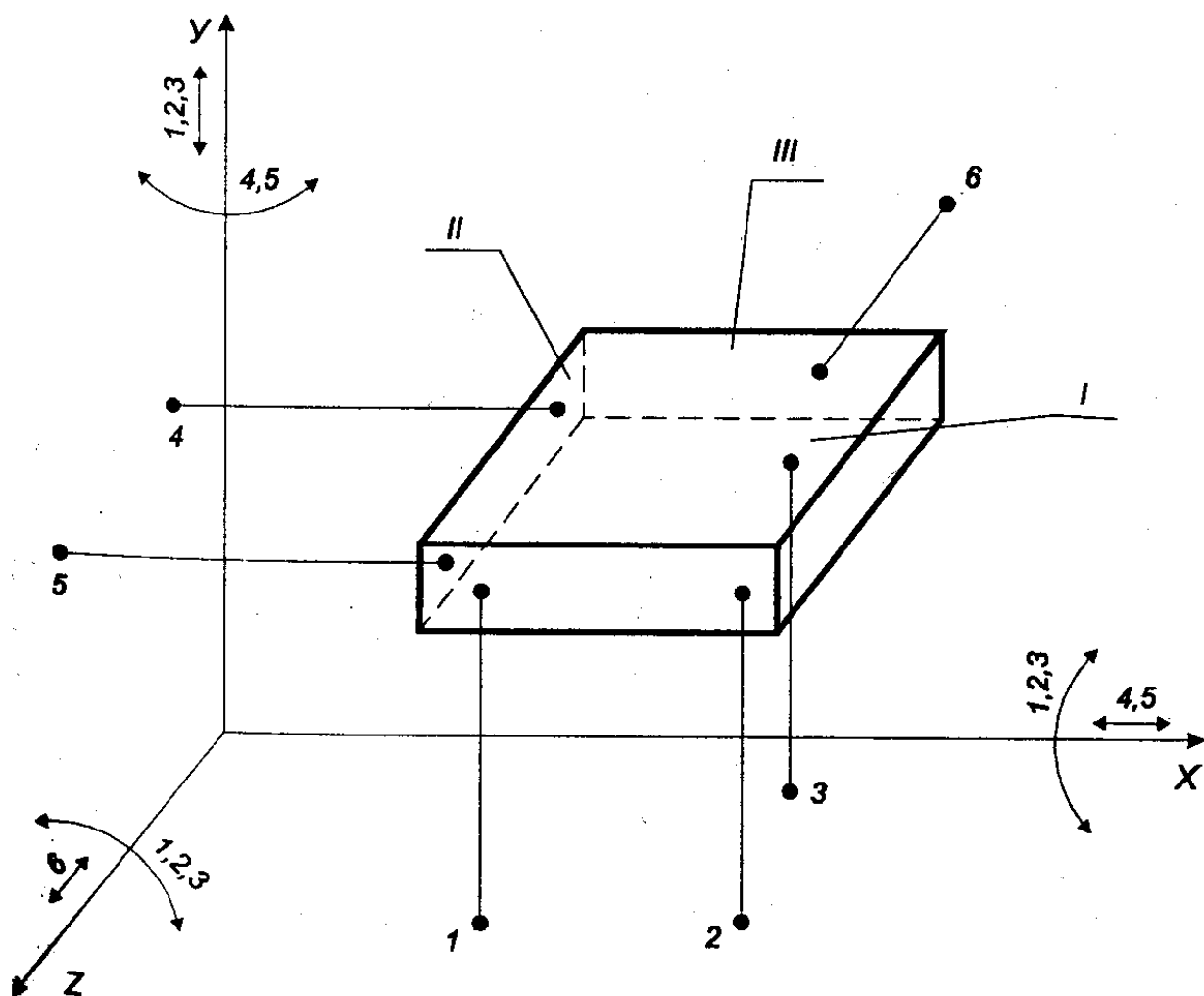


Рис.2.9. Комплект баз

Установочная база – база, лишаящая заготовку или изделие трех степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей (рис.2.10,е).

Направляющая база – база, лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси (рис.2.10,е).

Опорная база – база, лишаящая заготовку или изделие одной степени свободы: перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси (рис. 2.10,е).

Двойная направляющая база – база, лишаящая заготовку или изделие четырех степеней свободы: перемещения вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей (рис.2.10,г).

Двойная опорная база – база, лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы: перемещения вдоль двух координатных осей (рис.2.10,д).

Скрытая база – база заготовки или изделия в виде воображаемой плоскости, оси, точки (рис. 2.10,е).

Явная база - база заготовки или изделия в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок (рис. 2.10,а).

Опорная точка – точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделия с избранной системой координат (рис.2.10,е).

П р и м е ч а н и я :

1.Для обеспечения неподвижности заготовки или изделия в избранной системе координат на них необходимо наложить шесть двусторонних геометрических связей, для создания которых необходим комплект баз.

2. Если в соответствии со служебным назначением изделие должно иметь определенное число степеней свободы, то соответствующее число связей снимается.

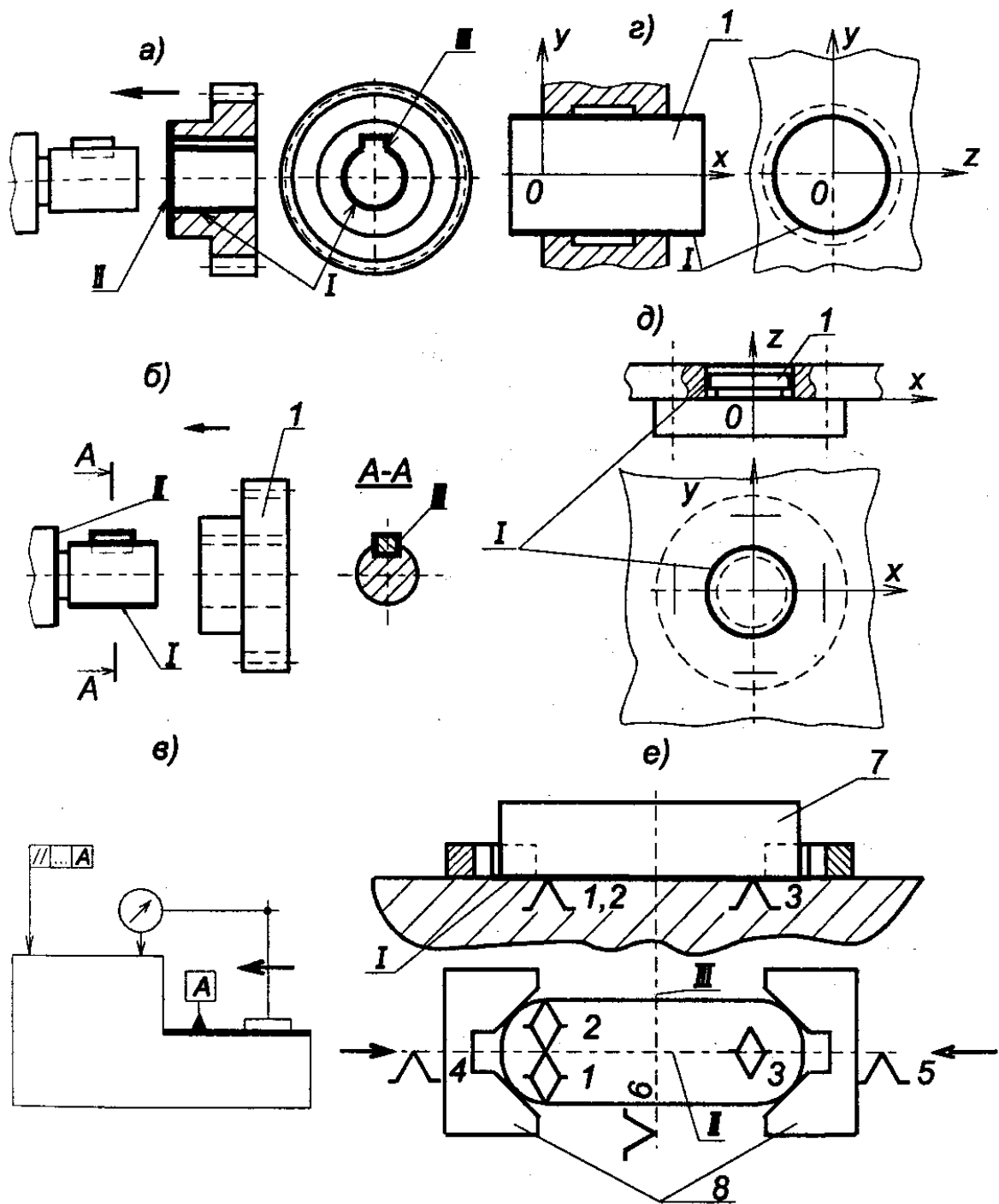


Рис.10. Виды баз: а – основные базы шестерни (I, II, III); б – вспомогательные базы вала (I, II, III) с присоединяемой деталью (1); в – измерительная база (A); г – двойная направляющая база (I) детали (1); д – двойная опорная база (I) детали (1); е – установочная явная база (I) заготовки (7), направляющая скрытая база (II), опорная скрытая база (III), 1...6 – опорные точки, 8 – губки самоцентрирующих тисков

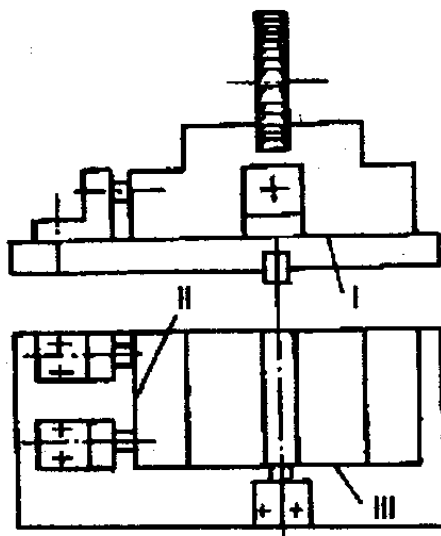


Рис.2.11. Технологические базы

Схема базирования – схема расположения опорных точек на базах заготовки или изделия.

Примечания:

1. Все опорные точки на схеме базирования обозначаются условными знаками и порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагается наибольшее количество опорных точек.

2. При наложении в какой-либо проекции опорной точки на другую, изображается одна точка и около нее проставляются номера совмещенных точек.

3. Число проекций заготовки или изделия на схеме базирования должно быть достаточным для представления о размещении опорных точек.

Погрешность базирования – отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от требуемого. Однако необходимо особо подчеркнуть, что погрешность базирования имеет место только при работе на настроенных станках, т.е. когда партия заготовок обрабатывается при неизменном (заранее установленном) относительном положении инструмента и заготовок.

Закрепление – приложение сил и пар сил к заготовке или изделию для обеспечения их положения, достигнутого при базировании.

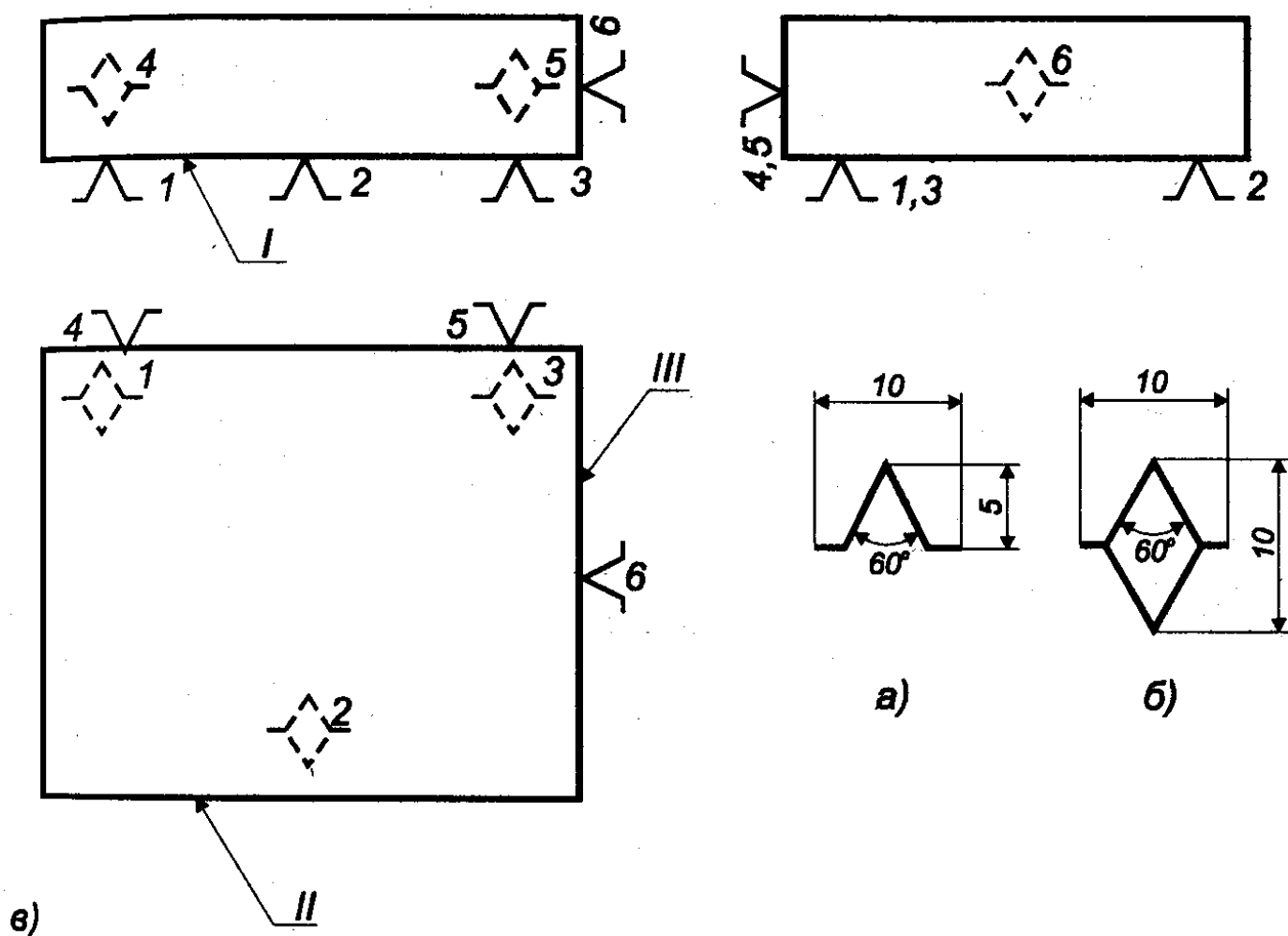


Рис.2.12. Условные изображения опорных точек на видах: а) - спереди и сбоку; б) - в плане; в) - схема базирования призматической детали в соответствии с комплектом баз, представленным на рис.2.9.

Установка – процесс базирования и закрепления заготовки или изделия.

Погрешность установки – отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при установке от требуемого.

Выбор технологических баз имеет цель наметить как сами базы, так и порядок их смены (если это необходимо). От правильности решения вопроса о технологических базах в значительной степени зависят: точность взаимного расположения обрабатываемых поверхностей, точность размеров, степень сложности и конструкция приспособлений, производительность обработки.

Исходными данными для выбора баз являются: чертеж детали со всеми необходимыми требованиями, вид и точность заготовки, условие расположения и работы детали в машине.

Основные принципы, которыми целесообразно руководствоваться при выборе технологических баз.

1. Использовать принцип совмещения баз, когда в качестве технологических баз принимают основные, т.е. конструкторские базы, используемые для определения положения детали в изделии. В случае несовпадения конструкторских и технологических баз, возникают погрешность базирования и необходимость перерасчета допусков, заданных конструктором в сторону их ужесточения. При этом рассматриваются и решаются технологические размерные цепи.

Погрешность базирования равна сумме погрешностей размеров, соединяющих конструкторские и технологические базы. Формулы для расчета погрешности базирования для некоторых схем установки приведены на рис.2.12. Для других схем формулы приведены в справочниках технолога. Следует отметить, что погрешность базирования (как, впрочем, и любая другая погрешность) рассчитывается для конкретных размеров.

Погрешность базирования равна нулю в следующих случаях:

- при совмещении технологических баз с конструкторскими (рис.2.14);
- для размеров, получаемых мерным инструментом или блоком инструментов;
- для диаметральных размеров;

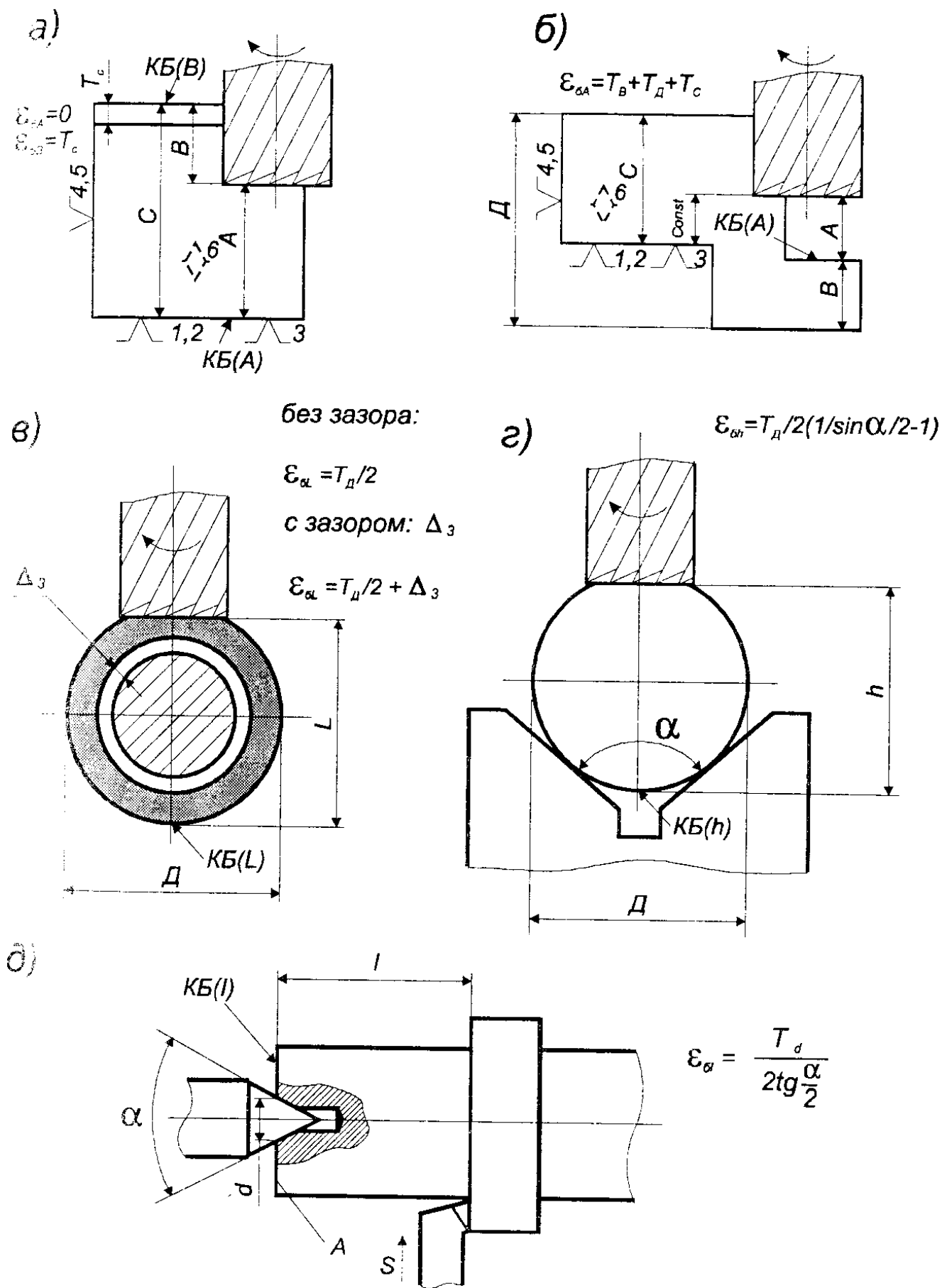


Рис. 2.13. Погрешности базирования при различных схемах установки: а), б) – на плоские поверхности; в) – на оправку; г) – в призму; д) – в центрах

- при работе методом пробных промеров и рабочих ходов, т.е. когда на-стройка положения инструмента производится для каждой заготовки (случай работы на ненастроенном станке).

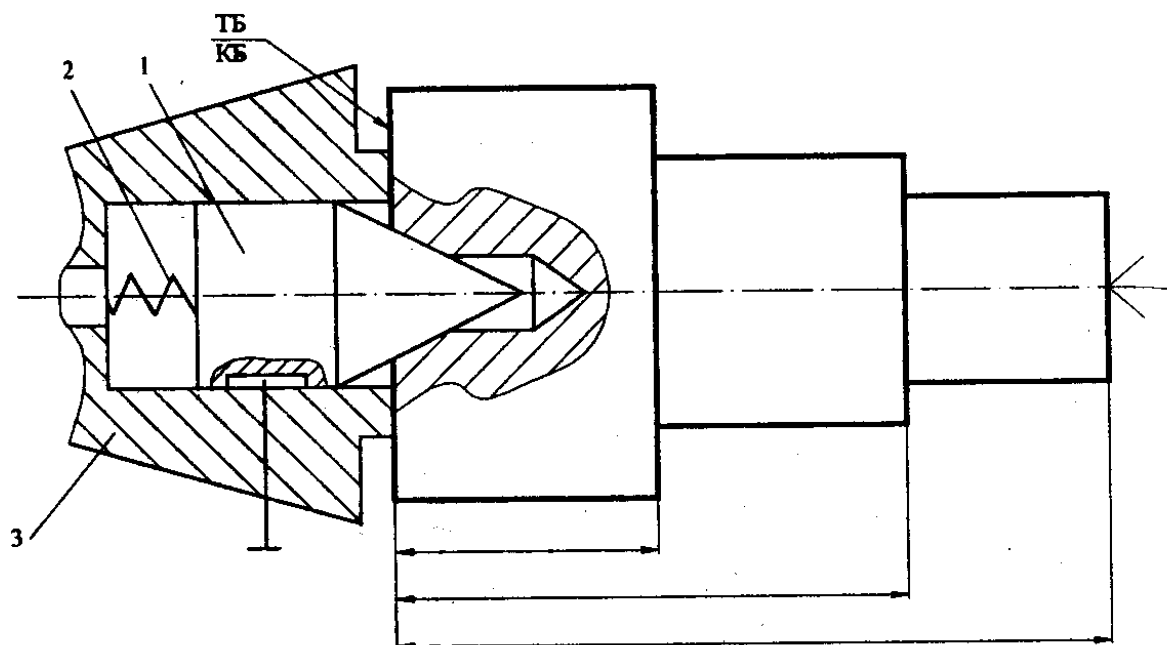


Рис.2.14. Схема плавающего центра

2. Соблюдать принцип постоянства базы, т.е. использовать на всех основных операциях одни и те же базы. Для выполнения этого принципа часто создают базы, не имеющие конструкторского назначения (например, центровые гнезда у валов и др.).

3. Базы должны обеспечивать хорошую устойчивость и надежность установки заготовки.

Основные рекомендации о порядке выбора баз и о задачах, решаемых при этом, представлены в табл.2.1.

Таблица 2.1

Порядок выбора баз	Рекомендации по выбору баз	Задачи, решаемые правильным выбором баз
Выбор баз для завершающих операций техпроцесса	1. При анализе чертежа найти поверхность и элементы, относительно которых задано и наиболее строго лимитировано положение большинства других поверхностей и элементов. Как правило, именно эти поверхности и элементы, обозначенные на чертеже знаком, принимаются за базы.	1. Применение схемы установки, соответствующей положению детали в изделии в процессе эксплуатации, исключаяющей появление погрешности базирования и обеспечивающей выполнение конструкторских требований с наибольшей степенью приближения.
Выбор для первой операции	1. Поверхности остающиеся необработанными (черные поверхности) и связанные размерами с обработанными поверхностями, принимаются как базы на первой операции.	1. Обеспечивается правильность взаимного расположения системы обработанных поверхностей детали относительно необработанных. 2. Подготавли-

	<p>2. Элементы, образующие базы на 1-ой операции.</p> <p>3. Поверхности, принимаемые в качестве баз должны иметь достаточные размеры, более высокую степень точности и наименьшую шероховатость.</p> <p>4. На поверхностях, принимаемых в качестве баз, не должны быть расположены прибыли, литники, швы.</p> <p>5. Необработанные поверхности в качестве баз должны использоваться только один раз на первой операции.</p>	<p>ваются базы для дальнейших операций.</p> <p>3. Обеспечиваются возможно малые и равномерные припуски.</p>
Выбор баз для промежуточных операций	Базы должны быть связаны с обрабатываемой поверхностью кратчайшей размерной цепью.	1. Подготовка баз для заключительных операций.

Материализация схемы базирования заключается в выборе типа опор, их количества, и расположения относительно заготовки в соответствии со схемой базирования, разрабатываемой технологом.





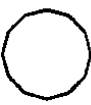

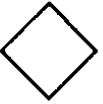
Конструктором выбирается также тип и место расположения зажимов. При разработке схемы установки используются условные обозначения по ГОСТ 3.1107-81. "Графические обозначения опор, зажимов и установочных устройств".

Схема базирования является техническим заданием на проектирование установочного приспособления. При этом на операционном эскизе на поверхностях и элементах заготовки могут указываться как опорные точки по ГОСТ 21495-76*, так и условные обозначения по ГОСТу 3.1107-81.

Основные условные обозначения по ГОСТу 3.1107-81 приведены ниже.

Опора	Обозначение опоры на видах		
	спереди	сверху	снизу
Неподвижная			
Подвижная			
Плавающая			
Регулируемая			

Условные обозначения формы рабочей поверхности опор и зажимов

плоская		призматическая	
сферическая		коническая	
цилиндрическая		трехгранная	
ромбическая			

В качестве примера на рис.2.15 приведены возможные конструкции опор различными формами рабочих поверхностей.

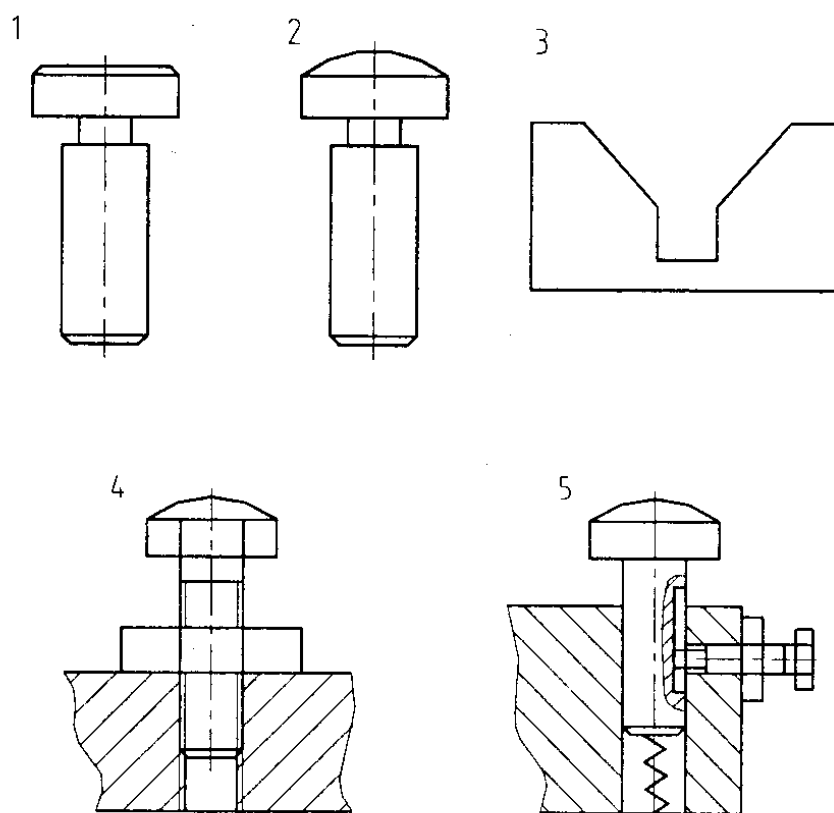
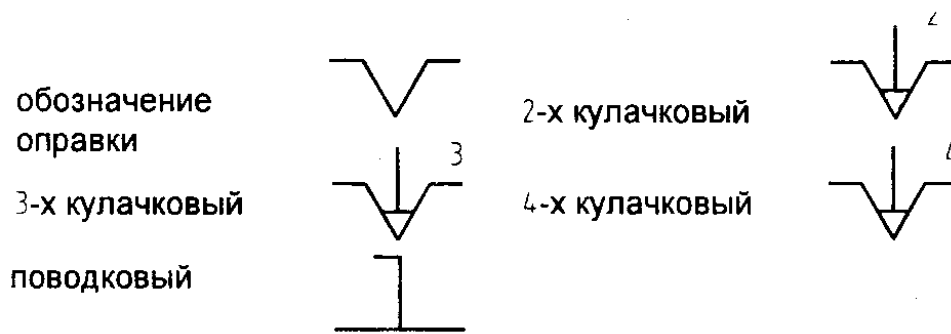
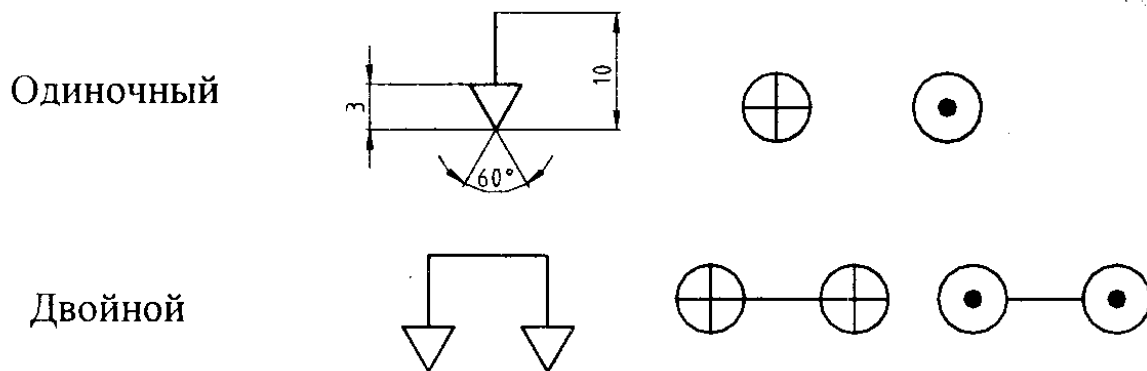


Рис.2.15. Конструкции опор: 1- неподвижные с плоской рабочей поверхностью; 2- неподвижные со сферической рабочей поверхностью; 3- неподвижные с призматической рабочей поверхностью; 4- подвижные регулируемые со сферической рабочей поверхностью; 5- подвижные регулируемые, плавающие со сферической поверхностью

Оправки и патроны



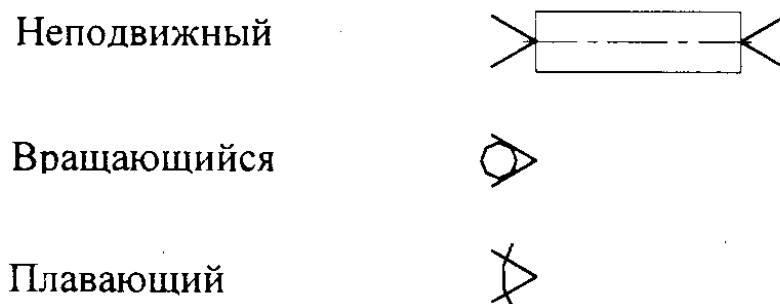
Условные обозначения зажимов



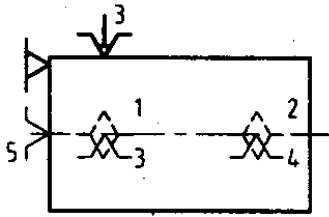
Условные обозначения устройств зажимов

Пневматические – Р; Гидравлические – Н; Электрические – Е;
Магнитные – М; Электромагнитные – ЕМ.

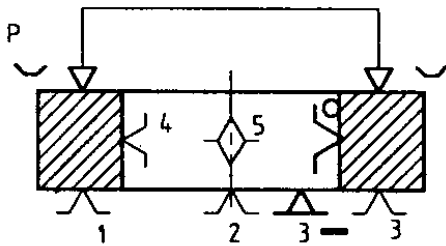
Условные обозначения центров



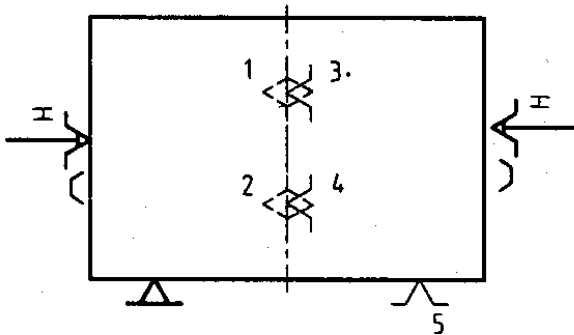
Некоторые примеры совмещенных схем базирования и установки приведены ниже на рисунках.



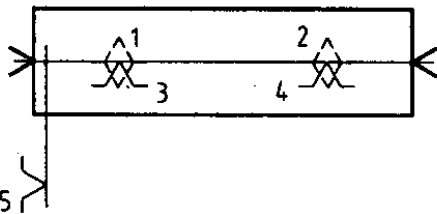
Установка вала в трехкулачковый патрон.



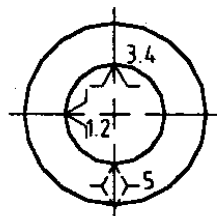
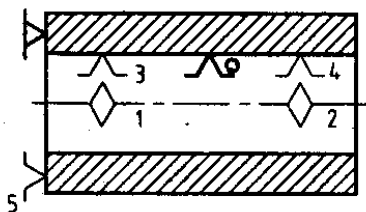
Установка кольца на три жёсткие опоры с плоской поверхностью, жёсткую оправку, 2^{ым} зажимом со сферическими поверхностями, энергия пневматическая.



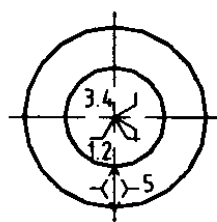
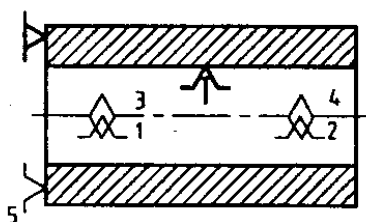
Установка в гидравлических самоцентрирующих тисках с призматическими губками.



Установка в жёстких центрах.



Установка втулки на жесткую оправку с зазором.



Установка втулки на самоцентрирующую оправку.

Погрешность закрепления ε_3

Погрешность закрепления ε_3 возникает из-за неустойчивости смещений отдельных заготовок под действием силы зажима. Погрешность закрепления численно равна разности предельных смещений измерительной базы в направлении получаемого размера под действием силы зажима заготовки.

Схема появления погрешности закрепления при обработке углового паза иллюстрируется рис.2.16.

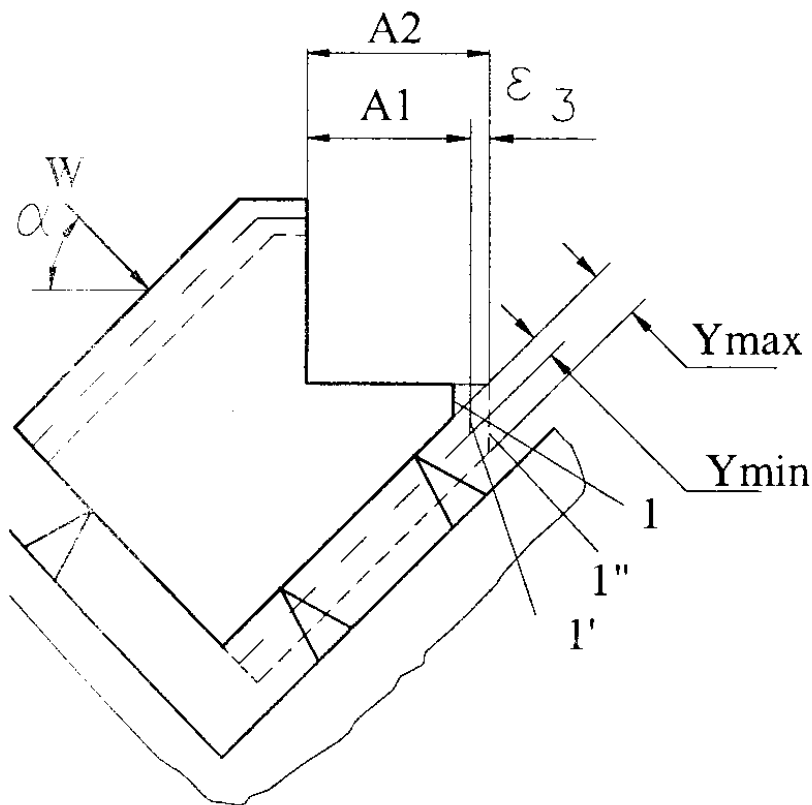


Рис.2.16. Схема появления погрешности закрепления

настроенном станке появляется погрешность закрепления.

$$\varepsilon_3 = (Y_{\max} - Y_{\min}) \cos \alpha,$$

где α - угол между направлением действия силы зажима и направлением получаемого размера. При расчете погрешности ε_3 учитываются, как правило, только

Под действием силы зажима W измерительная база 1 смещается. В силу различных причин, о которых будет сказано ниже, это смещение будет разным для каждой заготовки. Положение измерительной базы, соответствующее наименьшему смещению

обозначено $1'$, а наибольшему - $1''$. В результате этого, при обработке заготовки на

ко смещения из-за контактных деформаций в стыках заготовка - установочные элементы. Величина этих смещений определяется по экспериментальной зависимости:

$$y = cN_w^n,$$

где N_w - сила зажима, приходящаяся на опору (нагрузка на опору); c - коэффициент, характеризующий вид контакта, материал, шероховатость поверхности и верхний слой заготовки; n - показатель степени (определяется экспериментально).

Экспериментальные зависимости между нормальной нагрузкой N_w и смещением y для различных опор приведены в справочной литературе. В этих зависимостях коэффициентами C являются выражения в скобках, а n - показатели степени при N_w .

Погрешность положения заготовки $\epsilon_{\text{пр}}$,

вызываемая неточностью приспособления

Эта погрешность возникает из-за неточности изготовления и сборки деталей приспособления, их износа и ошибок установки приспособления на станке.

Погрешность $\epsilon_{\text{пр}}$ численно равна разности предельных состояний измерительной базы относительно установленного на размер инструмента, возникающей вследствие перечисленных причин.

В общем случае погрешность положения заготовки, вызываемая неточностью приспособления рассчитывается по формуле:

$$\epsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\epsilon_{\text{yc}}^2 + \epsilon_{\text{из}}^2 + \epsilon_{\text{ду}}^2 + \epsilon_{\text{и}}^2 + \epsilon_{\text{с}}^2},$$

где ϵ_{yc} - погрешность установочных элементов, вызываемая неточностью их изготовления и сборки;

$\varepsilon_{нэ}$ - погрешность положения направляющих элементов, вызываемая неточностью их изготовления и сборки;

$\varepsilon_{дз}$ - погрешность, возникающая в результате неточности изготовления и сборки делительных устройств;

$\varepsilon_{и}$ - погрешность, возникающая в результате износа деталей приспособления (в основном - установочных и направляющих элементов);

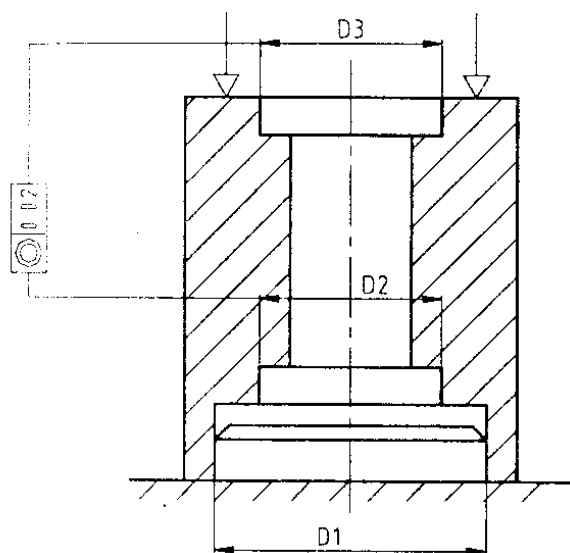
$\varepsilon_{с}$ - погрешность установки приспособления на станке.

В качестве примера рассмотрим расчет погрешности установки, опреде-

ляющей несоосность отверстий $\varnothing D_2$ и D_3 для детали, приведенной на рис.

Обработка производится в следующем порядке:

На первом этапе за один установ растачиваются отверстия $\varnothing D_1$ и D_2 . Затем при базировании на жёсткий палец отверстием $\varnothing D_1$ обрабатывается поверхность D_3 .



В данном случае погрешность базирования равна несоосности между отверстиями D_2 и D_1 , погрешность закрепления отсутствует, наибольшая часть погрешности составляет максимально возможный зазор между пальцем и отверстием.

2.3.2. Упругие деформации технологической системы

Силы резания, закрепления, инерционные силы, возникающие при обработке на металлорежущих станках, передаются на упругую технологическую систему (СПИД – станок, приспособление, режущий инструмент, изготавливаемая деталь), вызывая ее деформацию. Эта деформация складывается из деформаций основных деталей системы, деформаций стыков, а так же деформаций соединительных деталей (болты, клинья и др.). Наибольшее влияние на величину упругих деформаций системы, как правило, оказывают деформации стыков и соединительных деталей.

Способность упругой системы оказывать сопротивление действию сил, стремящихся ее деформировать, характеризует ее жесткость.

Перемещение звеньев упругой системы происходит в направлении действия сил и вызывает изменение взаимного расположения режущего инструмента и обрабатываемой детали, что приводит к возникновению погрешностей обработки.

Упругие деформации технологической системы в ряде случаев являются определяющими с точки зрения точности обработки, так как погрешности, обусловленные ими, могут достигать 20-80% от суммарной погрешности изготовления. Кроме того, жесткость технологической системы оказывает большое влияние на виброустойчивость системы и на производительность механической обработки.

При недостаточной жесткости технологической системы нельзя получить большой производительности и высокой точности обработки.

Наиболее существенное влияние на размер обрабатываемой детали оказывают перемещения звеньев технологической системы в направлении, нормальном к обрабатываемой поверхности, которые в основном обусловлены действием составляющей силы резания P_y . Поэтому в технологии машиностроения жесткостью технологической системы принято называть отно-

шение составляющей силы резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, к смещению лезвия инструмента относительно детали, отсчитываемому в том же направлении, при действии всех составляющих силы резания.

Жесткость можно определить по формуле:

$$j = \frac{dP_y}{dy}$$

Как показали эксперименты, с изменением нагрузки жесткость несколько изменяется и поэтому на практике чаще всего определяют среднюю жесткость в диапазоне эксплуатационных нагрузок от нуля до $P_{y\max}$

$$j = \frac{P_y}{y}$$

Необходимо отметить, что такой метод расчета жесткости (только по P_y) принят для упрощения расчетов, так как на деформации в направлении нормали к обработанной поверхности оказывают некоторое влияние также и составляющие силы резания P_z и P_x . Действие этих составляющих обычно учитывается тем, что практически при испытании жесткости нагружение системы производят силой, совпадающей по направлению с суммарной силой резания, хотя расчет жесткости и ведут только по составляющей P_y

Для упрощения технологических расчетов часто пользуются понятием податливости. П о д а т л и в о с т ь ю называется величина, обратная жесткости, выраженная.

$$\omega = \frac{1}{j}$$

Исключительно большое значение жесткости при механической обработке привело к разработке ряда методик расчета и экспериментальной проверки жесткости отдельных составляющих технологической системы.

Существует несколько методов определения жесткости металлорежущих станков или их отдельных узлов. Основными являются следующие методы:

- 1) статический (испытания на неработающем станке);
- 2) производственный (испытания при обработке заготовки);
- 3) динамический (испытания в процессе колебаний).

Сущность статического метода определения жесткости металлорежущих станков заключается в том, что узлы станка с помощью специальных приспособлений и динамометра нагружают силой воспроизводящей действие силы резания, и одновременно измеряют перемещение отдельных узлов станка. Силы можно прикладывать в направлении действия одной (P_y), двух (P_y и P_z) и трех (P_y , P_z и P_x) составляющих силы резания. Перемещения узлов станка измеряются в направлении, нормальном к обрабатываемой поверхности, так как эти перемещения имеют основное значение и почти полностью определяют погрешность обработки, обусловленную упругими деформациями технологической системы.

При нагружении узлов станка силой, действующей в направлении одной составляющей силы резания P_y , по принятой в технологии машиностроения терминологии определяется не жесткость, а коэффициент жесткости J и, соответственно, коэффициент податливости W , а при приложении двух и трех составляющих силы резания определяется жесткость станка и податливость ω

Нагружение узлов станка силой, воспроизводящей действие только одной составляющей силы резания P_y , хотя и упрощает испытание, но в ряде случаев не отражает действительных условий работы станка.

На рис.2.17 линиями 1-1 и 2-2 показаны траектории возможных поворотов суппорта с резцом под воздействием моментов, создаваемых силами P_z и P_x соответственно.

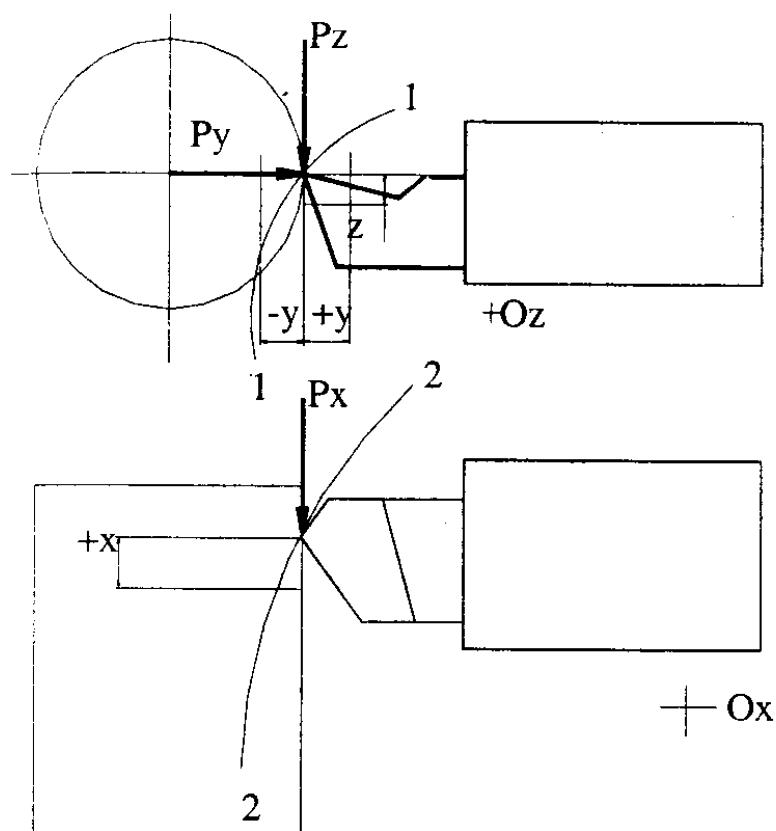


Рис.2.17 Возможные перемещения в технологической системе под действием трех составляющих силы резания

Как видно из рисунка суммарное перемещение y под воздействием сил и моментов может быть отрицательным, т.е. резец может врезаться в обрабатываемую заготовку.

В этом случае жесткость называется «отрицательной».

Явление «отрицательной» жесткости используется при создании адаптивных

систем управления точностью и как средство борьбы с вибрациями.

Так как в большинстве узлов металлорежущих станков составляющая силы резания P_x , действующая в направлении подачи, оказывает незначительное влияние на жесткость, то часто для упрощения испытания узел станка нагружают силой, совпадающей с направлением равнодействующей лишь от двух составляющих силы резания P_y и P_z .

При определении жесткости станков на заводах обычно узлы станка нагружают максимальной эксплуатационной нагрузкой и фиксируют произошедшие при этом перемещения узлов станка. Жесткость узла станка в этом случае определяется по формуле:

$$j = \frac{P_{y \max}}{y_{\max}}$$

Где $P_{y \max}$ - максимальная эксплуатационная величина составляющей нагрузки, действующей в направлении, нормальном к обработанной поверхности; y_{\max} - максимальное значение перемещения узла станка в том же (нормальном) направлении.

При испытаниях узлы станка нагружают ступенчато постепенно возрастающей нагрузкой и одновременно регистрируют перемещение в направлении y . Разгрузку производят в обратном порядке, также с регистрацией перемещений.

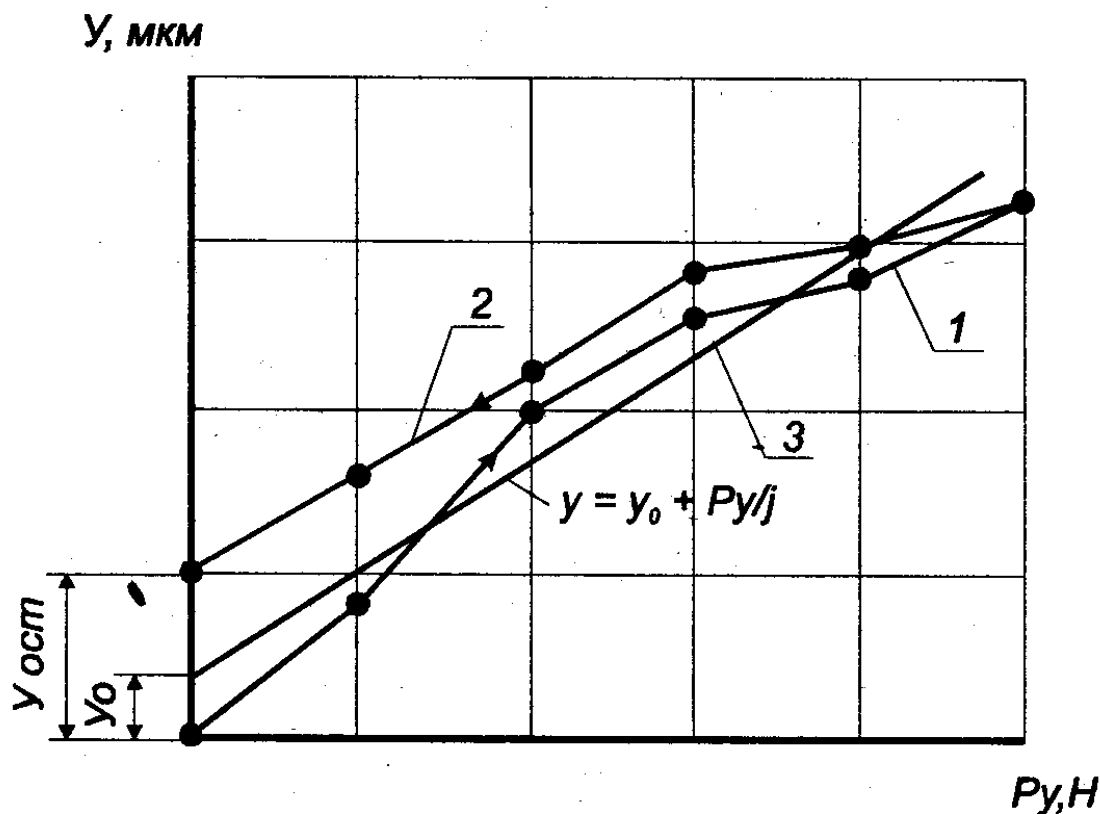


Рис.2.18. Упругие перемещения при статическом определении жесткости: 1 — нагрузочная ветвь; 2 — разгрузочная ветвь; 3 — аппроксимирующая прямая

По полученным результатам испытания строят график «нагрузка — перемещение», откладывая по оси абсцисс значение нагрузки P_y , действующей в

направлении нормальной составляющей силы резания, а по оси ординат – перемещения y , измеряемые в том же направлении. Как правило, нагрузочная ветвь графика 1 не совпадает с разгрузочной 2; они образуют петлю гистерезиса. Площадь петли гистерезиса характеризует величину энергии, затраченной на преодоление сил трения за один полный цикл.

Необходимо отметить, что ввиду действия сил трения и зависимости жесткости от нагрузки ветви графика не являются прямой линией и жесткость на различных участках графика будет различной. Это представляет неудобства при расчетах.

Для определения средней жесткости узла нагрузочную ветвь графика обычно спрямляют, то есть опытную ломаную линию аппроксимируют линейной зависимостью. Коэффициенты уравнения определяются по методу наименьших квадратов.

Иногда нагрузочная ветвь графика «нагрузка – перемещение» имеет один или несколько резко выраженных перегибов. Это свидетельствует о том, что жесткость испытываемого узла имеет различные значения в различных диапазонах нагрузки. В этом случае жесткость узла определяют на отдельных спрямленных участках (до точек перегиба) и получают два или несколько значений жесткости узла станка для отдельных диапазонов нагрузки.

Получив значения жесткости отдельных узлов, определяют суммарную жесткость станка, исходя из схемы действия сил резания на узлы станка и суммирования перемещений отдельных узлов, приведенных к лезвию режущего инструмента (к зоне обработки).

В ряде схем обработки суммарная жесткость станка переменна и изменяется в зависимости от изменения координат обработки.

Методом статического нагружения можно испытывать не только жесткость узлов станка в целом, но и жесткость отдельных соединений и стыков. Для испытания жесткости металлорежущих станков методом статического

приложения нагрузки существует много приборов, которые состоят из нагружающего устройства с динамометром и устройства для измерения деформаций.

Рассмотренный выше статический метод определения жесткости станков имеет существенные недостатки: он сложен и требует длительного испытания.

Кроме того, жесткость станка, определяемая в статическом состоянии, лишь приблизительно характеризует упругие перемещения станка в процессе работы. Поэтому разработаны методы испытания станков в производственных условиях (в процессе обработки). Производственный метод испытания жесткости станков, разработанный кафедрой технологии машиностроения СПбГТУ (ЛПИ), основан на том, что при обработке заготовки с неравномерным припуском (изменяющаяся глубина резания t) форма заготовки (эксцентricность, ступенчатость) копируется на обработанной поверхности (детали). Степень копирования тем больше, чем меньше жесткость технологической системы. При принятых условиях проведения опыта влияние всех факторов, кроме жесткости станка, практически исключается.

Если экспериментально определяется жесткость не станка, а его отдельных узлов, то можно по жесткости узлов определить и жесткость всего станка. Для определения жесткости станка в целом необходимо упругие деформации отдельных его узлов привести к зоне обработки и просуммировать. В том случае, когда жесткость узлов станка не зависит от координаты обработки, это производится простым суммированием перемещений отдельных узлов. Несколько сложнее определение жесткости станка тогда, когда жесткость его узлов, а значит и станка в целом, зависит от координаты обработки.

Рассмотрим этот случай на примере определения жесткости токарного станка.

На токарном станке суммарное перемещение инструмента относительно обрабатываемой детали, установленной в центрах, складывается из перемещений передней бабки, суппорта и задней бабки.

На рис.2.19 изображена принципиальная схема нагрузки и упругих пере-

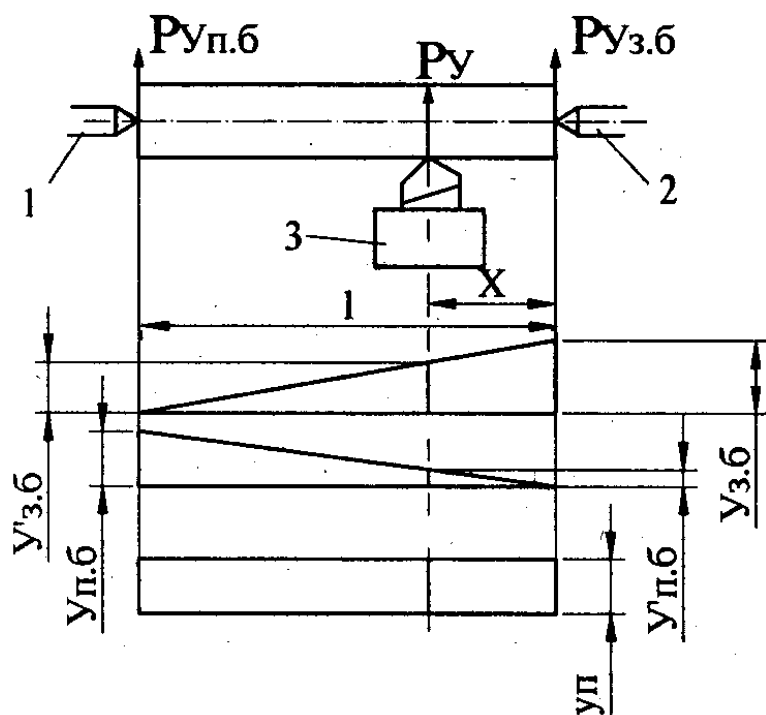


Рис.2.19. Схема нагрузки и упругих перемещений узлов станка при обработке вала в центрах: 1 – передняя бабка; 2 – задняя бабка; 3 - суппорт

мещений узлов токарного станка в процессе обработки вала в центрах.

Из приведенной схемы видно, что при изменении координаты зоны резания x , то есть при перемещении точки приложения нагрузки по длине обрабатываемой детали, изменяется величина суммарного

перемещения узлов станка, а, следовательно, и величина суммарной податливости и жесткости станка.

Суммарное перемещение узлов токарного станка складывается из следующих слагаемых:

$$y_{ст} = y_{суп} + y'_{з.б.} + y'_{п.б.},$$

где

$$y'_{з.б.} = y_{з.б.} \frac{l-x}{l}; y'_{п.б.} = y_{п.б.} \frac{x}{l};$$

$$y_{з.б.} = P_{y_{з.б.}} \omega_{з.б.} \quad y_{п.б.} = P_{y_{п.б.}} \omega_{п.б.} \quad y_{суп} = P_y \omega_{суп}$$

$$P_{y_{з.б.}} = P_y \frac{l-x}{l}; P_{y_{п.б.}} = P_y \frac{x}{l};$$

Подставляя полученные значения в формулу для суммарного перемещения узлов токарного станка, получаем:

$$y_{cm} = P_y \omega_{cyn} + P_y \omega_{з.б.} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + P_y \omega_{н.б.} \left(\frac{x}{l} \right)^2$$

Подставляя вместо y_{cm} его значение $y_{cm} = P_y \omega_{cm}$ и произведя сокращения, получаем выражения для определения податливости и жесткости токарного станка в зависимости от координаты обработки:

$$\omega_{cm} = \omega_{cyn} + \omega_{з.б.} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + \omega_{н.б.} \left(\frac{x}{l} \right)^2$$

$$\frac{1}{i_{cm}} = \frac{1}{i_{cyn}} + \frac{1}{i_{з.б.}} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + \frac{1}{i_{н.б.}} \left(\frac{x}{l} \right)^2$$

Для возможности сравнения токарных станков по жесткости иногда определяют среднюю жесткость (или податливость) станка как жесткость при значении координаты зоны обработки $x = \frac{l}{2}$, то есть при положении резца в середине обрабатываемой детали.

В этом случае:

$$\omega_{cm} = \omega_{cyn} + \frac{1}{4} (\omega_{з.б.} + \omega_{н.б.})$$

$$\frac{1}{i_{cm}} = \frac{1}{i_{cyn}} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{i_{з.б.}} + \frac{1}{i_{н.б.}} \right)$$

В общем случае, при расчете суммарных упругих перемещений технологической системы необходимо учитывать также деформации самой заготовки

$y_{заг}$. В частности, в рассматриваемом случае при $x = \frac{l}{2}$ эта деформация будет

равна:

$$y_{заг} = \frac{P_y l^3}{48 EJ}$$

где E – модуль упругости материала заготовки;

J – момент инерции сечения заготовки. Для круглого сечения $J = 0,05 D^4 \text{ мм}^4$.

Величина деформации заготовки зависит от схемы ее закрепления. При консольном закреплении в патроне токарного станка наибольшее ее отжатие имеет место на правом свободном конце:

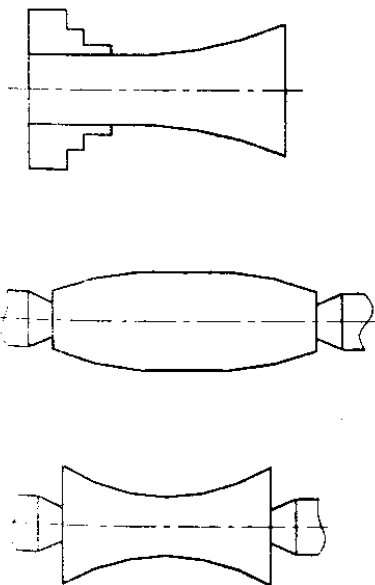
$$y_{\max} = \frac{P_y l^3}{3 EJ}$$

где l – вылет детали, мм.

При поджатии заготовки в патроне задним центром отжатие значительно уменьшается и может быть рассчитано по формуле:

$$y_{\max} = \frac{P_y l^3}{110 EJ}$$

На рис.2.20 показаны формы деталей в осевом сечении, обусловленные отжатиями заготовки и станка.



Жесткость и деформации звеньев технологической системы может быть рассчитана с использованием формул сопротивления материалов.

При этом большое влияние на перемещение в технологической системе оказывают контактные деформации стыков.

Рассмотрим пример расчета контактных деформаций стыка салазок суппорта с продольными направляющими станка (рис.2.21).

Рис.2.20. Возможные формы детали в осевом сечении

При расчете принимаем следующие допущения:

- а) материал суппорта не деформируется;
- б) деформации поверхностных слоев пропорциональны контактным напряжениям σ ; $y = k\sigma$
- в) контактные напряжения и, следовательно, деформации по длине направляющих распределяются по линейному закону;
- г) расчет ведем по средним контактным напряжениям.

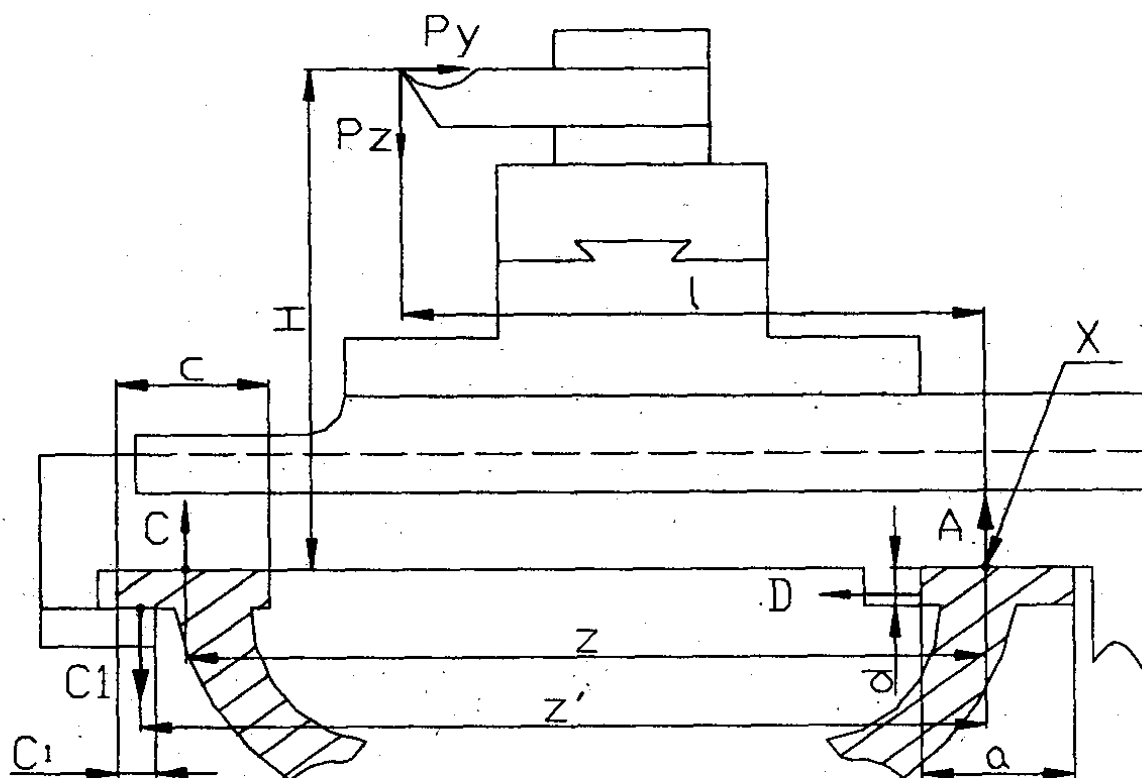


Рис.2.21. Схема сил, действующих на суппорт при точении

Деформации станка в значительной степени зависят от деформации стыков. Все деформации с целью оценки их влияния на размер детали необходимо приводить к вершине резца.

Момент внешних сил равен $M_x = P_z \cdot l - P_y \cdot H$. В зависимости от соотношения величин H и l момент M_x может быть больше "0" и меньше "0".

При $M_x > 0$ имеют место реакции опор A, C, D .

При $M_x < 0$ имеют место реакции опор A, C₁, Д.

Сумма проекций всех сил на ось ординат при $M_x > 0$: $P_z - A - C = 0$.

Сумма проекций всех сил на ось ординат при $M_x < 0$: $P_z + C_1 - A = 0$.

Уравнение моментов относительно точки "Х" опорных реакций равны:

$$\text{при } M_x > 0 \quad M_x = C \cdot Z$$

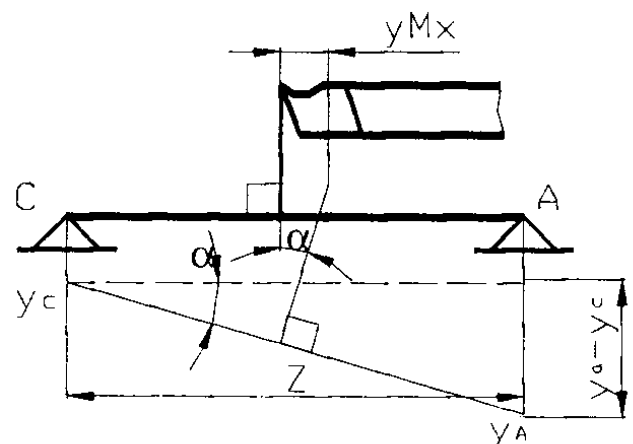
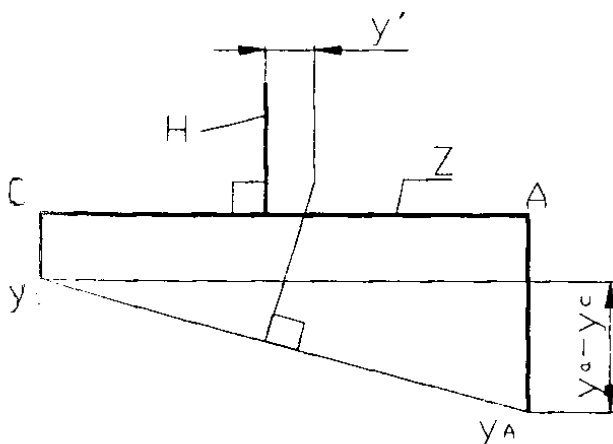
$$\text{при } M_x < 0 \quad M_x = C_1 \cdot Z'$$

Из полученных шести уравнений определяем величины опорных реакций определяем величины опорных реакций.

Зная площади опор суппорта рассчитаем величины средних контактных

$$\text{напряжений: } \sigma_A = \frac{A}{B \cdot A}; \sigma_C = \frac{C}{B \cdot C}; \sigma_{C_1} = \frac{C_1}{B \cdot C_1}; \sigma_D = \frac{D}{B \cdot d}.$$

После этого рассчитаем деформации вершины резца в нормальном направлении:

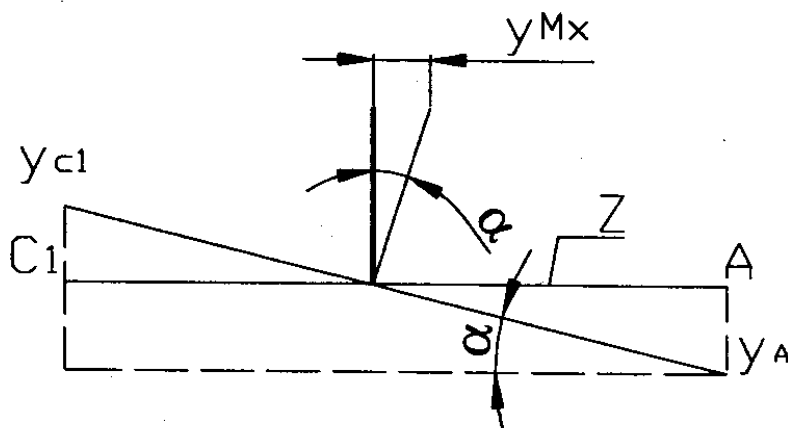


$$y_{рез} = y_D + (y_A - y_C) \cdot \frac{H}{Z},$$

$$y_{рез} = \left[\sigma_D + (\sigma_A - \sigma_C) \cdot \frac{H}{Z} \right] \cdot k - \text{при } M_x > 0$$

$$y_{Mx} = H \cdot \sin \alpha \quad \sin \alpha = \frac{y_A - y_C}{Z} \quad y_{Mx} = (y_A + y_C) \cdot \frac{H}{Z}$$

при $M_x < 0$



$$y_{Mx} = H * \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{y_A + y_{C1}}{Z}$$

$$y_{Mx} = H * \frac{y_A + y_{C1}}{Z}$$

$$y_{рез} = y_D + (y_A + y_{C1}) * \frac{H}{Z},$$

$$y_{рез} = \left[\sigma_D + (\sigma_A + \sigma_{C1}) * \frac{H}{Z} \right] * k - \text{при } M_x < 0$$

Величины k даются в справочниках в зависимости от характера контактирующих пар.

Жесткость технологической системы в значительной степени определяет точность и производительность обработки резанием. Рассмотрим степень этого влияния.

Нам известно соотношение, положенное в основу производственного метода определения жесткости станков:

$$j = K_y * C_p * S^{0,75} * \frac{\Delta_3}{\Delta_\delta}, \text{ где } \frac{\Delta_3}{\Delta_\delta} = \varepsilon - \text{уточнение, т.е. во сколько раз}$$

погрешность детали меньше погрешности заготовки после одного рабочего хода.

Из опыта известно, что форма заготовки копируется на детали из-за податливости станка. Связь между погрешностями заготовки и детали выявляется из предыдущего соотношения:

$$\Delta_\delta = \frac{1}{j} * K_y * C_p * S^{0,75} * \Delta_3 - \text{обработка за один рабочий ход.}$$

Обработка за два рабочих хода после первого рабочего хода приводит к промежуточной погрешности заготовки - $\Delta_{пром}$:

$$\Delta_{пром} = \frac{1}{j} * K_y * C_P * S_1^{0,75} * \Delta_3 - \text{первый рабочий ход,}$$

$$\Delta_{\partial} = \frac{1}{j} * K_y * C_P * S_2^{0,75} * \Delta_{пром} - \text{второй рабочий ход.}$$

Перемножив эти два равенства получим:

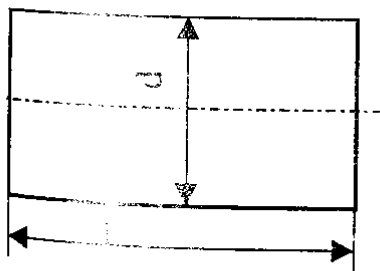
$$\Delta_{\partial} = \frac{1}{j^2} * (K_y * C_P)^2 * (S_1 * S_2)^{0,75} * \Delta_3 - \text{в два рабочих хода.}$$

Аналогично получаем зависимости для трех и более рабочих ходов.

$$\Delta_{\partial} = \frac{1}{j^3} * (K_y * C_P)^3 * (S_1 * S_2 * S_3)^{0,75} * \Delta_3 - \text{в три рабочих хода}$$

Т.о. погрешность обработки Δ_{∂} обратно пропорциональна жесткости системы при обработке в 1 рабочий ход, квадрату, кубу j и т.д. при работе в 2, 3 и т.д. рабочих хода.

Рассмотрим влияние жесткости на производительность



При токарных, расточных и др. работах время обработки равно: $T_M = \frac{l}{S * n}$ мин.

Известно, что $n = \frac{1000 * V}{\pi * d}$ об/мин.

Тогда машинное время равно $T_M = \frac{\pi * d * l}{1000 * V * S}$ мин.

Для того, чтобы оценить влияние жесткости на производительность, определим время обработки $1 \text{ дм}^2 = 10000 \text{ мм}^2$ площади единицы поверхности детали.

Тогда: $T_M = \frac{10000}{1000 * V * S} = \frac{10}{V * S}$ мин.

Из теории резания известно, что $V = \frac{C_V}{t^X * S^y}$

Тогда подставляя значение V в T_M получим:

$$T_M = \frac{10 * t^X * S^y}{C_V * S} = \frac{10 * t^X}{C_V * S^{(1-y)}}$$

Нам известно, что $j = K_y * C_P * S^{0,75} * \frac{\Delta_3}{\Delta_\partial}$; отсюда

$$S^{0,75} = j * \frac{1}{K_y * C_P} * \frac{\Delta_\partial}{\Delta_3}; \text{ или } S = \left(j * \frac{1}{K_y * C_P} * \frac{\Delta_\partial}{\Delta_3} \right)^{\frac{4}{3}}$$

Тогда машинное время получим:

$$T_M = \frac{10 * t^X}{C_V * \left(j * \frac{1}{K_y * C_P} * \frac{\Delta_\partial}{\Delta_3} \right)^{\frac{4}{3} * (1-y)}} = \frac{10 * t^X}{C_V} * \left(\frac{K_y * C_P * \Delta_3}{j * \Delta_\partial} \right)^{\frac{4}{3} * (1-y)}$$

Из уравнения видим, что T_M приблизительно обратно пропорционально жесткости системы $j_{\text{сист}}$.

Степень влияния жесткости на производительность зависит также от типа инструментального материала и этапа обработки. Так, например:

- при черновой обработке стали быстрорежущими резцами $4/3(1-y)=0,45$;
- при черновой обработке стали твердосплавными резцами $4/3(1-y)=0,8...0,87$;
- при чистовом обтачивании $4/3(1-y)=1$.

Таким образом жесткость является основным параметром, определяющим связь между точностью обработки и производительностью.

Конструктивные особенности станков в значительной степени определяют их жесткость. Рассмотрим влияние конструктивных особенностей и способов установки на жесткость станков различных типов.

Жесткость токарных станков

Жесткость токарных станков зависит от:

- 1) типоразмера станка (высота центров H);
- 2) изношенности станка, качества регулировки стыков;
- 3) схемы работы;
- 4) типа посадки патрона на шпиндель;
- 5) от отношения P_y/P_z (угла φ).

Нормативные значения статической жесткости станков приводятся в соответствующих стандартах. Эти нормативные значения устанавливаются как функции от основных размерных параметров станка. Для токарных станков в качестве основного размерного параметра принят наибольший диаметр изготавливаемой детали (D), для горизонтально-расточных станков – диаметр шпинделя (d). В качестве примера приведем нормативные характеристики статической жесткости ($H/\text{мм}$) для некоторых типов станков.

Жесткость токарных станков:

- у передней бабки $j = 1800\sqrt[3]{D}$;
- у задней бабки $j = 1400\sqrt[3]{D}$.

Жесткость токарно-револьверных станков:

- с поперечным суппортом $j = 3200\sqrt[3]{D}$;
- с револьверной головкой $j = 2600\sqrt[3]{D}$;

Жесткость горизонтально-расточных станков:

- для шпиндельной бабки $j = 2800\sqrt[3]{d}$, для $d = 80 \dots 110$ мм.

Ориентировочные данные жесткости токарных станков, находящихся в эксплуатации приведены в таблице:

Высота центров	200	250	300	400	500
$j_{ст}$ Н/мм	20000	25000	30000	40000	50000
средняя j узлов Н/мм	40000	50000	60000	80000	100000

Жесткость новых станков несколько выше.

Наибольшее влияние на жесткость станка оказывает суппорт, т.к. он имеет большое число стыков, в том числе подвижных. В зависимости от $K_y = P_y/P_z$ жесткость суппорта может быть даже отрицательной, т.е. его отжатия будут направлены на деталь, а не на рабочего.

Жесткость шпиндельного узла (передней бабки) зависит от способа посадки патрона на шпиндель. Посадка на резьбовой конец снижает его жесткость, а фланцевая посадка увеличивает ее. Обычно жесткость шпиндельного узла значительно больше жесткости суппорта. При патронных работах жесткость передней бабки и станка в целом намного ниже, чем в центрах.

Жесткость задней бабки в значительной степени зависит от вылета пиноли, качества центрального гнезда, центра (жесткого, вращающегося).

При растачивании отверстий на токарных станках их жесткость значительно понижается из-за низкой жесткости расточной скалки и стыка скалка-суппорт. В этом случае жесткость станка зависит от вылета и диаметра скалки. Деформация часто достигает половины от общей деформации технологической системы.

Жесткость расточных станков

Жесткость расточных станков зависит от:

- диаметра шпинделя;
- вылета шпинделя;
- метода работы: одноопорная скалка, двухопорная;

- зазоров в стыках (в подшипниках шпиндельного узла);
- диаметра расточной скалки.

Расточные станки обычно имеют невысокую жесткость. При растачивании усилие резания не сохраняет постоянного направления, как при растачивании на токарном станке. На расточных станках направление сил резания меняется в соответствии с угловым положением шпинделя.

Растачивание может производиться:

- 1) консольно-закрепленной борштангой;
- 2) борштангой, имеющей вторую опору в задней стойке станка;
- 3) борштангой, устанавливаемой во вращающиеся кондукторные втулки с шарнирным соединением со шпинделем.

Исследованиями установлено, что стол, стойка (колонна) расточных станков обладают большой жесткостью (80...200 тыс. Н/мм). Смещения в системе происходят в основном за счет деформаций шпиндельной бабки, причем эти деформации различны в различных направлениях.

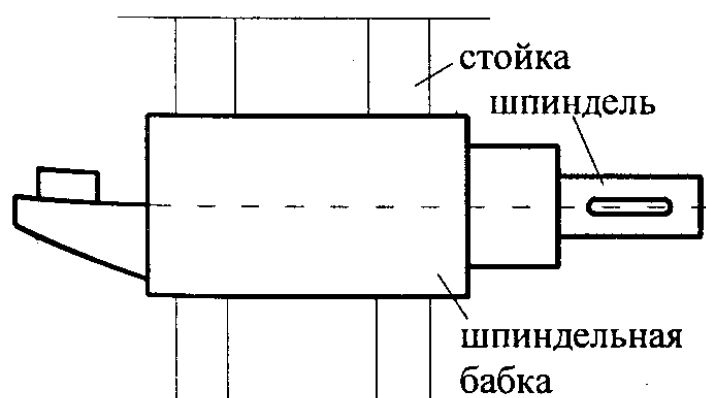


Рис.2.22. Схема расположения основных узлов расточного станка

Жесткость самой шпиндельной бабки обычно высока и деформации происходят в стыке бабка-стойка (рис.2.22). Поэтому при растачивании рекомендуется затягивать болты, крепящие шпиндельную бабку на стойке.

Жесткость расточного станка в значительной степени зависит от вылета шпинделя, который рекомендуется

выбирать минимально необходимым.

Вследствие непостоянства направления силы резания, стыки нагружаются силами переменных направлений, что приводит к различным отжатиам в каждом направлении (рис.2.23).

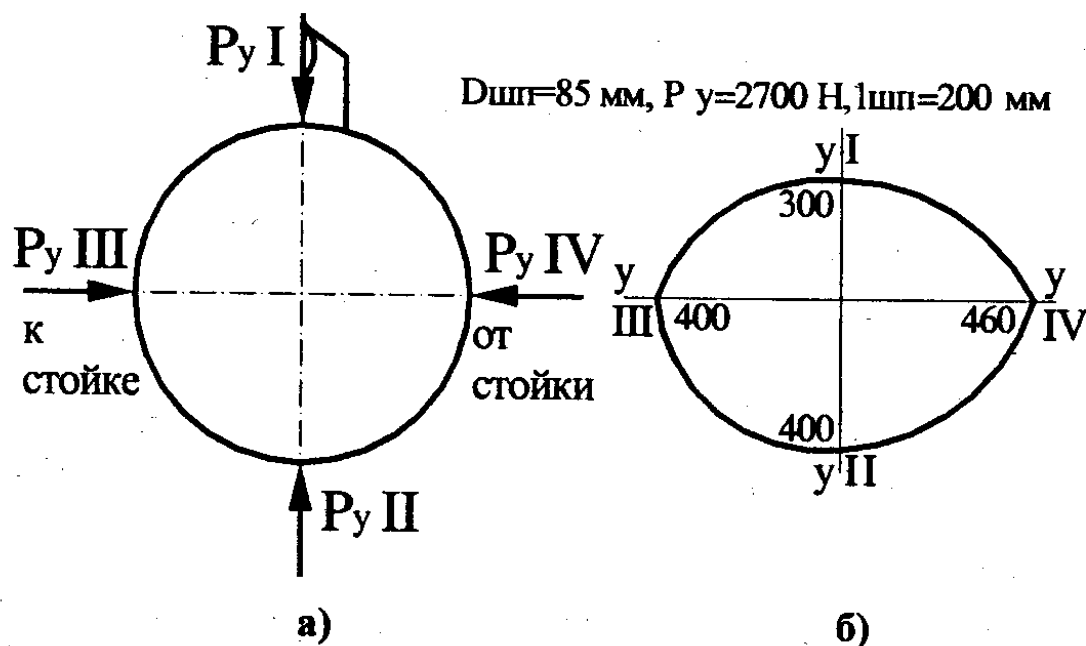


Рис.2.23. Схема действия сил на шпиндель (а) и диаграмма его перемещений (б)

Жесткость строгальных станков зависит от:

- качества регулировки стыков;
- направления равнодействующей силы резания, т.е. от P_y/P_z и P_x/P_z ;
- вылета резца, суппорта, ползуна.

Продольно-строгальные станки обычно обладают высокой жесткостью ($j \geq 100000 \text{ Н/мм}$).

Жесткость продольно-строгальных станков в основном определяется жесткостью вертикального суппорта и резца. В некоторых случаях при больших вылетах резца может быть получена "отрицательная" жесткость.

Жесткость поперечно-строгальных станков переменна и зависит от координат, определяющих положение режущего инструмента (h и l) обработки h и l (рис.2.24). Обычно, $j_{ст} < 10000 \text{ Н/мм}$.

При малом вылете ползуна "l" может наблюдаться "отрицательная" жесткость, при больших "l" – положительная, что определяется соотношением составляющих момента

$$M_0 = P_z \cdot h - P_y \cdot l$$

Суммарная деформация поперечно-строгального станка складывается из деформации стола (всегда вниз) и узлов суппорт-ползун (вниз или вверх) и может быть положительной или отрицательной.

$$y_{ст} = y_{стола} + (y_{супп.} + y_{полз.})$$

Более подробно, жесткость станков различных типов рассмотрена в работах Соколовского А.П.

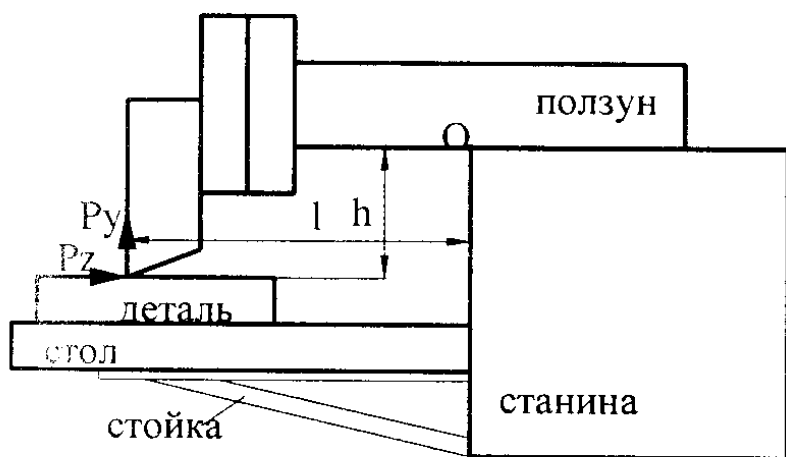


Рис.2.24. . Схема расположения основных узлов поперечно-строгального станка

Для уменьшения погрешности от упругих деформаций необходимо:

- выбирать станки, инструмент, оснастку достаточной жесткости;
- уменьшать количество звеньев и стыков технологической системы, повышать контактную жесткость деталей;
- создавать предварительный натяг в технологической системе;
- выравнивать жесткость технологической системы;
- правильно устанавливать и закреплять заготовки;
- при экономической целесообразности использовать системы автоматического регулирования для устранения упругих отжати;
- вести настройку станков с учетом упругих отжати;

- использовать станки, базовые детали которых изготавливаются из материалов высокой и сверхвысокой жесткости (например, искусственный гранит);
- выбирать наиболее рациональные режимы обработки.

В некоторых случаях, уменьшение погрешности от упругих отжатию можно получить регулированием силы резания и жесткости отдельных элементов технологической системы в процессе обработки. Поскольку жесткость технологической системы, например, при точении консольно закрепленного вала в патроне значительно изменяется по длине хода резца, то и изменяется упругое отжатие заготовки при постоянной силе резания. Если силу резания изменять по закону изменения жесткости системы, то упругие отжатия в любой точке на пути резания будут постоянными. Реализация такого способа может быть произведена за счет изменения величины продольной подачи на длине рабочего хода.

Долгопрудненский авиационный техникум
Электронная библиотека
 Заказчик: А.Ю.Козловский





141702 Россия, Московская обл.,
г. Долгопрудный, пл. Собина, 1

Phone: 8(495)4084593 8(495)4083109
 Email: dat.ak@mail.ru
 Site: gosdat.ru

2.3.3. Износ режущего инструмента

При обработке резанием различают износ режущего инструмента по задней и передней поверхностям, а также износ в направлении перпендикулярном обработанной поверхности (размерный износ).

Размерный износ режущего инструмента при работе на настроенном станке приводит к возникновению переменной систематической погрешности обработки.

Износ инструмента, как и в целом износ трущихся поверхностей, подчиняется определенным закономерностям. Могут быть выделены три периода работы инструмента, характеризующиеся (рис.2.25):

- начальным (прирабочным) износом инструмента на длине пути резания примерно до 1000 м;
- нормальным, или установившимся износом;
- быстрым, или «катастрофическим» износом.

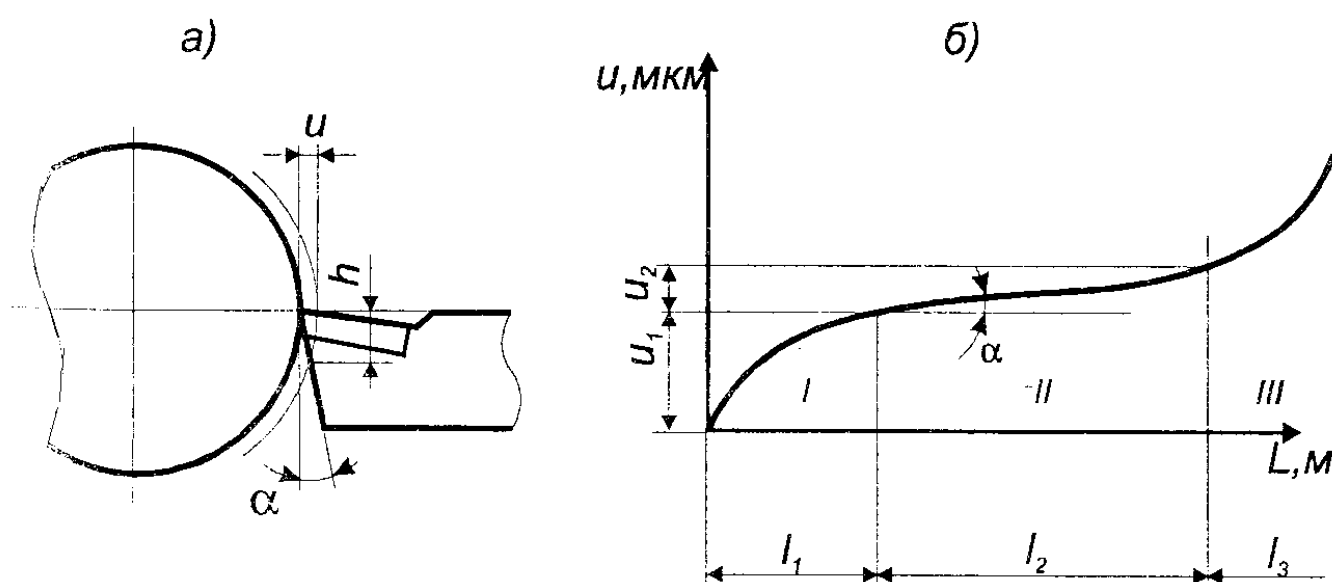


Рис.2.25. Размерный износ (а) и его зависимость от пути резания (б)

Величина начального износа для резцов зависит от качества режущего и обрабатываемого материалов (твердости, прочности), геометрии инструмента,

качество доводки режущих кромок, наличия охлаждения и его качества, вибрации.

При установившемся износе изменение размера инструмента происходит относительно равномерно, т.е. имеет место закон равной вероятности.

При «катастрофическом» износе происходит разрушение режущей кромки, что аналогично появлению задиров у трущихся пар.

Интенсивность износа на участке 2 называют относительным (удельным) износом u_o

$$u_o = \frac{u_2}{l_2}.$$

Зная величину u_o , начальный износ u_n и длину резания l , можно определить размерный износ инструмента (мкм) по формуле

$$\Delta_\partial = u_n + \frac{u_o l}{10^6}.$$

Так, при точении

$$\Delta_\partial = \left(u_n + \frac{u_o \pi D L}{10^6 s} \right) * 2,$$

где D и L – соответственно диаметр и длина обрабатываемой заготовки;
 s – подача на оборот.

Величина удельного износа инструмента зависит от:

- метода обработки;
- материала заготовки и инструмента;
- режимов обработки (главным образом скорости резания);
- наличия охлаждения;
- геометрии инструмента;
- состояния технологической системы (жесткости, вибраций).

Зависимость размерного износа от материала заготовки и инструмента при чистовом точении и растачивании характеризуется табл. 2.2.

Начальный U_n и относительный U_o износ режущих инструментов при чистовом точении и растачивании

Материал		Износ	
заготовки	инструмента	начальный, мкм	относительный, мкм
Сталь углеродистая и легированная	T15K6, T30K4	2-8	2-10
Серый чугун	BK4, BK8	3-10	3-12
Сталь углеродистая и легированная	Металлокерамика ЦМ332	1-3	0.5-1
Закаленный чугун НВ 400	Металлокерамика ЦМ332	10	8

При фрезеровании износ режущего инструмента происходит интенсивнее, чем при точении, из-за неблагоприятных условий работы инструмента, многократно врезающегося в обрабатываемую заготовку.

При абразивной обработке на точность влияет размерный износ шлифовального круга. При шлифовании круги могут работать с затуплением и с самозатачиванием. В первом случае затупившиеся зерна не отделяются, а поры круга забиваются стружкой; износ круга при этом незначителен. Во втором случае затупленные зерна вырываются из связки круга; износ круга при этом значителен.

Интенсивность износа шлифовального круга зависит от его диаметра. Круги большого диаметра, используемые при наружном круглом шлифовании, изнашиваются медленнее, чем круги, используемые при внутреннем шлифовании. При круглом наружном шлифовании круг правят через 15...20 мин работы, при внутреннем – правят перед каждым чистовым переходом.

При шлифовании методом пробных ходов износ круга не влияет на точность выдерживаемых размеров.

Приблизенно износ шлифовального круга можно определить по объему удаляемого металла с заготовки. На один объем материала круга, теряемого при его износе, приходится в среднем 20 объемов удаляемого металла. На основе этого соотношения размерный износ на радиус шлифовального круга, например при плоском шлифовании составит:

$$u = \frac{F \cdot Z \cdot n}{20F_k},$$

где F – площадь шлифуемой поверхности, мм^2 ;

Z – снимаемый припуск, мм ;

n – число деталей в партии;

F_k – рабочая площадь поверхности шлифовального круга, мм^2 .

Влияние износа инструмента на точность может быть уменьшено:

- поднастройкой станка, применением систем автоматического управления;
- выбором материала инструмента оптимальной размерной стойкости;
- выбором наиболее рациональной геометрии режущего инструмента, например, с наиболее рациональными передним, задним углом, радиусом при вершине и т.д.;
- устранением колебаний при резании;
- использованием смазочно-охлаждающих жидкостей.

2.3.4. Тепловые деформации технологической системы

Исследование тепловых явлений при резании металлов до последнего времени обычно связывалось с изучением вопросов стойкости. Однако эти явления оказывают большое влияние и на точность обработки.

Механическая работа резания почти целиком превращается в теплоту, которая распределяется между стружкой, обрабатываемой деталью и инструментом. Некоторая часть рассеивается в окружающую среду.

Большая часть теплоты резания уходит со стружкой (60...90 %). В резец переходит незначительное количество тепла (3...5 %). Тем не менее, температура лезвия может достигать весьма высоких значений (1000...1200°C), что, естественно, вызывает и нагрев тела резца.

Рассмотрим расчёт тепловых удлинений резца (рис.2.26) в зависимости от времени обработки при следующих принятых допущениях:

- 1) количество теплоты Q , притекающее к резцу в процессе резания в единицу времени есть постоянная величина;
- 2) в каждый данный момент температура различных точек головки резца одинаковая.

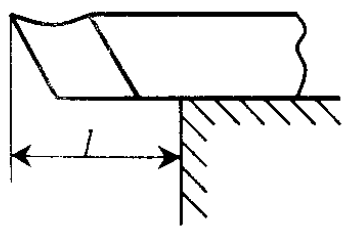


Рис.2.26. Вылет резца

Итак, обозначим:

1) Q – количество теплоты, притекающее к резцу в процессе резания в единицу времени;

2) Q_1 – количество теплоты, отдаваемое резцом в единицу времени в окружающую среду;

3) Q_2 – количество теплоты, идущее на повышение теплосодержания и вызывающее рост температуры, а, следовательно, и удлинение резца.

Таким образом, притекающая к резцу теплота идёт частично на повышение теплосодержания и частично рассеивается. В таком случае, учитывая изменение за бесконечно малый промежуток времени dt получим:

$$dQ = dQ_1 + dQ_2,$$

где dQ_1 – количество теплоты, отдаваемое резцом за бесконечно малый промежуток времени;

dQ_2 – повышение теплосодержания за бесконечно малый промежуток времени.

$$\underline{dQ_1 = h \cdot F \cdot t \cdot d\tau},$$

где h – коэффициент теплоотдачи $\left(\frac{\text{кал}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град}} \right)$;

F – поверхность резца, отдающая теплоту (м^2) ;

t – превышение средней температуры резца над температурой окружающего пространства в данный момент.

$$\underline{dQ_2 = m \cdot c \cdot dt}$$

m – масса резца;

c – удельная теплоёмкость.

При наступлении теплового равновесия температура резца стабилизируется т.е.

$$\underline{dQ_2 = 0}$$

$$\underline{dQ_1 = k \cdot F \cdot t_c \cdot d\tau},$$

где t_c – разность между максимальной средней температурой резца и температурой окружающей среды.

Тогда $\underline{\underline{dQ = dQ_1 = k \cdot F \cdot t_c \cdot d\tau}}$

При расчёте мы приняли, что Q – есть постоянная величина в процессе резания, поэтому

$$k \cdot F \cdot t_c \cdot d\tau = k \cdot F \cdot t \cdot d\tau + c \cdot m \cdot dt; \quad k \cdot F \cdot d\tau \cdot (t_c - t) = c \cdot m \cdot dt;$$

$$\underline{\underline{d\tau = \frac{c \cdot m}{k \cdot F} \cdot \frac{dt}{t_c - t}}}$$

Обозначим: $T_c = \frac{c \cdot m}{t_c - t}$

$$\text{Тогда } \underline{d\tau = T_c \cdot \frac{dt}{t_c - t}}$$

Рассмотрим теперь уравнение теплового удлинения резца.

$$\xi = \alpha \cdot l \cdot t; \quad \xi_c = \alpha \cdot l \cdot t_c; \quad d\xi = \alpha \cdot l \cdot dt,$$

где α – коэффициент линейного удлинения тела резца;

l – длина рабочей части резца;

ξ – удлинение резца в какой-то момент;

ξ_c – удлинение резца, соответствующее тепловому равновесию.

$$\text{Откуда: } t = \frac{\xi}{\alpha \cdot l}; \quad dt = \frac{d\xi}{\alpha \cdot l}; \quad t_c = \frac{\xi_c}{\alpha \cdot l}$$

$$\text{Подставим эти значения в формулу } \underline{d\tau}: \quad d\tau = T_c \cdot \frac{d\xi}{\xi_c - \xi}$$

Проинтегрируем:

$$\tau = \int_0^{\xi} T_c \cdot \frac{d\xi}{\xi_c - \xi} = -T_c \cdot \ln(\xi_c - \xi) \Big|_0^{\xi} = -T_c \cdot \ln(\xi_c - \xi) + T_c \cdot \ln \xi_c;$$

или

$$\tau = T_c \cdot \ln \frac{\xi_c}{\xi_c - \xi}; \quad \frac{\tau}{T_c} = \ln \frac{\xi_c}{\xi_c - \xi}; \quad e^{\frac{\tau}{T_c}} = \frac{\xi_c}{\xi_c - \xi}; \quad e^{-\frac{\tau}{T_c}} \cdot \xi_c = \xi_c - \xi;$$

$$\xi = \xi_c - e^{-\frac{\tau}{T_c}} \cdot \xi_c; \quad \xi = \xi_c \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_c}} \right)$$

Зависимость теплового удлинения резца от времени обработки при непрерывной работе показана на рис.2.27.

На рис.2.28,а приведены кривые изменения длины резца при его нагревании и охлаждении. На рисунке использованы обозначения: τ_p – время работы;

τ_n – время перерыва. На рис.2.28,б приведены схемы изменения размеров резца при изготовлении партии деталей и образования погрешностей размера и формы деталей.

В зависимости от соотношений времени работы и перерывов возможны три случая:

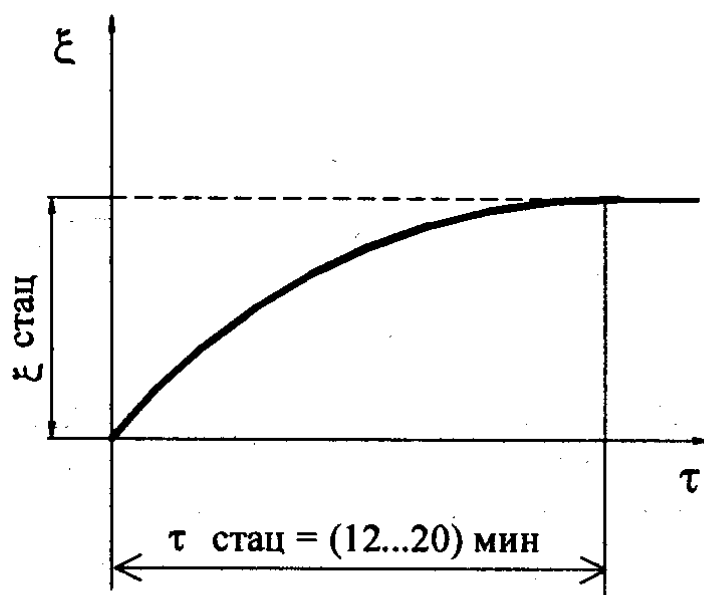
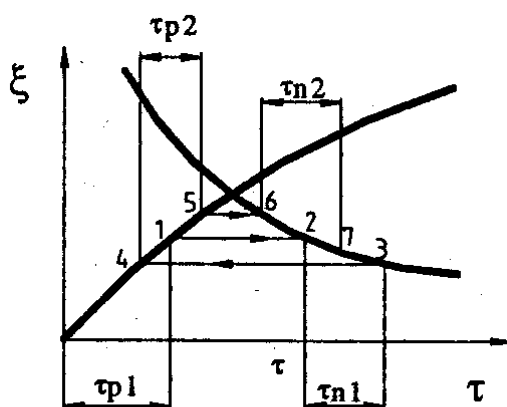


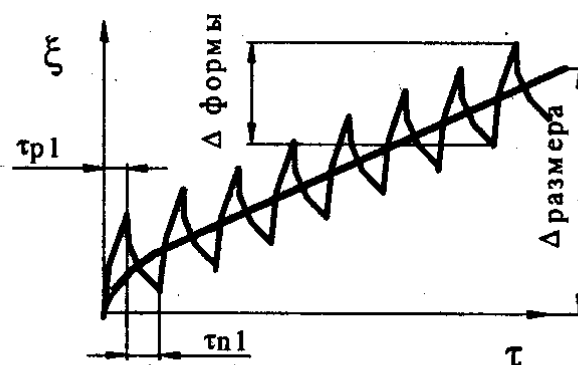
Рис.2.27. Зависимость удлинения резца от времени работы

1) $\tau_p \geq 4T_c \rightarrow$ погрешность $\Delta = 2\xi_c$;

2) $\tau_p \gg \tau_{пер} \rightarrow$ погрешность рассчитывается по формуле



а)



б)

Рис.2.28. Схемы изменения удлинения резца при работе с перерывами

$$\xi = \xi_c \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T_c}} \right);$$

3) $\tau_p \approx \tau_{пер} \rightarrow$ погрешность $\Delta = \Delta\xi$.

Зависимость удлинения резца от различных факторов.

Время нагревания резца определяется постоянной T_c , которая, как показали эксперименты, лежит в пределах 3...6 мин. Если принять среднее значение $T_c = 4$ мин (что соответствует времени наступления теплового равновесия при резании в течение 16 мин), то получим формулу для каких-то усредненных условий обработки

$$\xi = \xi_c \cdot \left(1 - e^{-\frac{\tau}{4}} \right)$$

На основе опытных данных для острого резца при $t \leq 1,0$ мм, $S \leq 0,2$ мм/об, $V = 100 \dots 200$ м/мин, выведена эмпирическая формула для работы без охлаждения.

$$\xi_c = C \cdot \frac{L_p}{F} \cdot \sigma_v \cdot (t \cdot S)^{0,75} \cdot \sqrt{V},$$

где L_p – вылет резца (в мм);

F – сечение резца (в мм²);

σ_v – предел прочности обрабатываемого материала (кг/мм²);

C – некоторая постоянная, зависящая от условий резания, в частности, для чистовых режимов, приведенных выше, можно принять $C \approx 4,5$.

Используя зависимости для ξ и ξ_c , можно найти удлинения резца для разных моментов времени и различных условий обработки.

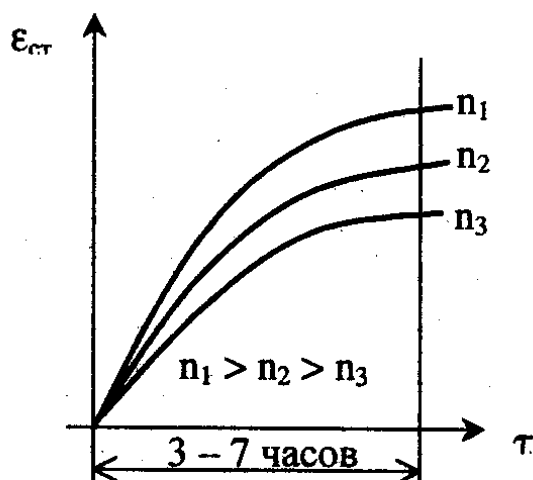
Тепловые деформации станков.

Основными причинами, вызывающими тепловые деформации станков являются:

- тепло, выделяющееся в узлах станка из-за потерь на трение в подшипниках и зубчатых передачах;
- тепло, образующееся в зоне резания;
- тепло от внешних источников;
- различные устройства – гидравлические, электрические и др.

Зависимости тепловых деформаций узлов станков от времени работы, также как и режущего инструмента – экспоненциальные.

График (орис.2.29)показывает смещение шпинделя в вертикальном направлении для различных частот его вращения (n).



Обычно станки испытываются вхолостую, так как считается, что при чистовых режимах тепловые деформации особо различаться не будут от тепловых деформаций холостого хода.

Рис.2.29. Зависимость тепловых деформаций шпинделя токарного станка от времени работы

При работе токарного станка в основном нагревается передняя бабка вследствие трения в подшипниках и зубчатых передачах (рис.2.30).

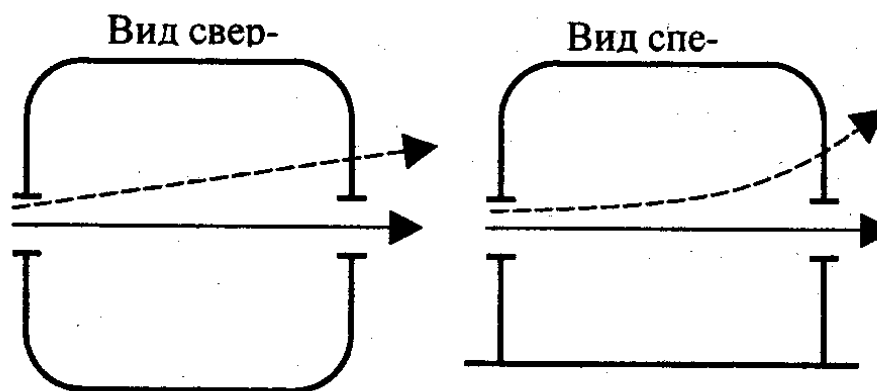


Рис.2.30. Схема деформаций шпинделя токарного станка в горизонтальном и вертикальном направлениях

Ось шпинделя может смещаться в горизонтальном направлении на рабочего или от рабочего в зависимости от способа крепления шпиндельной бабки на станине. Тепловые деформации элементов технологической системы оказывают наибольшее влияние на точность обработки при шлифовании.

По данным ЭНИМСа, за полтора часа работы шпиндели бесцентрово-шлифовальных станков смещались на 0,12 мм, а круглошлифовальных – на 0,05...0,06 мм.

По данным СПбГТУ, у плоскошлифовального станка тепловые деформации его узлов в вертикальном направлении за 7 часов работы вхолостую составили: шпинделя – 0,21 мм, а стола – 0,12 мм.

Знание величины тепловых деформаций станка необходимо, в частности, для выбора места установки приборов активного контроля (особенно на шлифовальных станках).

Для уменьшения влияния тепловых деформаций необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

- обеспечивать постоянств теплового поля в зоне установки станка путем поддержания в цехе нормального теплового режима, в том числе создание специальных помещений с терморегулированием, путем предохранения оборудования от солнечных лучей и т.д.;
- разрабатывать специальные конструкции для автоматической компенсации тепловых деформаций;
- проектировать конструкции с тепловыми перемещениями, в направлениях не влияющих на точность;
- выносить узлы, тепловые деформации которых существенно влияют на точность обработки, за пределы станка, например, встроенные электродвигатели, резервуары с маслом или охлаждающей жидкостью и т. д.;
- применять охлаждение встроенных электродвигателей, приводов и т.п. путём выполнения развитых поверхностей теплоотвода, принудительного

воздушного охлаждения, циркуляционной смазки и т. д.

Тепловые деформации изготавливаемой детали.

В некоторых случаях, например при обработке массивных заготовок, тепловыми деформациями можно пренебречь. Однако, в большинстве случаев, нагрев заготовок может быть значительным.

Наибольшие тепловые деформации возникают при обработке тонкостенных заготовок (трубы, тонкие пластины), а также в тяжёлом машиностроении, там, где черновую обработку невозможно отделить от чистовой. Аналогичная ситуация создается на поточных линиях, где чистовая обработка следует сразу же за черновой.

Иногда производится замер температуры пробной заготовки в нескольких местах, вычисляется средняя температура t_{cp} и вводится коррекция положения инструмента при обработке последующих заготовок.

Одной из нескольких погрешностей, которые не удастся компенсировать при применении приборов активного контроля, являются тепловые деформации.

По данным СПбГТУ, тепловые деформации при токарной обработке вала диаметром $\varnothing 80$ мм, длиной $l = 800$ мм, составили 0,012 мм, при этом форма вала в продольном сечении имела вид, показанный на рис.2.31.

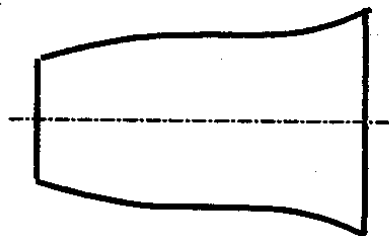


Рис.2.31. Влияние тепловых деформаций на погрешность формы вала

При врезном шлифовании шейки $\varnothing 70$ мм шириной $B = 50$ мм тепловые деформации детали в радиальном направлении составили 0,004...0,011 мкм.

2.3.5. Геометрические неточности станков и режущего инструмента

Вследствие погрешностей изготовления основных деталей, их износа, неточностей сборки возникают отклонения основных точностных характеристик станков от номинальных значений. Величины допускаемых отклонений регламентируются нормами точности и приведены в стандартах. Точность станков в ненагруженном состоянии называется геометрической. Погрешности геометрической точности увеличиваются по мере износа станков.

По точности металлорежущие станки классифицируются на 5 групп. Геометрические погрешности станков более высоких точностных групп значительно уменьшаются, а трудоемкость их изготовления резко возрастает. По отношению к характеристикам станков нормальной точности погрешности станков других групп и трудоемкость их изготовления составляют в процентах к погрешностям и трудоемкости изготовления станков нормальной точности величины, приведенные в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Классификация станков по точности

Группа станков	Погрешность, %	Трудоемкость изготовления, %
Нормальной точности (Н)*	100	100
Повышенной точности (П)	60	140
Высокой точности (В)	40	200
Особо высокой точности (А)	25	280
Особо точные (С)	16	450

В настоящее время начата разработка станков сверх особо высокой точности, которые относят к группам точности Т и К. Погрешности обработки на станках этих групп не должны превышать величины 0.3 мкм для группы Т и 0.1 мкм для группы К.

К основным характеристикам геометрической точности станков относят:

- радиальное и торцевое биение шпинделей;
- биение конического отверстия в шпинделе;
- прямолинейность и параллельность направляющих;
- параллельность осей шпинделей токарных станков направлению движения кареток в вертикальной и горизонтальной плоскости;
- перпендикулярность осей шпинделей сверлильных станков относительно плоскости столов и др.

Данные о фактических погрешностях заносятся в паспорт станка при его испытаниях и обновляются после проведения ремонтов и пригонок в процессе эксплуатации. Геометрические погрешности станков являются постоянными величинами и не влияют на точность размеров обрабатываемых поверхностей, однако способствуют искажению их форм и относительного расположения, поэтому они должны быть учтены при назначении способа обработки. Следует иметь в виду, что точность деталей станков и их взаимного положения должны быть выше требований к точности изготавливаемой детали.

Так например, стандарты предусматривают следующие предельные значения для некоторых геометрических погрешностей станков:

- радиальное и осевое биения шпинделя для токарного станка нормальной точности (Н) – 10 мкм;
- прямолинейность продольного перемещения суппорта – 12 мкм на длине 500 мм и 16 мкм на длине 800 мм.
- для станков нормы точности А и С необходимо обеспечивать постоянство температуры в производственных помещениях.

Необходимо иметь в виду, что стандартом определяются нормы точности для новых станков. Для станков, находящихся в эксплуатации необходимо вводить корректировки в эти нормы при расчете точности, учитывающие степень износа узлов станка. Так например, износ направляющих токарных станков, используемых для чистовой обработки, за один год составляет 0,04...0,05 мм, а для черновой 0,10...0,20 мм. Обычно максимальный износ направляющих станка имеет место вблизи патрона.

Погрешности геометрической точности станков полностью или частично переносятся на обрабатываемые заготовки в виде систематических погрешностей. Например, отклонение от параллельности оси шпинделя токарного станка направлению движения суппорта в горизонтальной плоскости приводит к появлению конусообразности у обрабатываемой заготовки; в вертикальной плоскости – к гиперboloиду вращения.

Биение шпинделя токарных и круглошлифовальных станков искажает форму обрабатываемой заготовки в поперечном сечении.

Биение оси конуса отверстия шпинделя сверлильного станка по отношению к оси вращения шпинделя вызывает разбивку отверстия, т.е. увеличение его диаметра.

Износ станков приводит к увеличению систематической погрешности обрабатываемых заготовок.

Деформации станков при их неправильном монтаже и также под действием сил при оседании фундаментов вызывает дополнительные систематические погрешности обработки заготовок.

Для уменьшения влияния геометрических неточностей станков на качество обработки необходимо:

- выбирать станки соответствующей точности;
- обрабатывать установочные поверхности приспособлений на месте их установки (если необходимо);

- в процессе эксплуатации станка вести регулировку, выборочную подгонку, необходимый ремонт;
- использовать различные компенсирующие и корригирующие устройства, (например, копировальные линейки на координатно-расточных станках), в том числе системы ЧПУ;
- применять подшипники высоких классов точности, вести их доводку; использовать подшипники на гидростатических, пневматических и магнитных подвесах;
- обеспечивать выборку зазоров в соединениях деталей и частей станка (например, натяг в соединении винт-гайка).

Геометрические неточности режущего инструмента приводят к погрешностям обработки в основном при использовании мерных и фасонных инструментов – разверток, зенкеров, сверл, канавочных резцов, пальцевых и червячных фрез, фасонных резцов, фрез, долбяков, шлифовальных кругов, протяжек и т.д.

Отклонение размеров таких инструментов непосредственно переносится на заготовку. Однако при этом часто возникают дополнительные погрешности размеров и формы, вызываемые условиями обработки. Так, при работе мерными инструментами без охлаждения на режимах резания, способствующих нагреву инструмента и наростообразованию, часто появляется положительная разбивка, увеличивающая размеры отверстий, пазов, достигающая нескольких сотых долей миллиметра. Так, например, при точении стальной заготовки канавочным резцом из твердого сплава Т15К6 шириной 5 мм без СОЖ за счет разбивки ширина паза увеличивается на 0.01...0.03 мм.

Наименьшая разбивка имеет место при обработке хорошо заточенным и доведенным инструментом.

Разбивка увеличивается по мере притупления инструмента. Например, при работе новыми развертками величина разбивки составляет 5...10 мкм, при работе приработанными развертками 10...30 мкм.

Применение охлаждающих жидкостей снижает разбивку в несколько раз.

При небольших скоростях резания (порядка 6...10 м/мин.), наличии обильного охлаждения, недостаточной жесткости заготовок (особенно типа втулок при протягивании, развертывании, дорновании) возможна отрицательная разбивка за счет упругих деформаций инструмента и заготовки.

На точность отверстий и пазов при обработке сверлами, зенкерами, нальцевыми фрезами влияет равномерность заточки режущих зубьев, биение инструментов, обратная конусность, неточность установки инструмента.

Допуски на изготовление мерных инструментов рассчитываются с учетом допусков на размеры детали, допустимого износа инструмента и возможной разбивки при обработке. Например, максимальный размер развертки при конструировании берется с учетом максимальной разбивки.

С целью уменьшения влияния погрешностей режущего инструмента на точность обработки необходимо:

- выбирать инструмент соответствующей точности;
- выбирать наиболее рациональные режимы резания;
- применять СОЖ;
- правильно устанавливать инструмент;
- использовать кондукторные и направляющие втулки.

2.3.6. Деформации заготовок, вызываемые внутренними напряжениями

Внутренними или остаточными называют напряжения, существующие в заготовке при отсутствии внешних нагрузок. Они полностью уравниваются, и их действие в заготовках не проявляется.

В технологии машиностроения в основном изучаются напряжения, уравновешивающиеся в пределах больших объемов, соизмеряемых с размерами заготовок. Нарушение равновесия, вызываемое снятием припуска, термообработкой или другим воздействием, приводит к деформации обрабатываемых заготовок.

Внутренние напряжения в заготовках и деталях возникают при:

- неравномерном остывании заготовок при литье (например, из-за разнотенности);
- ковке и штамповке;
- сварке;
- термообработке;
- механической обработке (лезвийной и давлением);
- гальванопокрытиях.

Особенно характерны внутренние напряжения для крупных, нежестких и тонкостенных заготовок.

После снятия напряженных слоев металла при обработке происходит перераспределение внутренних напряжений до нового равновесного состояния. Перераспределение напряжений вызывает деформацию заготовок, приводящую к погрешностям формы и относительного расположения поверхностей. В некоторых случаях внутренние напряжения достигают больших значений и могут служить причиной появления трещин и саморазрушения заготовок (характерно для заготовок из хрупких материалов, например, чугуна).

Например, при закалке ТВЧ стальных деталей в поверхностных слоях появляются растягивающие напряжения, а в сердцевине – сжимающие. После снятия припуска из-за перераспределения напряжений происходит деформация деталей. Особенно характерны подобные деформации при изготовлении зубчатых колес. Практика показывает, что наличие упрочняющей термообработки

приводит к потере точности зубчатого колеса приблизительно на одну единицу степени точности.

Расчеты и определение погрешностей из-за внутренних напряжений трудоемки.

Внутренние напряжения и их влияние на точность деталей могут быть уменьшены следующими мерами:

- выравниванием толщины стенок и температуры охлаждения заготовок (например, охлаждение вместе с печью, применение специальных холодильников при отливке);
- естественным старением отливок в течение 6...12 месяцев обычно после их обдирки. Применяется преимущественно для крупных заготовок. В некоторых случаях при изготовлении особо точных станков используются базовые детали станков, отработавших несколько лет, и, следовательно, не имеющие внутренних напряжений;
- искусственным старением методом термообработки, заключающимся в медленном нагреве до температуры 500...600 °С, выдерживании при ней в течение 1...6 часов и охлаждении в печи до 150...200 °С, и затем на воздухе;
- отжигом и отпуском поковок, штамповок и сварных заготовок;
- дробеструйной обработкой заготовок;
- разработкой наиболее рациональной конструкции заготовок, особенно сварных, режима сварки заготовок;
- выбором и применением наиболее рационального способа и режимов термообработки деталей;
- выбором рациональных способов, режимов механической обработки, последовательности и сочетания операций, переходов и рабочих ходов;

- применением виброобработки (например, с помощью вибраторов). Некоторые станкостроительные фирмы используют с этой целью воду, выдерживая ответственные детали в водопадах;
- применением после предварительной и черновой обработок заготовок термообработки (отжиг, нормализация). Для ответственных деталей возможно применение неоднократных промежуточных термообработок;
- применением для изготовления ответственных деталей (станин, стоек и т.п.) специальных искусственных материалов, не имеющих внутренних деформаций.

2.3.7. Размерная наладка станков

В соответствии со стандартами ЕСТД наладкой называется подготовка технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению технологической операции. Часть наладки, относящаяся к установке инструмента, рабочих элементов станка, установочных элементов приспособления в положение, которое обеспечивает получение размера в поле допуска, называется размерной наладкой станка.

Цель размерной наладки станка заключается в придании режущему инст-

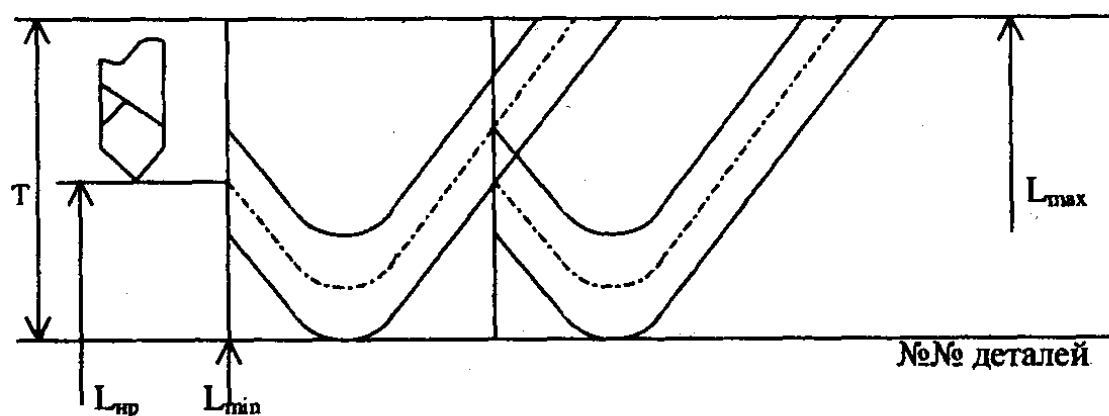


Рис.2.32. Схема расположения диаграммы точности в поле допуска

рументу такого оптимального положения относительно установочных элементов станка или приспособления, которое надежно обеспечит получение действительных размеров обрабатываемых деталей в наперед заданных пределах при возможно большей продолжительности работы до подналадки (рис.2.32).

Наладочный размер – такое начальное значение среднего текущего размера на диаграмме точности обработки, при котором исключается опасность случайного перехода действительных размеров обрабатываемых деталей за непроходную границу поля допуска и достигается наибольшая возможная продолжительность работы до подналадки. Подналадкой называется дополнительная регулировка технологического оборудования и (или) технологической оснастки при выполнении технологической операции для восстановления достигнутых при наладке значений параметров.

В переводе на математический язык процесс наладки состоит в том, чтобы обеспечить совпадение середины поля мгновенного рассеивания с наладочным размером. А смещение центра группирования относительно $L_{нр}$ и является погрешностью самой наладки.

Учитывая погрешность размерной наладки, полное рассеивание при обработке будет состоять из мгновенного рассеивания $\Delta_{р.м.}$ и рассеивания, обусловленного погрешностью самой наладки $\Delta_{рн.}$, т.е. схема для расчета наладочного размера

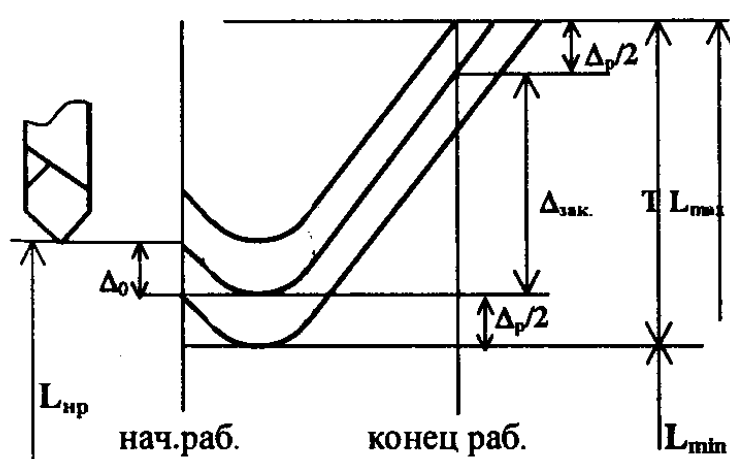


Рис.2.33. Схема для расчета наладочного размера

будет иметь вид, представленный на рис.2.33. В соответствии с рисунком наладочные размеры рассчитываются следующим образом:

$$L_{н.р.} = L_{\min} + \frac{\Delta_p}{2} + \Delta_0 - \text{для вала,}$$

$$L_{н.р.} = L_{\max} - \frac{\Delta_p}{2} - \Delta_0 - \text{для отверстия,}$$

где L_{\min} L_{\max} – соответственно минимальный и максимальный размеры детали; Δ_p – полное рассеивание размеров, вызванное случайными погрешностями; Δ_0 – возможное превышение в начальный момент работы тепловых деформаций технологической системы над размерным износом режущего инструмента; $\Delta_{зак}$ – суммарное значение закономерно изменяющихся погрешностей; T – допуск размера.

Для того, чтобы установить режущий инструмент в требуемое положение, соответствующее наладочному размеру $L_{нр}$ используются следующие основные методы наладки станков.

Наладка методом пробных стружек и промеров.

Эта наладка производится отдельно для каждой обрабатываемой заготовки, и имеет динамический характер, т.е. выполняется при упруго отжатой силе резания технологической системе.

Сущность наладки состоит в том, что рабочий выполняет установку инструмента в определенное положение относительно заготовки, обрабатывает небольшой начальный участок поверхности, измеряет полученный размер и корректирует положение режущего инструмента (по лимбу, индикаторному упору или иным способом) так, чтобы действительный размер на наладочном участке детали получить равным расчетному значению наладочного размера. Эта регулировка, при необходимости, выполняется несколько раз. После того как таким образом отрегулировано положение инструмента, обрабатывают всю поверхность заготовки. Такая наладка автоматически учитывает весь комплекс действительных условий обработки каждой заготовки: величину снимаемого

припуска и механический свойства металла для наладочного участка заготовки, состояния режущей кромки инструмента и действительную микрогеометрию обработанной поверхности. Поэтому колебание размерной и механической характеристик разных заготовок и постепенное притупление резца сказываются лишь на неточностях формы деталей, но не вызывают рассеивания размеров, обусловленного вышеперечисленными факторами.

Таким образом, поле рассеивания размеров деталей, обусловленное специфическими особенностями метода наладки, включает в себя поле погрешности измерения при наладке $\Delta_{p.изм}$ и поле погрешности регулирования положения инструмента $\Delta_{p.рег}$. Причем, $\Delta_{p.рег}$ должно быть меньше $\Delta_{p.изм}$. В связи с этим, общее принципиальное выражение для поля рассеивания размеров при такой наладке

$$\Delta_{p.н} = \sqrt{\Delta_{p.изм}^2 + \Delta_{p.рег}^2}$$

Достоинством такого метода наладки является простота и наглядность метода, возможность его применения при любом базировании и сравнительно малая величина поля рассеивания размеров. Недостатком метода является большие затраты вспомогательного времени.

Наладка методом пробных стружек и промеров применяется в единичном и мелкосерийном производствах и при изготовлении крупных деталей из заготовок с нестабильными припусками.

Размерная наладка по пробным деталям.

Наладка динамическая, производится в три этапа:

- 1) предварительная наладка;
- 2) статистическая проверка положения центра группирования;
- 3) регулировка положения инструмента (коррекция) по результатам проверки.

Предварительная наладка производится по первой пробной детали способом пробных стружек и промеров. Затем при неизменном положении режущего инструмента обрабатываются несколько пробных деталей.

Статистическая проверка заключается в том, что все пробные детали тщательно измеряют. По размаху колебаний их размеров судят о правильности расчета поля рассеивания, а среднее арифметическое размеров пробных деталей принимают за характеристику достигнутого положения центра группирования.

$$d_{cp} = \bar{d}_m = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_m}{m} \quad (m - \text{количество пробных деталей}).$$

Если среднее значение размеров пробных деталей отличается от расчетного наладочного размера $d_{нр}$, то положение инструмента регулируют так, чтобы привести центр группирования d_{cp} к его расчетному положению.

$$\Delta_{нонр} = \frac{d_{cp} - d_{нр}}{2}$$

Затем обрабатывается вся партия деталей.

Для определения отклонения среднего размера пробных деталей от действительного центра группирования размеров партии деталей рассмотрим некоторые сведения из математической статистики.

Если распределение размеров партии деталей подчиняется нормальному закону со средним квадратичным распределением σ , то при разбивке партии на группы по "m" штук в каждой группе, распределение групповых средних подчиняется тому же закону, но со средним квадратичным отклонением

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma}{\sqrt{m}}$$

Рассмотрим пример для $n = 1000$ дет. Разобьем партию деталей на 20 групп т.е. $m = 5$ дет. Вычислим L_{cp5} для 20 групп. Поле рассеивания 20 разме-

ров L_{cp5} будет равно $\Delta_{p,cp5} = \frac{\Delta_{p1000}}{\sqrt{5}}$, т.е. размеры L_{cp5} будут колебаться в пределах $6\sigma_{cp5} = \Delta_{p,гр5}$. Таким образом, после обработки “m” пробных деталей среднее арифметическое этой группы деталей \bar{d}_m может отличаться от средней арифметической всей совокупности \bar{d} не более чем на $\pm 3 \frac{\sigma}{\sqrt{m}}$ (рис.2.34).

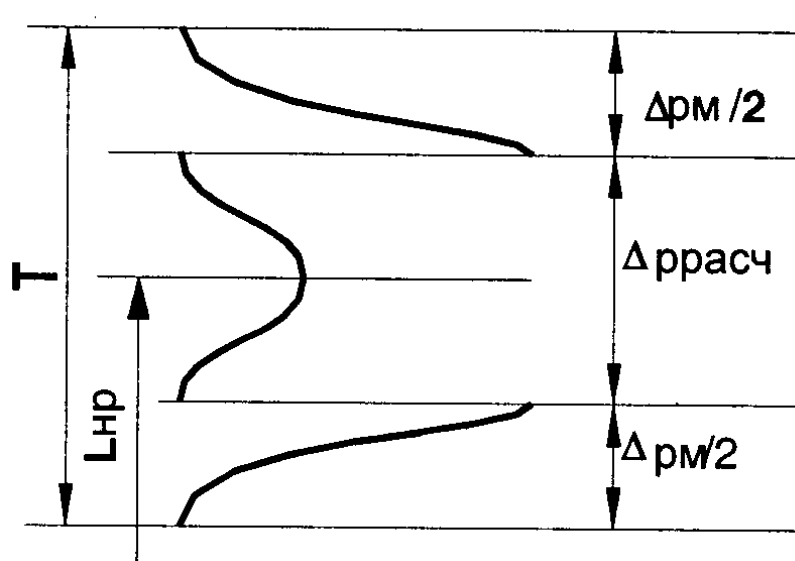


Рис.2.34. Схема для определения $\Delta_{p,расч}$.

Отличие \bar{d}_m группы пробных деталей от действительного центра группирования и будет погрешность $\Delta_{p,расч}$. Таким образом, погрешность размерной наладки

по пробным деталям включает погрешности, возникающие на всех этапах проведения размерной наладки.

$$\Delta_{pn} = \sqrt{\Delta_{p,расч}^2 + \Delta_{p,рег}^2 + \Delta_{p,изм}^2},$$

где $\Delta_{p,изм}$ – погрешность измерения пробных деталей; $\Delta_{p,рег}$ – погрешность, возникающая при регулировании положения режущего инструмента по результатам измерения пробных деталей.

Рекомендации по размерной наладке методом пробных деталей.

Способ рассчитан на ожидание пренебрежительно малого размерного износа при обработке пробных деталей, ибо только в этом случае колебание дей-

ствительных размеров пробных деталей будет правильно отражать влияние отжатый технологической системы.

При измерении пробных деталей следует использовать универсальные измерительные средства повышенной точности $\Delta_{изм} \leq (0,1 \dots 0,05) IT$.

Для предотвращения неисправимого брака пробных деталей из-за ошибок в расчете $\Delta_{рм}$, на 1-й стадии наладки можно ввести в наладочный размер страховочную поправку, отложив ее внутрь поля допуска, можно принять

$$d_{нр(предв)проб.} = \frac{d_{max} + d_{min}}{2}.$$

Достоинствами этого метода наладки являются сокращение вспомогательного времени по сравнению с работой по промерам и пробным рабочим ходам. Повышаются точность и надежность наладки, подкрепленные непосредственной опытной проверкой положения центра группирования и размаха колебаний размеров.

Недостатками являются сравнительная сложность наладки и все-таки значительные затраты вспомогательного времени (до 20% от общего фонда времени механической обработки). Для устранения этого недостатка следует заменять наладки подналадками.

Основной областью применения этого метода является серийное производство деталей со сравнительно небольшой площадью обрабатываемой поверхности.

Размерная наладка по калибрам наладчика.

В случае использования обычных предельных калибров резко возрастает возможность появления брака. Это видно из рис.2.35.

Использование таких предельных калибров дает информацию лишь о том, что резец находится в пределах поля допуска, но где - неизвестно. Резец может находиться у верхней или у нижней границы поля допуска. Если резец находится у нижней границы поля допуска (Р-пр), то при дальнейшей обработке

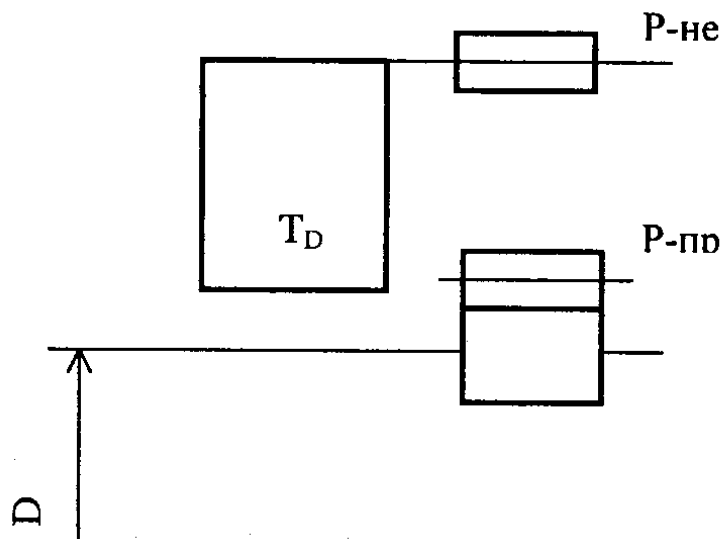


Рис.2.35. Схема расположения полей допусков предельных калибров-пробок

может появиться заготовка, у которой припуск максимальный и отжатие резца приведет к выходу размера за нижнюю границу поля допуска (появится брак исправимый).

Если резец находится у верхней границы поля допуска (P-не), то при дальнейшей обработке вследствие нагревания резца размер отверстия может выйти за верхнюю границу поля допуска (P-не) (появится брак неисправимый).

Для исключения возможности в начальный момент выхода размера за верхнюю или нижнюю границы поля допуска используют специальные калибры наладчика (с суженной разницей между минимальными размерами $r_{пр}$ и $r_{не}$ калибров по сравнению с полем допуска детали (рис.2.36).

Погрешность размерной наладки имеет вид.

$$\Delta_{p.n} = T_n$$

Недостатками этого метода являются:

- введение специальных калибров сильно осложняет калибровое хозяйство;
- необходимость получения пробных деталей с размерами соответствующими малой величине T_n замедляет наладку;

- наладчик не может оценить значение погрешности наладки и направление в какую же сторону произвести корректировку размера.

Областью применения этого метода размерной наладки является массовое и крупносерийное производства.

Статическая наладка.

Заключается в том, что установка режущего инструмента относительно станка и приспособления производится при неработающем станке, т.е. при отсутствии отжатый технологической системы.

Режущий инструмент устанавливается по "эталоону", представляющему собой макет обрабатываемой детали (валик, кольцо, шаблон, габарит), причем правильность положения инструмента проверяется протаскиванием щупа или

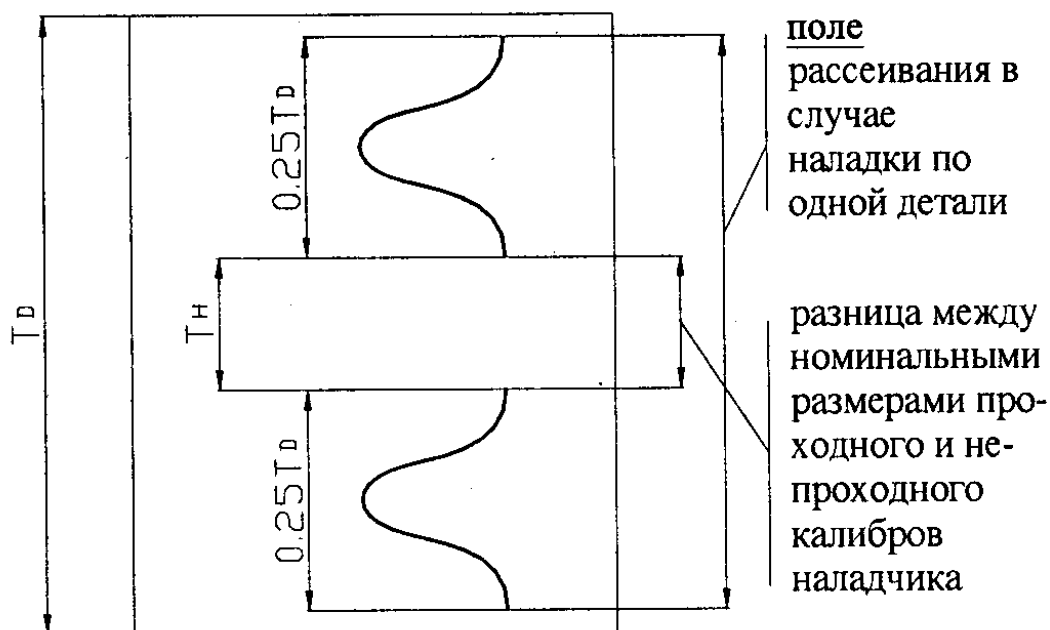
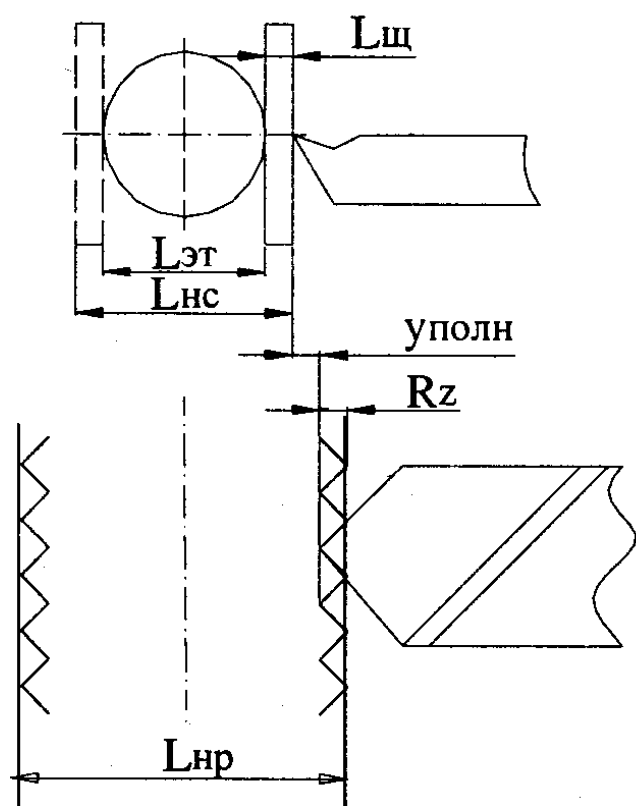


Рис.2.36. Схема расположения номинальных размеров калибров наладчика в поле допуска детали

мерной бумаги между лезвием инструмента и эталоном.

Размер, который бы получился у детали при установленном таким образом инструменте, если бы технологическая система была абсолютно жесткой

($j=\infty$, $w=0$), а обрабатываемая поверхность детали не имела бы микронеровностей (шероховатостей) ($R_z=0$), называется размером статической наладки (рис.2.37).



$$L_{нс} = L_{эт} + 2L_{ш}$$

$$L_{нс} = L_{нр} - 2(u_{полн} + R_z)$$

$u_{полн}$ — поправка на полную упругую деформацию технологической системы.

$$\Delta_{нс} = \sqrt{\Delta_{р.эт}^2 + \Delta_{р.уст.инстр}^2 + \Delta_{р.поп}^2}$$

R_z — поправка на шероховатость.

Достоинствами этого метода являются малые затраты времени по сравнению с методом настройки по пробным деталям и сравнительная простота.

Недостатком является небольшая точность из-за влияния $\Delta_{р.уст.инстр}$. По истечении времени наладка сбивается и ее необходимо периодически возобновлять. Для сокращения потерь времени рекомендуется заменять наладки подналадками.

На станках с ЧПУ используется взаимозаменяемая подналадка для резцов с многогранными неперетачиваемыми пластинами (МНП). Такая подналадка осуществляется путем замены изношенного инструмента новым, имеющим размер (L_p) и режущую способность такие же, какие имел заменяемый инструмент до износа; при этом режимы резания и положение подвижных частей станка (стол, суппорт) в направлении выдерживаемого размера не меняются. Наладка резцов (инструментов) производится вне станка (рис.2.38).

При этом все элементы инструментальной подсистемы станка участвуют в размерной наладке, каждый из них имеет свою систему координат, положение и погрешность.

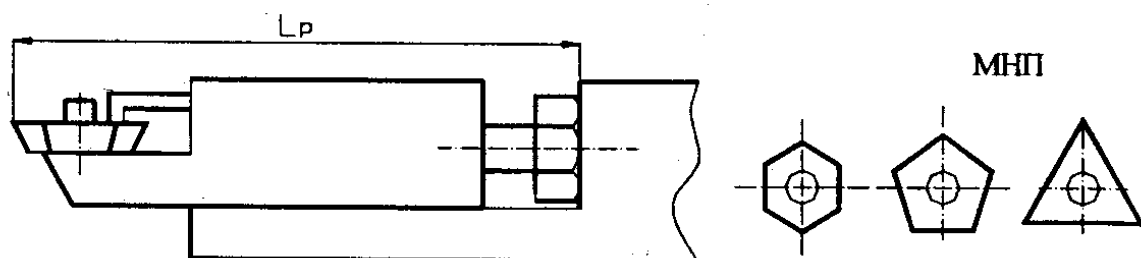


Рис.2.38. Схема наладки взаимозаменяемого резца с МНП

На рис.2.39 показана схема размерной цепи наладки для токарного станка с ЧПУ, в которой радиус детали (X_{56}) является замыкающим размером.

$$X_{56} = X_{06} - (X_{01} + X_{12} + X_{23} + X_{34} + X_{45})$$

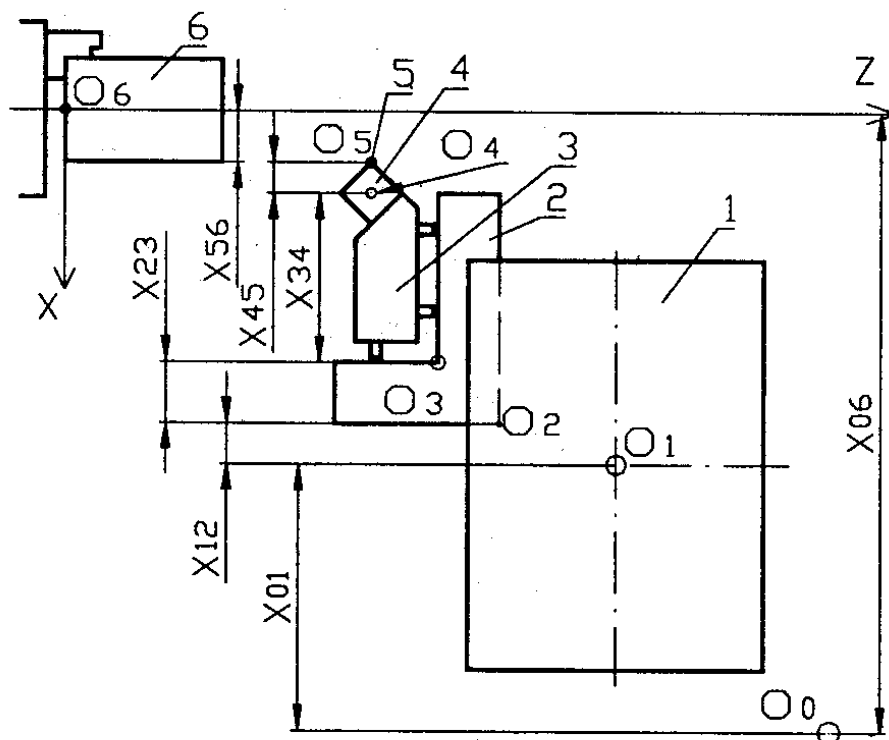


Рис.2.39. Размерная цепь наладки для токарного станка с ЧПУ

В уравнении использованы следующие обозначения:

X_{06} - координата исходной точки в системе станка;

X_{01} - величина вспомогательного хода резцедержателя;

X_{12} - координата вспомогательного инструмента в системе резцедержателя;

X_{23} - координата державки резца в системе вспомогательного инструмента;

X_{34} - координата центра МНП в системе державки;

X_{45} - координата вершины резца в системе пластины.

Если размерная наладка инструмента на станке с ЧПУ производится методом полной взаимозаменяемости, то при этом в размерную цепь включают все звенья инструментальной подсистемы. В этом случае суммарная погрешность статической наладки будет определяться следующим образом

$$\Delta_{x56} = K \sqrt{\Delta_{x06}^2 + \Delta_{x01}^2 + \Delta_{x12}^2 + \Delta_{x23}^2 + \Delta_{x34}^2 + \Delta_{x45}^2}$$

При методе полной взаимозаменяемости может быть обеспечена минимальная трудоемкость размерной наладки, но при этом требуется высокая точность всех элементов инструментальной системы.

Обычно используют метод неполной взаимозаменяемости. Метод заключается в том, что звенья X_{23} , X_{34} , X_{45} (рис.2.40) заменяют одним звеном X_{25} .

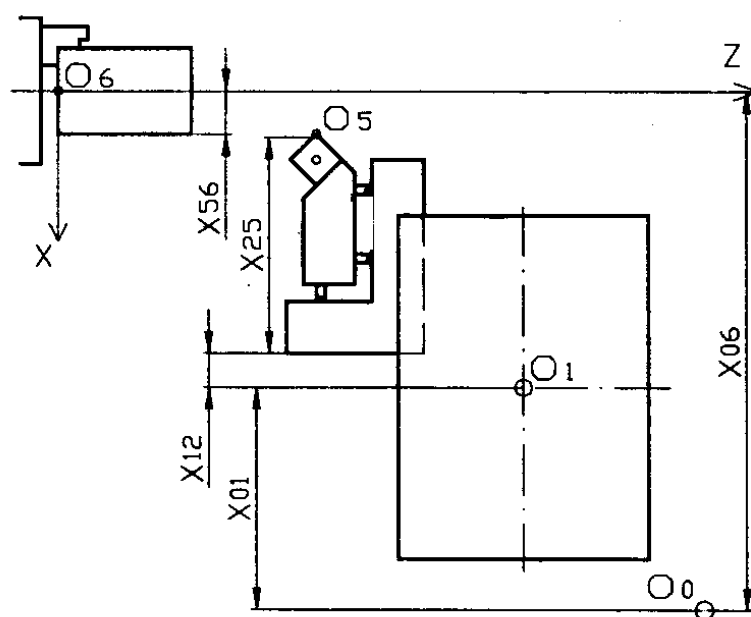


Рис.2.40. Размерная цепь при наладке инструмента вне станка

Размерная цепь становится короче: $X_{56}=X_{06}-(X_{01}+X_{12}+X_{25})$ и требуемую точность получить легче, чем в предыдущем случае.

Наладку цепи $X_{25}=X_{23}+X_{34}+X_{45}$ осуществляют вне станка на специальных приспособлениях.

Недостатками являются: необходимость использования специальных устройств; потребность в дополнительной площади; размерная цепь все же остается достаточно сложной; не компенсируются ошибки позиционирования, поворота револьверной головки, установки державки инструмента в головке и др.; не могут быть в полной мере реализованы преимущества МНП, ибо поворот пластин осуществляется вне станка при снятом блоке.

Для повышения точности размерной наладки производится комбинированная наладка, при которой настройка блока производится вне станка, а коррекция положения вершины резца осуществляется на станке с помощью специальных устройств (рис.2.41).

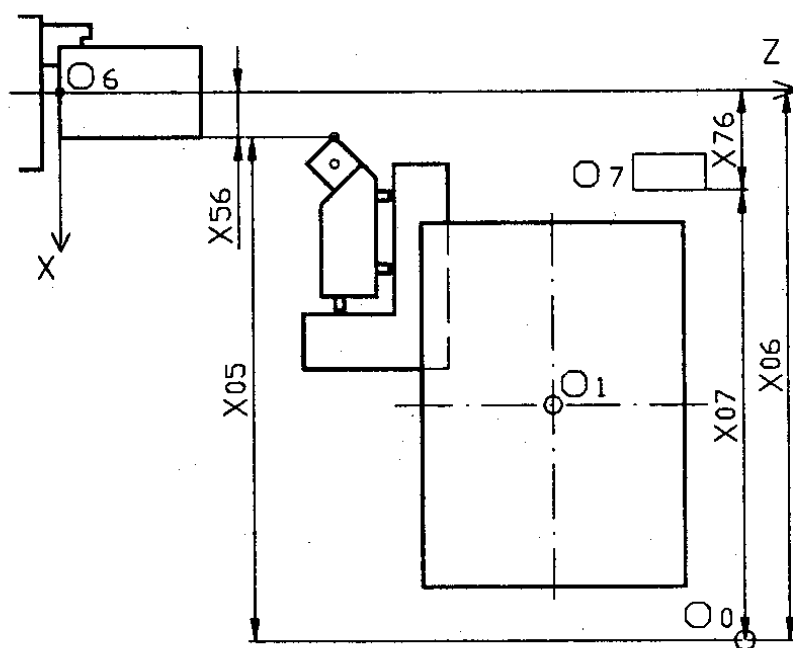


Рис.2.41. Комбинированная размерная наладка

Станок снабжают преобразователем для измерения положения вершины резца. Резец устанавливают в резцедержатель, затем по программе перемещают к датчику, который определяет погрешность положения вершины и автоматически вводит коррекцию в перемещение резца при позиционировании. При данном методе образуются две размерные цепи. Цепь коррекции начального положения инструмента $X_{06}=X_{67}+X_{07}$ и цепь точности статической наладки $X_{56}=X_{06}-X_{05}$, которая содержит всего три звена. На станках с ЧПУ для повышения точности наладки используют и другие приемы. Например, автоматизированный метод пробных рабочих ходов, при котором резец перемещается по программе к заготовке и снимает пробную стружку, далее происходит автоматическое определение действительного размера, сравнение его с заданным и автоматическая коррекция траектории инструмента.

2.3.8. Колебания при механической обработке

При работе на станках часто помимо основных движений элементов станка возникают другие нежелательные движения – колебания.

Колебания уменьшают стойкость режущего инструмента (иногда вызывают его поломку), точность, увеличивают шероховатость обработанной поверхности, приводят к интенсивному износу станков. Шум при вибрациях утомляет рабочего.

Колебания, возникающие при обработке, могут быть вынужденными, собственными (или свободными) и автоколебаниями.

Вынужденные колебания – это колебания вызываемые и поддерживаемые некоторыми возмущающими силами, т.е. силами, заданными в виде явных функций времени. К ним, например, относятся:

- колебания, передаваемые извне через фундамент от работающих поблизости станков, машин;

- колебания, вызываемые дисбалансом вращающихся частей станка, детали и т. д.;
- колебания, вызываемые дефектом передач станка (грубые шестерни, сшивки ремней, пульсации в гидроприводе);
- колебания, вызываемые прерывистым характером резания (работа зубьев фрезы, протяжки и т. д.).

Частота вынужденных колебаний равна или кратна частоте возмущающей силы. Устранение возмущающей силы приводит к устранению вынужденных колебаний.

Собственные колебания — это колебания автономных систем происходящие под действием восстанавливающих сил около состояния равновесия. Они возникают под воздействием каких-либо толчков и обычно достаточно быстро затухают. Частота собственных колебаний определяется массой и жёсткостью колеблющейся системы. При резании на станках силы сопротивления обычно велики, поэтому затухание собственных колебаний происходит быстро.

Уравнение собственных колебаний при наличии линейной восстанавливающей силы трения имеет следующий вид:

$$ay'' + by' + cy = 0$$

Общее решение такого уравнения имеет вид:

$$y = Ae^{-ht} \sin(kt + \alpha)$$

Как видно из предыдущего уравнения, движение представляет собой затухающие колебания с постоянной частотой, но постепенно убывающими отклонениями, так что процесс в целом характеризуется монотонным убыванием амплитуд (рис.2.42).

Последовательность максимальных отклонений амплитуд следует закону геометрической прогрессии, т.к. отношение двух последовательных

максимальных отклонений $A(t):A(t+T)$, разделенных интервалом времени T , является постоянной величиной, равной e^{ht} . Натуральный логарифм этого отношения называется логарифмическим декрементом. Логарифмический декремент служит удобной количественной характеристикой темпа затухания свободных колебаний.

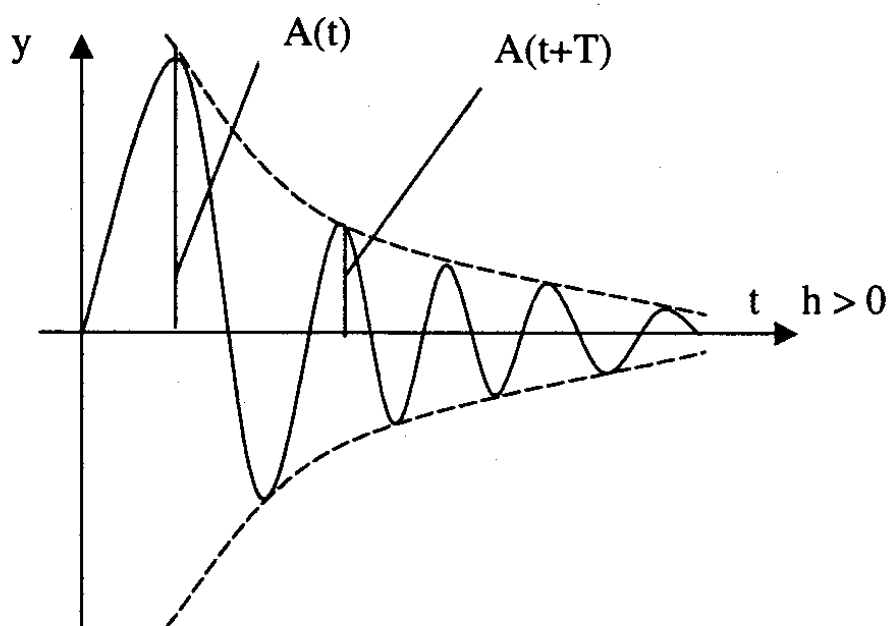


Рис.2.42. Схема процесса затухания собственных колебаний

Автоколебания — это незатухающие стационарные колебания, поддерживаемые за счет энергии, которая подводится к системе от некоторых источников неколебательного характера. Таким образом, автоколебательный процесс — это процесс, при котором переменная сила, поддерживающая колебательное движение, создаётся и управляется самим движением и при прекращении этого движения исчезает.

Частота автоколебаний близка к собственной частоте элементов колебательной системы, например, при тчении встречаются как низкочастотные колебания, связанные с колебаниями вала и его опор ($f \approx 70..300$ Гц), так и высокочастотные колебания, связанные с колебаниями резца (как правило, $f > 1000$ Гц).

Источником энергии автоколебательного движения является привод станка, который сам по себе не обладает колебательными свойствами.

Высокочастотные колебания возникают чаще всего при чистовой и получистовой обработках при больших скоростях резания из-за колебания резца и сопровождаются характерным свистом. На поверхности детали остаётся рябь (гребешки) с малым шагом (0,5..2 мм).

При низкочастотных колебаниях на поверхности детали заметны волны с большим шагом, слышен глухой звук. Шероховатость поверхности значительная.

Обычно необходимым условием возникновения автоколебаний в технологической системе является её недостаточная жёсткость, т.е. для уменьшения уровня колебаний необходимо стремиться обеспечить максимально возможную жесткость всех элементов технологической системы. Но даже при их значительной жесткости возникновение автоколебаний не исключено. Как отмечалось выше, колебания в значительной степени затрудняют реализацию запроектированных рациональных параметров технологических процессов. Для разработки мер борьбы с колебаниями необходимо знать причины их возникновения.

Исследование причин возникновения вибраций при резании, а также поиском путей их устранения посвящены работы многих ученых.

2.3.8.1. Основные гипотезы возникновения автоколебаний

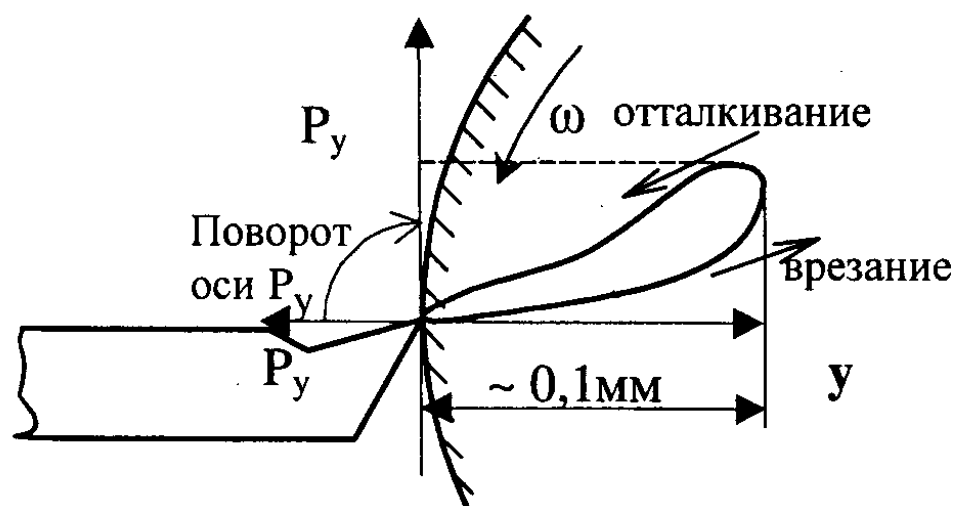
Впервые изучением причин возникновения вибраций занимался Тейлор. Он считал что, возникновение автоколебаний обусловлено последовательным скалыванием элементов стружки. Такое объяснение господствовало в науке свыше 40 лет. Однако, экспериментальные исследования А.П.Соколовского, А.И.Каширина, Л.С.Мурашкина, И.С.Амосова и др. показали, что при скоростях резания, при которых обычно производится обработка, с помощью

теории Тейлора не всегда можно объяснить возникновение автоколебаний. Частота колебаний в случае правильности "теории элементов стружки" должна была бы равняться числу элементов, скалываемых в секунду. Длина элементов стружки принимается независимой от скорости резания, поэтому частота должна была бы возрастать приблизительно пропорционально этой скорости, а следы вибраций на поверхности – оставаться одинаковыми по шагу при всех скоростях. Тем не менее, наблюдая вибрации при разных скоростях резания и определяя частоту колебаний, легко убедиться, что частота остается постоянной, а длина волны возрастает приблизительно пропорционально скорости резания, что находится в явном противоречии с "теорией элементов стружки"

Гипотеза А. П. Соколовского.

Соколовский А.П. изучал возникновение вибраций в случае свободного резания. В процессе исследования на осциллографе записывались значения радиальной составляющей силы P_y и перемещения резца в направлении y .

На основании этих данных была выявлена траектория движения вершины резца (рис.2.43).



Как видно из рисунка, при врезании сила P_y меньше чем при отталкивании резца. На основании этого проф. Соколовский А. П. сделал вывод, что

Рис.2.43. Изменение силы резания за цикл колебаний

первопричиной появления автоколебаний является

различие величин сил резания P_y при врезании и при отталкивании. При

врезании резец врезается в свежий не наклёпанный материал, а при отталкивании резец срезает уже деформированный, упрочненный слой материала. Это происходит из-за запаздывания пластической деформации материала относительно скорости перемещения вершины резца.

Таким образом, разные значения силы резания P_y при врезании и отталкивании сообщает технологической системе за каждый цикл энергию, идущую на поддержание колебательного движения.

При этом всякий фактор, способствующий уменьшению силы P_y при врезании и ее увеличению при отталкивании, благоприятствует появлению автоколебаний. И наоборот, факторы, снижающие P_y при отталкивании и увеличивающие при врезании способствуют снижению уровня автоколебаний.

Соколовский А.П. считал, что сопутствующими причинами возникновения автоколебаний является нелинейная зависимость составляющей силы резания P_y от скорости резания V , а также изменение углов резания при вибрациях и пр.

Однако, следует отметить, что при резании свинца, красной меди, не обладающих пластическим упрочнением, также возникают вибрации, что не согласуется с гипотезой А.П.Соколовского.

Гипотеза Каширина А.И – Мурашкина Л.С.

Согласно этой гипотезе, первопричиной возникновения автоколебаний является падающая характеристика силы трения и силы резания от скорости.

На рис.2.44 показаны зависимости составляющей P_y силы резания и коэффициента трения скольжения f от скорости резания.

Как видно из рисунка, при увеличении скорости резания V от 50 до 110 м/мин составляющая P_y имеет падающую характеристику. Это связано с зависимостью силы резания (коэффициента трения) от скорости резания.

$$P_y = f \cdot N (f - \text{переменный}).$$

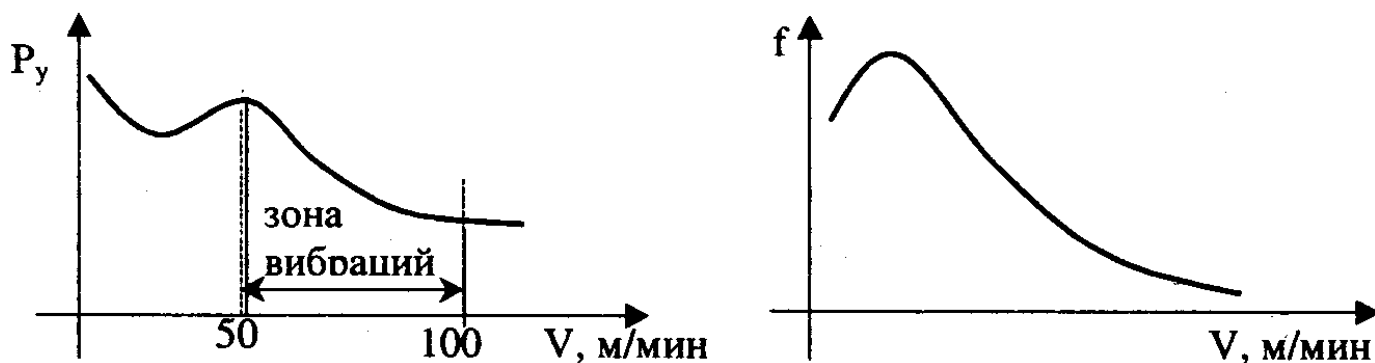


Рис.2.44. Зависимости составляющей P_y силы резания и коэффициента трения скольжения f от скорости резания

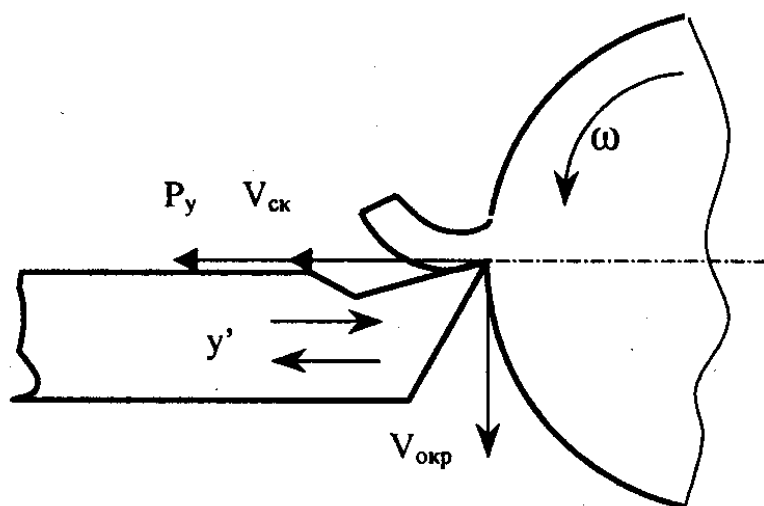


Рис.2.45. Изменение скорости скольжения стружки при колебаниях

Скорость скольжения стружки по передней грани резца $V_{ск}$ ($y'_{ск}$) определяется следующим выражением (рис.2.45):

$$V_{ск} = V_{окр} \cdot \xi,$$

где ξ – коэффициент усадки стружки.

Следовательно, если резание осуществляется на участке падающей характеристики, составляющая P_y при вибрациях будет переменная.

$$\left. \begin{array}{l} \text{При врезании} \quad V_{ск} + y' \rightarrow P_{у \text{ врез}} \\ \text{При отталкивании (отходе)} \quad V_{ск} - y' \rightarrow P_{у \text{ отх}} \end{array} \right\} P_{у \text{ отх}} > P_{у \text{ врез}}$$

Это условие является необходимым для поддержания автоколебаний в системе.

Если провести такой же анализ для поднимающегося участка характеристики, то можно сделать вывод о том, что $P_{у \text{ врез}} > P_{у \text{ отх}}$, а это должно было бы способствовать гашению автоколебаний. Однако, автоколебания, хотя и реже, но всё-таки возникают и на поднимающемся участке кривой. Объяснение этого явления даны в работах Л.С.Мурашкина и С.Л.Мурашкина.

Физический смысл возникновения автоколебаний по данной гипотезе

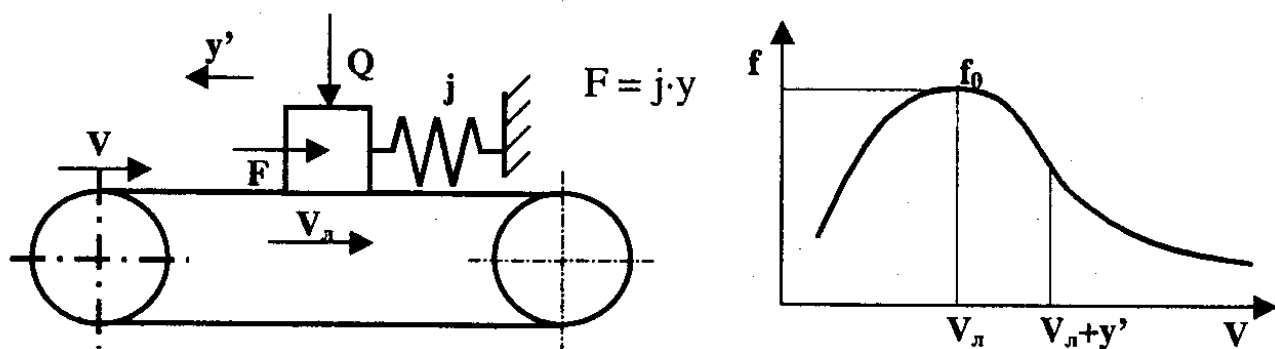


Рис.2.46. Схема модели Ван-дер-Поля

объясняется с помощью модели Ван-дер-Поля (рис.2.46).

В этом случае бесконечная лента транспортера аналогична стружке, скользящей по передней грани резца. Упругая связь в виде пружины символизирует жёсткость элементов технологической системы.

Гипотеза И. С. Амосова.

В соответствии с этой гипотезой, первопричиной автоколебаний является точение "по следу". При этом, при каждом последующем обороте резец срезает волны, оставшиеся от вибраций на предшествующем обороте (рис.2.47). Экспериментально установлено, что при точении по следу самоустанавливается

сдвиг фаз колебаний на текущем и на предшествующем оборотах на величину $\pi/2$. Колебания на последующем обороте отстают от волн на поверхности резания, т. е. от колебаний, которые были на предыдущем обороте. Благодаря этому сдвигу (колебания на данном обороте сдвинуты относительно профиля волн, т. е. колебаний на предыдущем обороте) возникает неодинаковость толщины стружки при "врезании" и "отталкивании". Такой сдвиг наблюдается всегда при установившихся колебаниях при точении по следу. Если бы такого сдвига не было, т.е. вершины волн совпадали бы с вершинами колебаний, то стружка снималась бы постоянной толщины, и поэтому отсутствовали бы те силы, которые периодически раскачивают вал и резец. Автор считает, что 85 % переменной силы в системе получается от съёма переменного сечения стружки и 1...3 % от энергии резания идёт на поддержание энергии автоколебаний.

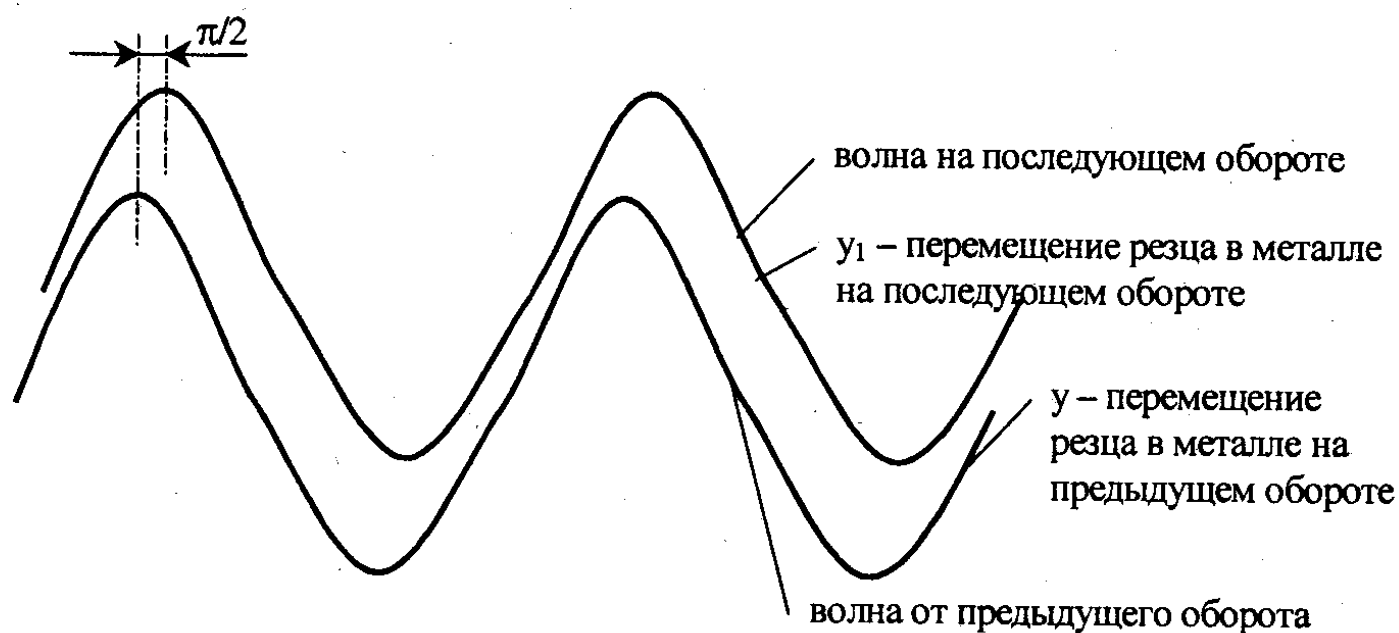


Рис.2.47. Схема точения по "следу"

Обычно выдвигают возражения, что вибрации возникают и при точении "чистой" поверхности, т.е. поверхности без следов вибрации. Однако, опыт показывает, что "спокойного резания", т.е. резания без колебаний практически не существует.

Гипотеза Ильницкого И. И.

По этой гипотезе первопричиной возбуждения автоколебаний является периодическое изменение истинной геометрии резца. На рис.2.48 показаны эти изменения при врезании и отталкивании. Здесь и далее индексами "р" обозначены углы резца в статическом положении, а "ф" - фактические, т.е при колебаниях.

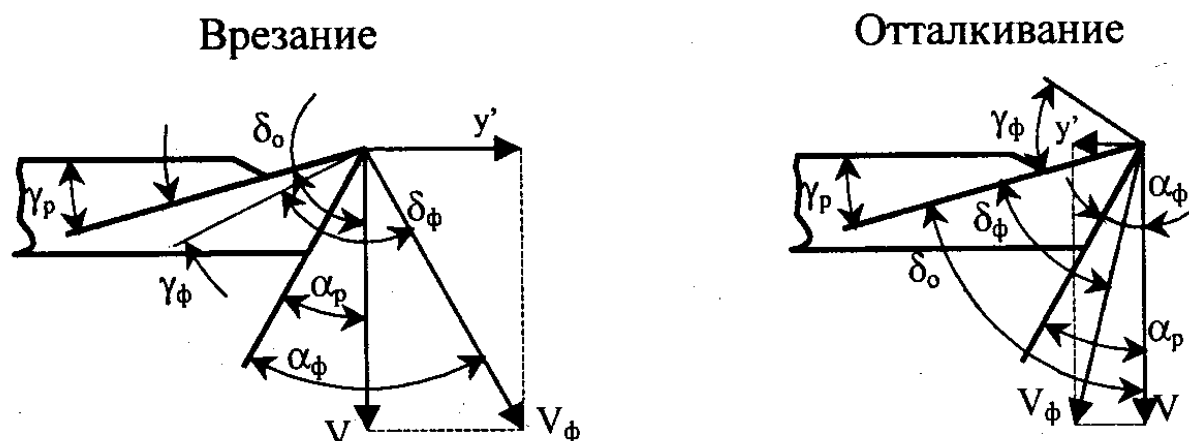


Рис.2.48. Изменение геометрии резца в процессе колебаний

Однако многие авторы этот фактор не считают первопричиной, а считают его следствием автоколебаний.

Гипотеза Штейнберга И.С.

Возбуждение колебаний связано с образованием и срывом нароста на резце.

При этом возможны три случая возникновения вибраций.

1. Частота срывов совпадает с частотой собственных колебаний изделия и возникает резонанс.
2. Частота срывов нароста приближается к частоте собственных колебаний изделия и амплитуда колебаний начинает расти. При этом величина амплитуды определяется жесткостью изделия и степенью приближения частоты срыва наростов к частоте собственных колебаний.

3. Частота срывов значительно меньше частоты собственных колебаний. При этом условием возбуждения колебаний является, с одной стороны, малая жесткость изделия, и с другой, - относительно большие размеры срывающегося нароста. При срыве нароста возникают свободные затухающие колебания изделия, которые могут быть настолько большими, что способны вызвать силы вторичного возмущения за счет изменения сечения среза, достаточные для дальнейшего развития процесса вибраций.

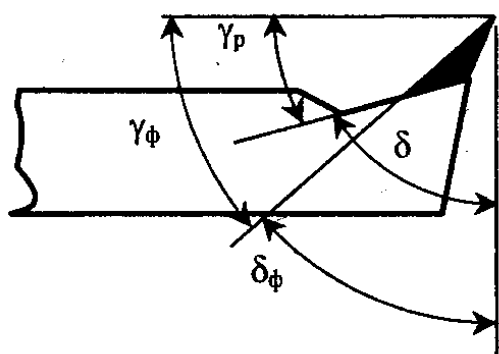


Рис.2.49. Изменение геометрии резца при образовании нароста

Кроме того, образование нароста способствует изменению геометрии резца ($\gamma_\phi > \gamma_p$, $\delta_\phi < \delta$), (рис.2.49), а, следовательно, и изменению силы за цикл колебаний..

Однако автоколебания существуют и в зонах без наростообразования (рис.2.50).

Основываясь на анализе траектории замкнутого контура колебательных движений, которая близка к эллипсу, В.А.Кудинов и И.Тлустый независимо друг от друга выдвинули гипотезу, основанную на принципе координатной связи, сущность которой состоит в следующем.

Если тело совершает колебания в плоскости по двум направлениям и эти

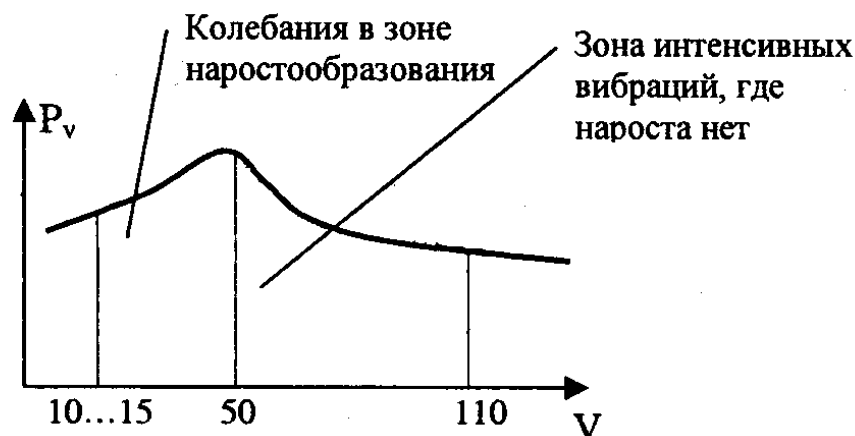


Рис.2.50. Возможные зоны возникновения автоколебаний

колебания связаны друг с другом, то при колебаниях в некоторых случаях может получиться положительная работа за цикл, хотя движения по каждому из этих направлений в отдельности совершались бы с поглощением работы. Анализ показал, что наибольшей устойчивостью обладает система, где направление наибольшей жесткости располагается между нормалью к обработанной поверхности и направлением равнодействующей силы резания.

2.3.8.2. Методы борьбы с колебаниями

На практике используются следующие основные методы борьбы с колебаниями.

1. Повышение жёсткости технологической системы, а также её узлов. С увеличением жёсткости растёт частота собственных колебаний и, следовательно, уменьшается амплитуда колебаний.
2. Уменьшение колеблющихся масс, если это не влечёт уменьшение жесткости элементов технологической системы.
3. Увеличение сил сопротивления колебательному движению, за счёт чего увеличивается рассеивание энергии при колебаниях.
4. Уменьшение сил, возбуждающих вибрации (внешних – при вынужденных колебаниях, внутренних – при автоколебаниях).
5. По возможности исключение прерывистого резания или применение косозубых фрез, уменьшение шага зубьев фрез.
4. Балансирование быстро вращающихся частей технологической системы (шлифовальных кругов, шпинделей и др.). При точении несимметричных заготовок установка противовесов.
5. Устранение дефектов в передачах и кинематических цепях станка.
6. Изоляция технологической системы от внешних источников колебаний (использование виброопор, изолированных фундаментов и т.п.).

7. Выбор режимов резания, вне зон наиболее вероятного возникновения колебаний.
8. Применение рациональных СОЖ (за счет чего уменьшается трение в зоне резания, а, следовательно и сила резания).
9. Устранение зазоров в подвижных соединениях и обеспечение плотности стыков в неподвижных соединениях.
10. Использование рациональной геометрии режущего инструмента: увеличение углов в плане и передних углов, применение виброгасящих фасок (рис.2.51), пружинных резцов (рис.2.52), резцов с низко расположенной режущей кромкой (рис.2.53), в некоторых случаях работа перевернутым резцом и т.д.

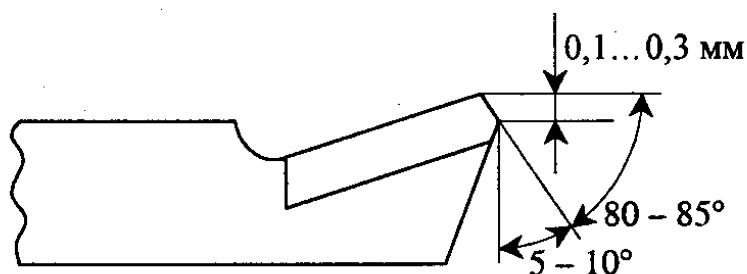


Рис.2.51. Резец с виброгасящей фаской

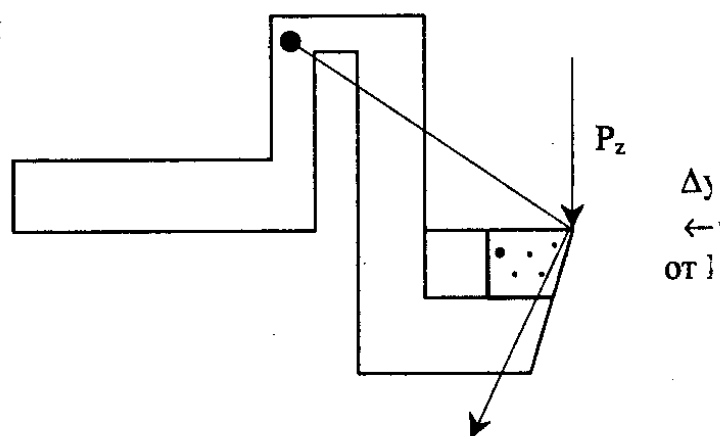
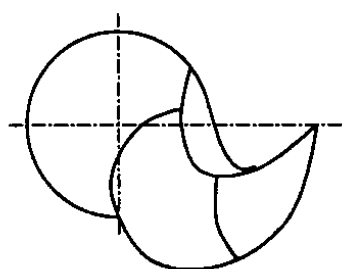
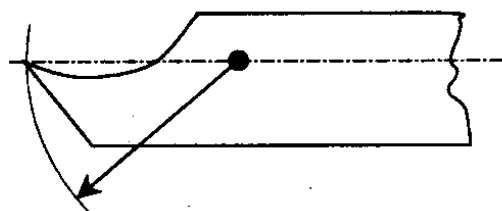


Рис.2.52. Пружинный резец



а)

Δy
→
от P_z



б)

Рис.2.53. Конструкция резцов с низко расположенной режущей кромкой:
а) – расточной резец токаря К.В.Лакура; б) – токарный резец

Применение виброгасителей, которые, не повышая жёсткости технологической системы, поглощают энергию колебательного движения за счёт введения в систему дополнительных искусственных сопротивлений (например, гидравлические виброгасители – рис.2.54).

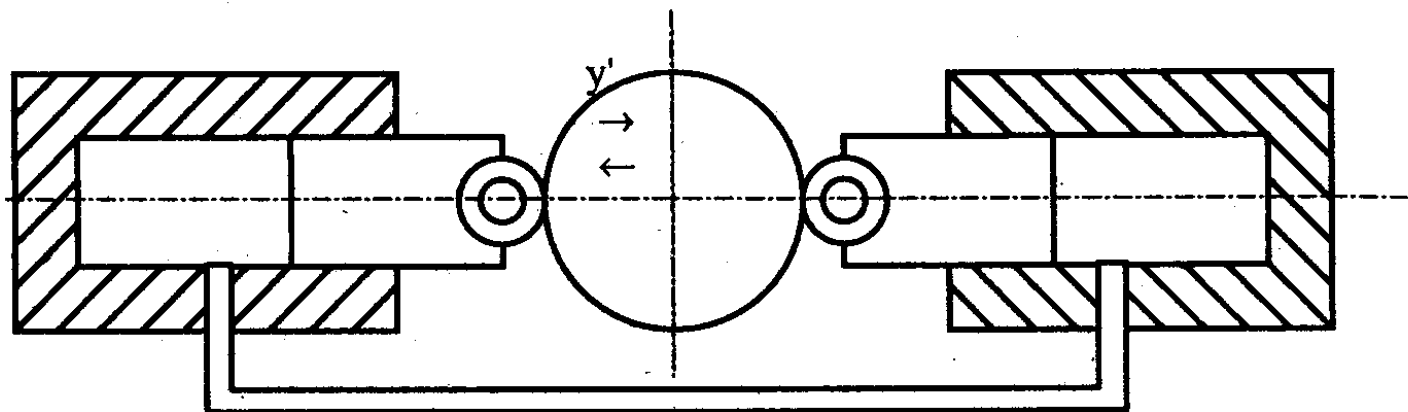


Рис.2.54. Схема гидравлического виброгасителя

Также применяют динамические гасители колебаний, представляющие собой присоединяемую массу, колеблющуюся со сдвигом фазы на π , за счёт чего гасятся колебания (рис.2.55).

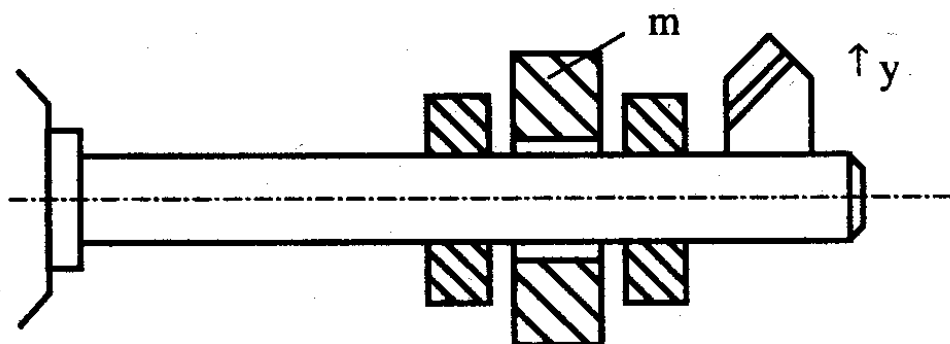


Рис.2.55. Схема динамического кольцевого виброгасителя ударного действия

2.3.9. Баланс точности технологической операции

Расчеты погрешностей необходимы для обоснованного проектирования технологических процессов. Как было отмечено выше, точность технологических процессов исследуют с помощью расчетно-аналитических, вероятностно-статистических и расчетно-статистических моделей.

При составлении баланса точности технологической операции используются расчетно-статистические модели.

Выше были рассмотрены закономерности для определения отдельных составляющих суммарной погрешности обработки. На рис.56,а показаны изменения систематических составляющих некоторых закономерно изменяющихся погрешностей (размерного износа u , тепловых деформаций резца ξ и станка ϵ).

Для построения математической модели точности суммируются значения отдельных закономерно изменяющихся систематических погрешностей и определяется суммарное рассеивание случайных составляющих погрешности обработки (Δ_p), см. рис.2.56,б. Здесь использованы обозначения: 1,2,3...m- номера сечений, которые, в нашем случае, соответствуют номерам заготовок;

$$\Delta_p = 6S_\Sigma$$

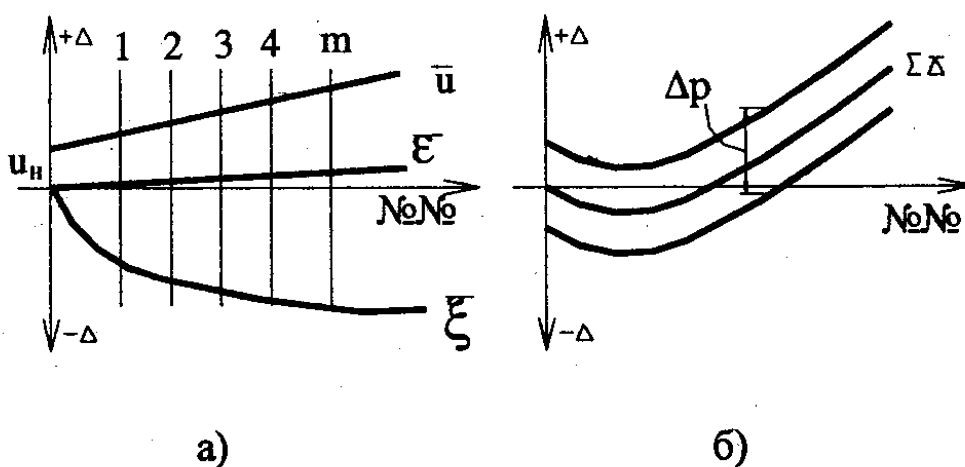


Рис.2.56. Изменение систематических закономерно изменяющихся погрешностей (а) и суммарной погрешности (б) при изготовлении партии деталей

Суммарная погрешность обработки в наиболее общем виде определяется следующей зависимостью:

$$\Delta_{\Sigma}=f(\epsilon_y; \Delta Y; \Delta n; \Delta u; \Delta t; \Delta g_n; \Delta o_n; \Delta k; \Sigma \Delta \Phi; \Delta A_{\text{кол}}; \Delta P_{\text{стр}})$$

где: ϵ_y – погрешность установки заготовок; ΔY – погрешность из-за упругих деформаций звеньев технологической системы; Δn – погрешность наладки на размер; Δu – погрешность, вызываемая размерным износом инструмента; Δt – погрешность, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы; Δg_n – погрешность, вызываемая геометрическими неточностями оборудования; Δo_n – погрешность, вызываемая остаточными внутренними напряжениями; Δk – погрешность текущего и окончательного контроля; $\Sigma \Delta \Phi$ – суммарная погрешность формы; $\Delta A_{\text{кол}}$ – погрешности, определяемые амплитудой колебаний в технологической системы; $\Delta P_{\text{стр}}$ – погрешность, вызываемая нарушениями нормального течения процесса резания.

Две последних составляющих $\Delta A_{\text{кол}}$ и $\Delta P_{\text{стр}}$ определяют не только величину погрешности, но и вообще возможность реализации процесса резания с запроектированными технологическими параметрами. Учитывая, что резание без колебаний вообще, невозможно на практике принимается положение, что колебания в системе допустимы, если их амплитуда постоянна, т.е. имеет место предельный цикл, а величина ее не превышает 10...15% от поля допуска, т.е. лежит в пределах высоты микронеровностей поверхности.

Рассмотренные выше элементарные систематические погрешности обработки (y , u , ξ , ϵ и др.) представляют собой случайные функции (СФ) или точнее случайные процессы (СП). Мы воспользуемся тем свойством СФ, что в сечениях по аргументу СФ представляют собой СВ, что дает возможность сум-

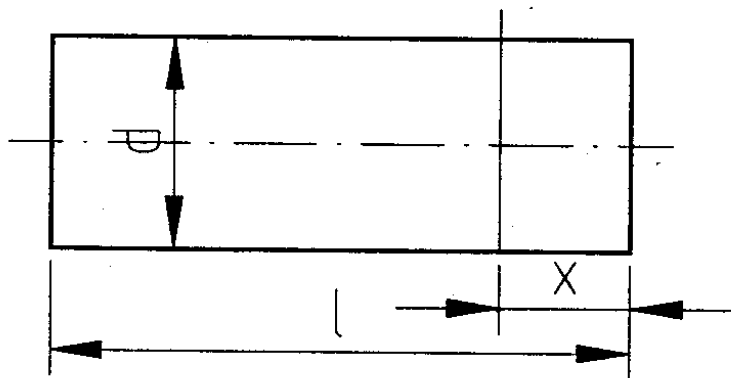
мировать по сечениям погрешность обработки, как СВ с определением среднего значения и дисперсии.

В качестве аргумента при построении диаграммы точности принимается любой из параметров, отражающих течение ТП (τ , L , или при обработке партии деталей просто номер обрабатываемой заготовки), т.к. они связаны определенной зависимостью. Например, при обработке партии цилиндрических заготовок (рис.2.57)

$$L = \frac{\pi \cdot d \cdot l}{10^3 \cdot S} \cdot \left[(m-1) + \frac{x}{l} \right] (\text{м}) \quad \left| \begin{array}{l} \pi \cdot d \cdot l = L \cdot S \cdot 10^3 \\ L = V \cdot \tau \end{array} \right.$$

$$\tau = \frac{\pi \cdot d \cdot l}{10^3 \cdot S \cdot V} \cdot \left[(m-1) + \frac{x}{l} \right] (\text{мин})$$

Где: d и l - размеры заготовки; S, V - режимы обработки; L - путь резца; m - номер заготовки; x - координата обработки.



При проведении расчетов используются некоторые, известные в теории вероятности теоремы о числовых характеристиках СВ.

Для упрощения расче-

Рис.2.57. Схема для расчета времени обработки

тимися нормальному закону распределения.

1. Неслучайную величину можно выносить за знак математического ожидания, а за знак дисперсии, возводя ее в квадрат.

$$M[cX] = cM[X] \text{ и } D[cX] = c^2 D[X]$$

2. Математическое ожидание суммы СВ равно сумме их математических ожиданий, а дисперсия суммы случайных величин равна сумме дисперсий слагаемых.

$$M\left[\sum_{i=1}^n X_i\right] = \sum M[X_i], \text{ а } D\left[\sum_{i=1}^n X_i\right] = \sum D[X_i]$$

3. Математическое ожидание линейной функции равно той же линейной функции от математического ожидания аргументов. Дисперсия линейной функции равна сумме произведений квадратов коэффициентов на дисперсии соответствующих аргументов. Линейная функция $\sum_{i=1}^n a_i \cdot X_i + b$

$$M\left[\sum_{i=1}^n a_i \cdot X_i + b\right] = \sum_{i=1}^n a_i \cdot M[X_i] + b$$

$$D\left[\sum_{i=1}^n a_i \cdot X_i + b\right] = \sum_{i=1}^n a_i^2 \cdot D[X_i]$$

4. Математическое ожидание произведения независимых СВ равно произведению их математических ожиданий. Дисперсия произведений независимых центрированных СВ равна произведению их дисперсий.

$$M[\Pi X_i] = \Pi M[X_i]; D[\dot{X} \dot{Y}] = D[\overset{\circ}{X}] D[\overset{\circ}{Y}]$$

5. Для определения дисперсии нелинейной функции используем разложение в ряд Тейлора, сохраняя только члены первого порядка.

$$\text{Тогда } D[Y] = \sum \left(\frac{\partial \varphi}{\partial X_i} \right)^2 D X_i$$

Практическое применение этих теорем приведено ниже для некоторых элементарных погрешностей обработки.

На основании теоремы 2:

$$\bar{\Delta}(\Sigma) = \bar{u} + \bar{\xi} + \bar{\varepsilon} + \bar{y} + \bar{\Delta}_n + \bar{\Delta}_{\text{до}}$$

$$S^2(\Sigma) = S^2(u) + S^2(\xi) + S^2(\varepsilon) + S^2(y) + S^2(\Delta_H)$$

На основании теоремы 3:

$$\bar{u} = \bar{u}_H + \bar{u}_o \cdot L; S^2(u) = S^2(u_H) + L^2 S^2(u_o)$$

$$\bar{\xi} = \bar{\xi}_{cm} (1 - l - \frac{\tau}{T}); S^2(\xi) = (1 - l - \frac{\tau}{T})^2 \cdot S^2(\xi_{cm})$$

$$\bar{\varepsilon} = \bar{\varepsilon}_{cm} (1 - l - \frac{\tau}{T}); S^2(\varepsilon) = (1 - l - \frac{\tau}{T})^2 \cdot S^2(\varepsilon_{cm})$$

$$S^2(\Delta_H) = S^2 \cdot \left(\frac{\Delta_H}{6} \right)$$

На основании теоремы 4:

$$\bar{y} = \bar{P}_y \cdot \bar{W}; \bar{P}_y = K \cdot \bar{C}_p \cdot \bar{t}^x \cdot S^y \cdot V^{-n}$$

$$S^2(y) = S^2(P_y) \cdot S^2(W_{cисм.})$$

$$W_{cисм.} = W_{cун.} + W_{3.б.} \cdot \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + W_{н.б.} \cdot \left(\frac{l}{x} \right)^2 + W_{заг.}$$

$$S^2(W_{cисм.}) = S^2(W_{cун.}) + \left(\frac{l-x}{l} \right)^4 \cdot S^2(W_{3.б.}) + \left(\frac{x}{l} \right)^4 \cdot S^2(W_{н.б.}) + S^2(W_{заг.}) \cdot \left[\frac{x^2 \cdot (l-x)^2}{3 \cdot E \cdot J} \right]^2$$

Полное рассеивание при обработке Δ_p может быть определено:

1) расчётно-аналитическим методом на основе выявления составляющих и последующего сложения с учётом законов их распределения

$$\Delta_p = 6 \cdot S_\Sigma;$$

2) экспериментально-расчётным методом (для выборки $n \leq 10$ шт)

$$\Delta_p = 6 \cdot \frac{R}{d_m}, \text{ где } R = (X_{\max} - X_{\min}) - \text{размах размеров деталей в выборке; } d_m -$$

коэффициент, зависящий от объёма выборки, значения которого приведены ниже.

m	4	5	6	7	8	9	10
d_m	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847	2,97	3,037

2.3.10. Управление точностью механической обработки

Рассмотрение технологической системы как автоматически действующей показывает возможные пути управления точностью механической обработки:

- управление по входным параметрам;
- управление по внешним возмущающим воздействиям;
- управление по выходным параметрам.

Управление по входным параметрам предполагает использование следующих мероприятий:

- повышение точности заготовок;
- работа на оптимальных режимах резания;
- повышение жёсткости оборудования (или ее выравнивание);
- повышение износостойкости режущего инструмента;
- повышение точности оборудования;
- повышение точности наладки.

Это традиционный путь. В этом случае регулирование производится без обратной связи, что, в определенной степени, ограничивает возможности этого метода, поскольку существуют пределы повышения точности, жесткости, виброустойчивости и других характеристик элементов технологической системы.

Система автоматического регулирования точностью, использующая для управления результаты измерения внешних возмущающих воздействий, является системой с обратной связью. Эти системы разнообразны по конструкции в зависимости от того, какие возмущающие воздействия устраняются. Наиболее часто возмущающим воздействием, используемым для регулирования, являются

ся упругие деформации элементов технологической системы. Так например, адаптивные системы, разработанные под руководством профессора Балакшина Б.С., уменьшают влияние упругих деформаций в направлении Y на точность обработки за счет стабилизации силы резания. Известно, что

$$y = \frac{P_y}{j}$$

Принимая жесткость постоянной для поддержания постоянства упругих деформаций необходимо поддерживать постоянство силы резания.

$$P_y = K_y \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^{-n}$$

В большинстве систем подобного типа для поддержания постоянства силы резания используется изменение подачи т. к. влияние подачи S на силу P_y значительнее, чем влияние скорости резания V .

На рис.2.58. показана структурная схема одной из таких систем. На рисунке использованы следующие обозначения:

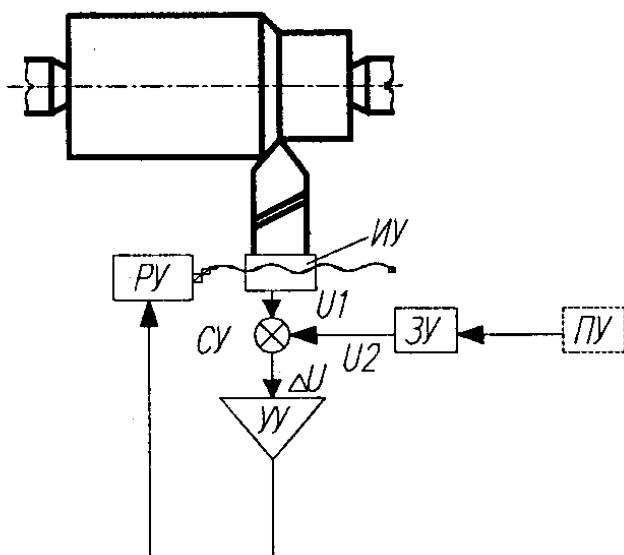


Рис.2.58. Структурная схема системы, использующей для регулирования внешние возмущающие воздействия

ИУ – измерительное устройство; УУ – усилительное устройство; ЗУ – задающее устройство; ПУ – программирующее устройство; РУ – регулирующее устройство; СУ – сравнивающее устройство.

Система работает следующим образом. Сигнал u_1 о текущем значении P_y поступает от встроенного в суппорт динамометра (ИУ) на сравнивающее устройство (СУ). Этот

сигнал u_1 сравнивается с сигналом $u_2 = f(P_{\text{эталонное}})$. Рассогласование $(u_1 - u_2) = \Delta u$ поступает на регулирующее устройство (РУ), которое производит изменение S на необходимую величину. Иногда в таких системах используют программирующие устройства для учёта изменения жёсткости элементов технологической системы.

Применение таких систем позволяет уменьшить погрешности от упругих деформаций в 2...5 раз. При этом уменьшаются перегрузки и вероятность поломки станков и инструментов.

Применение регулирования точности по отклонению выходного параметра (например, размера) позволяет достичь наиболее существенных результатов, т.к. измеряется непосредственно обеспечиваемый параметр. На рис.2.59 показана структурная схема одной из таких систем, разработанных в СПбГТУ

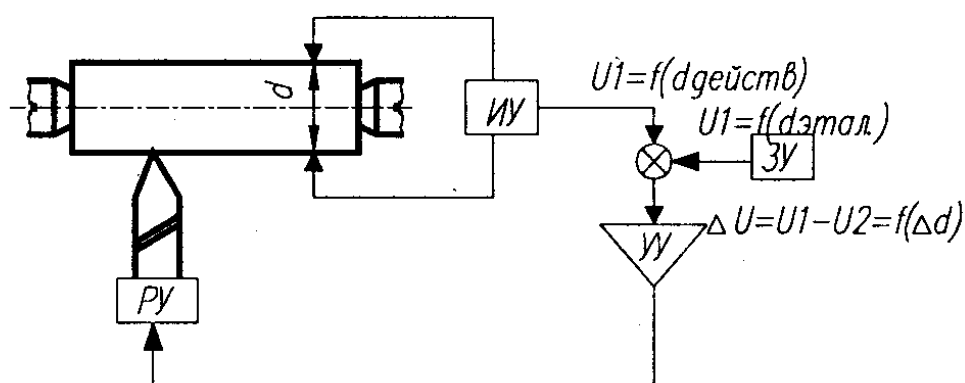


Рис.2.59. Структурная схема системы регулирования по отклонению

Система работает следующим образом. В процессе резания производится непрерывное измерение, в данном случае, диаметрального размера детали. В результате измерительное устройство ИУ выдает сигнал, пропорциональный действительному размеру детали $u_1 = f(d_{\text{действительное}})$. Далее производится сравнение текущего значения размера детали с требуемым

($d_{\text{эталонное}}$) и вырабатывается управляющий сигнал, пропорциональный отклонению Δd .

Такая система автоматического управления точностью должна содержать:

- измерительное устройство для определения действительной величины регулируемого параметра;
- усилительно-преобразующую аппаратуру для преобразования и усиления сигнала рассогласования;
- исполнительный механизм (регулирующее устройство) для автоматической компенсации возникающих погрешностей (отклонений).

При такой схеме (рис.) компенсируются погрешности от упругих деформаций детали и других элементов ТС, тепловых деформаций резца и станка, износа режущего инструмента, геометрической неточности станка и другие, кроме тепловых деформаций детали.

При работе на шлифовальных станках широко используются упрощенные варианты подобных систем, так называемый активный контроль, который обеспечивает отключение станка по достижении требуемого параметра, например, требуемой точности размера (рис.2.60).

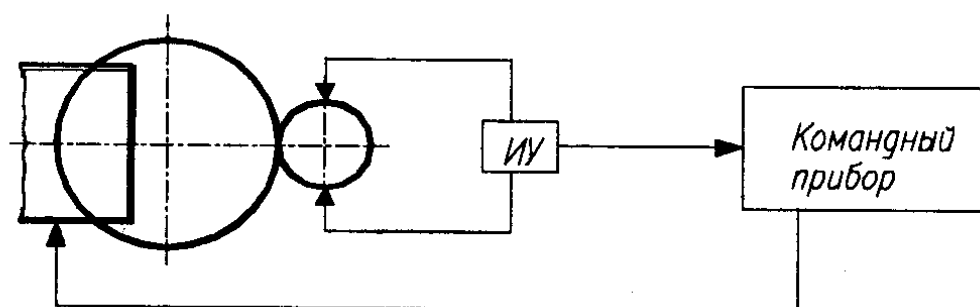


Рис.2.60. Схема активного контроля при круглом шлифовании

Командный прибор может выдавать, в частности, следующие технологические команды: предварительное шлифование; окончательное шлифование; остановка.

На кафедре "Технология машиностроения" СПбГТУ разработана гамма систем для точения и растачивания, использующих для управления точностью явление "отрицательной" жесткости (рис.2.61). Например, при точении загото-

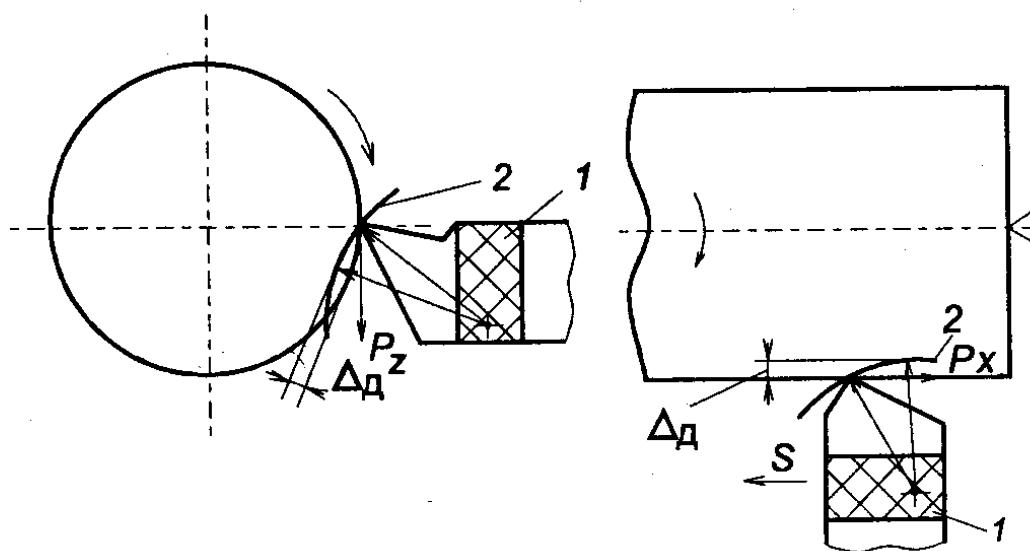


Рис.2.61. Схема работы механической адаптивной системы

вок с неравномерными припусками и твердостью соответственно изменяются силы резания и, следовательно, упругое отжатие резца. При увеличении силы резания P_x и P_z происходит упругий поворот резца в соответствующем направлении, уменьшается глубина резания и возрастает получаемый размер. Компенсацию упругих отжатий предлагается производить путем введения в конструкцию резца упругого элемента между головкой (режущей частью) и телом (стержнем). При этом центр поворота режущей части резца рассчитывается таким образом, что при увеличении сил P_x и P_z происходит поворот головки резца в вертикальной плоскости (от силы P_z) или в горизонтальной (от силы P_x) в тело заготовки, чем увеличивается глубина резания, то есть, восстанавливается размер первичной наладки.

3. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ

3.1. Критерии качества поверхностного слоя

Качество поверхности характеризуется шероховатостью и физико-механическими свойствами поверхностного слоя, а также некоторыми другими параметрами, например, волнистостью.

Оно является результатом воздействия на этот слой применяемых технологических методов и определяет эксплуатационные свойства деталей и машин.

Шероховатость – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине.

Стандарт предусматривает следующие основные параметры шероховатости поверхности:

- Ra - среднее арифметическое отклонение профиля;
- Rz - высота неровности профиля по десяти точкам;
- R_{max} - наибольшая высота профиля;
- S_m - средний шаг неровностей;
- S - средний шаг местных выступов профиля;
- t_p - относительная опорная длина профиля, где p - значение уровня сечения профиля в % от R_{max} .

Все параметры шероховатости поверхности определяются на базовой длине. Базовая длина l - это длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.

Наиболее часто на чертежах приводятся высотные параметры Ra и Rz .

Среднее арифметическое отклонение профиля Ra – среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля y от средней линии в пределах базовой длины l

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

или приближенно

$$R_a \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где n – число выбранных точек профиля на базовой длине.

Параметр R_a является предпочтительным параметром.

Значения величин $R_a = 100 \dots 0,008$ мкм; $l = 0,01 \dots 25$ мм.

Согласно ГОСТу для обеспечения и удешевления внедрения в производство систем стандартизации и контроля шероховатости рекомендуется выбирать значения R_a из следующих предпочтительных значений, мкм: 0,012; 0,025; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25; 50; 100.

Высота неровностей профиля по десяти точкам R_z – сумма средних арифметических абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубины пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |H_{i_{max}}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i_{min}}| \right);$$

$R_z = 1600 \dots 0,025$ мкм.

Предпочтительные значения R_z , мкм: 0,025; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25; 50; 100; 200; 400.

Приблизительное соотношение параметров R_z и R_a составляет $R_z \approx 4R_a$

Кроме основных стандарт устанавливает ряд дополнительных параметров, например:

- среднее квадратическое отклонение профиля;
- средний квадратический наклон профиля;
- средний арифметический наклон профиля.

Требования к шероховатости устанавливаются по одному или нескольким параметрам.

При назначении шероховатости конструктор стремится к выбору ее оптимальных значений, т.е. к наименьшим комплексным затратам, связанным с изготовлением деталей машин и ее эксплуатацией. При этом часто пользуются нормативами, выработанными в течение длительного времени для различных условий эксплуатации и методов обработки, приведенными в справочниках технолога.

3.2. Влияние технологических факторов на величину шероховатости

На шероховатость поверхности заготовок и деталей оказывают влияние многие технологические факторы. При обработке резанием величина, форма и направление неровностей зависят от методов, режимов и схемы обработки. Каждому методу соответствует определенный диапазон шероховатостей. Из параметров режимов резания наиболее существенное влияние на величину шероховатости оказывают скорость резания и подача.

Влияние скорости резания на шероховатость зависит от наростообразования на режущей кромке инструмента, а также от захвата и отрыва слоев, расположенных под режущей кромкой (для стали), и хрупкого выламывания частиц материала (для серого чугуна и твердых цветных сплавов). Зависимость величины шероховатости от скорости резания представлена на рис.3.1,а. График показывает, что при скоростях порядка 15...30 м/мин имеет место увеличение шероховатости. Причиной является наростообразование на резце. При скорости резания более 30 м/мин из-за возрастания температуры в зоне резания наростообразование прекращается и величина шероховатости уменьшается. При обработке резанием материалов не склонных к образованию нароста величина шероховатости не зависит от изменения скорости резания.

При шлифовании шероховатость снижается с увеличением скорости круга и уменьшением его подачи во всех трех направлениях.

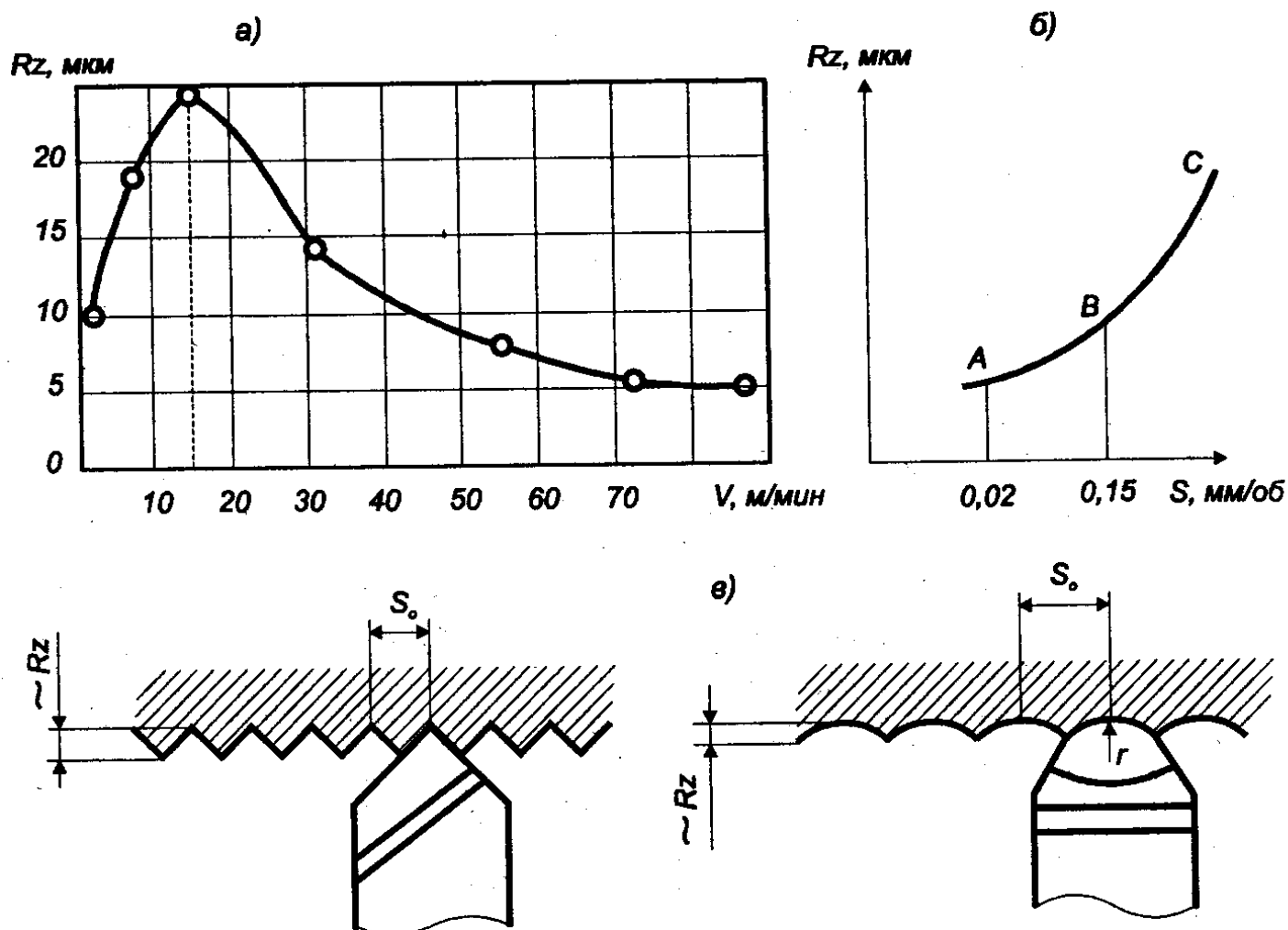


Рис.3.1. Влияние технологических факторов на величину микронеровностей: а) – скорости резания; б) – подачи; в) – радиуса закругления резца

Влияние подачи на шероховатость при точении можно приближенно определить из сопоставления двух смежных положений резца, смещенных на величину подачи S (рис.3.1,б,в) по формуле

$$R_z = \frac{S^2}{8r}$$

При точении и строгании резцами с широкой режущей кромкой, при сверлении, зенкерованиях, развертывании величина подачи оказывает мало

заметное влияние на шероховатость.

Глубина резания при достаточной жесткости не оказывает существенного влияния на шероховатость. При снятии корки у отливок и наклепанного слоя у стальных заготовок должна быть назначена глубина резания, обеспечивающая полное снятие такого слоя.

Геометрическая форма режущего инструмента оказывает влияние на шероховатость. Передний угол γ , угол наклона режущей кромки λ , задний угол α мало влияют на величину шероховатости. Большее значение оказывают радиус закругления при вершине, углы в плане – главный φ и вспомогательный φ_1 . При увеличении радиуса закругления величина шероховатости уменьшается (рис.3.1,в). С увеличением углов φ и φ_1 величина шероховатости увеличивается.

Свойства и структура обрабатываемого материала оказывают влияние на шероховатость поверхности. Более вязкие и пластичные материалы (например, малоуглеродистая сталь), склонные к пластическим деформациям, дают при их обработке резанием большую шероховатость.

При увеличении хрупкости материала величина шероховатости уменьшается. При резании хрупких материалов зависимость $R_z = f(v)$ не имеет «горба» и выражается горизонтальной линией. Стали с повышенным содержанием серы (автоматные) и стали с присадкой свинца после обработки резанием имеют меньшую шероховатость, чем углеродистая сталь, обработанная в одинаковых с ними условиях. С увеличением твердости обрабатываемого материала величина шероховатости снижается.

Как уже отмечалось, одним из основных параметров качества поверхностного слоя являются физико-механические свойства, которые характеризуются:

- твердостью;

- структурой;
- величиной, знаком и глубиной распространения остаточных напряжений;
- глубиной деформации слоя;
- наличием или отсутствием внешних дефектов (микротрещин, ликваций и т.п.).

Физико-механические свойства поверхностного слоя отличаются от исходного материала. Это связано с воздействием силовых и тепловых факторов при изготовлении и обработке заготовок.

Материал поверхностного слоя испытывает упрочнение (наклеп) или разупрочнение; изменяется его структура, микротвердость; образуются остаточные напряжения.

После механической обработки стальной заготовки в поверхностном слое выделяют три зоны (рис.3.2,а):

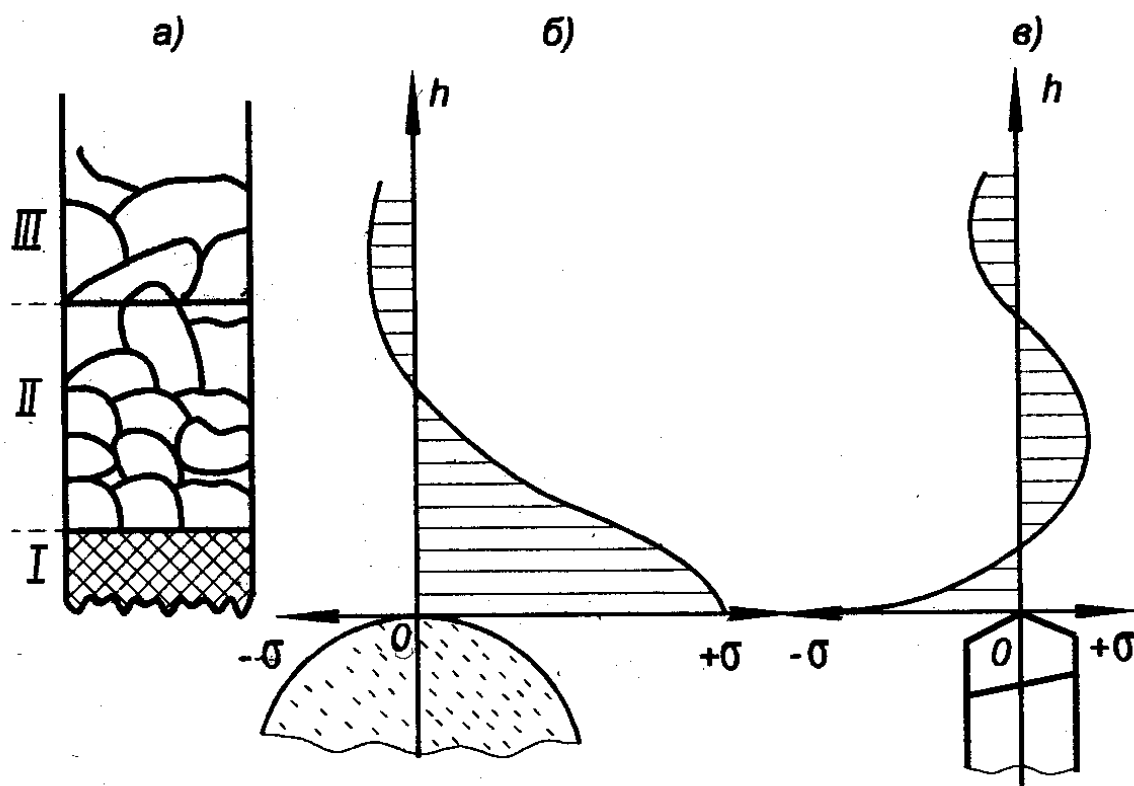


Рис.3.2. Поверхностный слой детали из стали: а) – структура; б) – напряжения в поверхностном слое после абразивной обработки; в) - напряжения в поверхностном слое после лезвийной обработки

I – зона резко выраженной деформации; характеризуется большими искажениями кристаллической решетки металла, раздроблением зерен, высокой твердостью;

II – зона деформации; в этой зоне наблюдается вытягивание зерен, наволакивание одних зерен на другие, понижение твердости;

III – переходная зона; в этой зоне состояние слоя постепенно приближается к состоянию исходного материала.

Глубина поверхностного слоя зависит от метода и режимов обработки и составляет от 5 мкм при тонкой обработке до сотен мкм – при черновой.

Физико-механические свойства поверхностного слоя определяются применяемыми методами и режимами изготовления и обработки заготовок.

При обработке лезвийным инструментом имеет место взаимодействие в основном силовых, а также тепловых факторов. Вследствие этого поверхностный слой имеет, как правило, сжимающие (отрицательные) напряжения (рис.3.2,в).

Однако при высоких скоростях резания остаточные напряжения могут быть растягивающими.

При шлифовании большее влияние оказывают тепловые факторы, меньшее – силовые. Характерные для шлифования высокие температуры в поверхностном слое вызывают структурную неоднородность и, вследствие этого, поверхностные прижоги, микротрещины, цвета побежалости. В поверхностном слое при шлифовании возникают остаточные напряжения растяжения, т. е. положительные (рис.3.2,б).

При накатывании обработанных поверхностей роликами и шариками обеспечивается пластическая деформация поверхностного слоя, снижение шероховатости и получение сжимающих напряжений. Чрезмерный наклеп при накатывании приводит к разрушению («шелушению») поверхностного слоя.

Остаточные напряжения распространяются на глубину 0.05...0.15 мм.

Воздействие силовых и тепловых факторов также зависит от варьирования режимами резания и условий обработки.

Уменьшение остаточных напряжений в поверхностном слое может быть достигнуто: снижением интенсивности теплообразования:

- уменьшением скорости резания;
- уменьшением глубины резания;
- применением более «мягких» кругов и vyhаживания при шлифовании;
- применением обильного охлаждения.

Кроме остаточных напряжений в поверхностном слое обрабатываемой детали образуется наклеп. Он возникает в результате больших перепадов температур и больших деформаций, приводящих поверхностные слои к упрочнению. Интенсивность и глубина распространения наклепа возрастают с увеличением сил и продолжительности их воздействия и с повышением степени пластической деформации металла поверхностного слоя.

Одновременно с упрочнением из-за нагрева зоны резания в металле поверхностного слоя протекает разупрочнение, возвращающее металл в его первоначальное ненаклепанное состояние. Конечное состояние металла поверхностного слоя определяется соотношением скоростей протекания процессов упрочнения и разупрочнения, зависящим от преобладания действий в зоне резания силового или теплового фактора.

Состояние поверхностного слоя существенно влияет на работоспособность поверхности. Наклеп поверхности в несколько раз уменьшает ее износ, способствует созданию сжимающих напряжений, повышающих предел выносливости, прочность деталей. Растягивающие напряжения увеличивают износ, снижают прочность и приводят к появлению микротрещин на рабочих поверхностях. От остаточных напряжений зависит первоначальная и последующая эксплуатационная точность деталей и машин.

Целенаправленное формирование поверхностного слоя заданного качества, исходящего из требований длительной и надежной эксплуатации деталей, обеспечивается путем применения обычных методов, т.е. рационального выбора последовательности режимов и условий обработки, упрочнения поверхностей закалкой, химико-термической обработкой (цементация, азотирование, цианирование, сульфидирование и др.); наплавкой; гальваническими покрытиями (хромирование, никелирование, цинкование и др.), а также применением специальных методов.

К специальным методам повышения качества поверхностей могут быть отнесены упрочняющие методы пластического деформирования без снятия стружки, создающие наклеп и сжимающие напряжение $400 \dots 700 \text{ Н/мм}^2$. К ним относятся: вибрационное обкатывание, дробеструйное упрочнение, чеканка, обкатывание и раскатывание роликами и шариками, дорнование и калибрование, алмазное выглаживание, электрохимическая обработка и др.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКОВ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Припуском называют слой материала, удаляемый в процессе механической обработки заготовки для достижения требуемой точности и качества обрабатываемой поверхности.

Различают припуски *промежуточные* (Z_i) и *общие* (Z_0).

Промежуточный припуск (припуск на данную операцию или переход) – слой металла, который должен быть удалён во время данной операции или перехода. Промежуточный припуск определяют как разность размеров заготовки, полученных на смежном предшествующем переходе и выполняемом технологическом переходе. При обозначении припусков используются следующие индексы:

($i-1$) – индекс для предшествующего перехода;

i – индекс для выполняемого перехода.

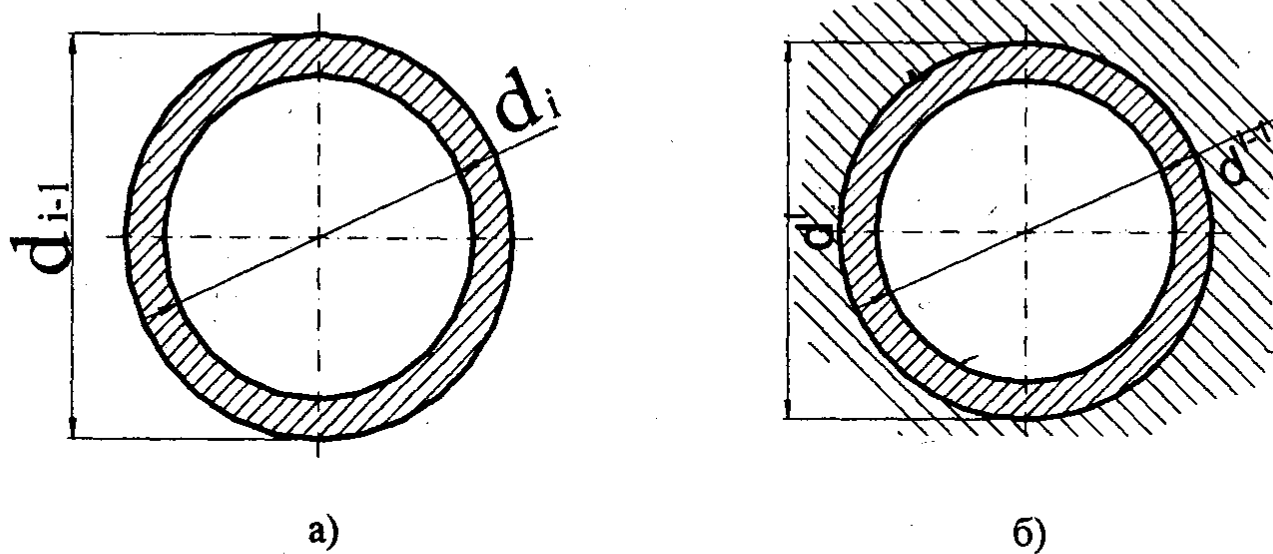


Рис.4.1. Схемы расположения припусков для наружной а) и внутренней б) поверхностей

При этом промежуточные припуски для наружных и внутренних поверхностей рассчитываются по следующим формулам:

$$Z_i = d_{i-1} - d_i$$

$$Z_i = d_i - d_{i-1}$$

Припуски измеряются по нормали к обработанной поверхности. Они могут быть *несимметричные* (на одну сторону) при изготовлении плоских деталей и *симметричные* (на обе стороны) чаще всего на диаметр при изготовлении круглых деталей.

Общий припуск равен сумме промежуточных припусков по всему технологическому маршруту механической обработки данной поверхности.

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n Z_i$$

Общий припуск определяют как разность размеров заготовки и готовой детали.

Выбор общих и операционных припусков и допусков имеет большое технико-экономическое значение.

Чрезмерно большие припуски снижают экономическую эффективность процесса за счёт потерь металла переводимого в стружку. Удаление лишних слоёв металла требует введения дополнительных технологических переходов, увеличивает трудоёмкость процессов обработки, расход энергии и режущего инструмента, повышает себестоимость обработки. При увеличенных припусках в некоторых случаях удаляют наиболее износостойкий поверхностный слой обрабатываемой детали (наклёп).

Чрезмерно малые припуски также нежелательны. Они не обеспечивают удаление дефектных поверхностных слоёв и получение требуемой точности и шероховатости обработанных поверхностей, а в некоторых случаях создают неприемлемые условия для работы режущего инструмента по литейной корке или окалине. Чрезмерно малые припуски требуют повышения точности изгото-

вок, затрудняют их разметку и выверку на станках и, в конечном счёте, увеличивают вероятный процент брака.

Правильно выбранный припуск обеспечивают: 1) устойчивую работу оборудования при достижении высокого качества продукции; 2) минимальную себестоимость продукции.

В машиностроении применяют два метода определения припуска: 1) *опытно-статистический*; 2) *расчётно-аналитический*.

При использовании опытно-статистического метода общие и промежуточные припуски назначаются по таблицам, которые составлены на основе обобщения и систематизации производственных данных передовых заводов.

Недостатком этого метода является назначение припусков без учёта конкретных условий построения технологических процессов и поэтому создаются ненужные повышенные запасы надёжности, в предположении наихудших условий для каждой из обрабатываемых поверхностей. Поэтому опытно-статистические припуски необоснованно завышены.

Расчётно-аналитический метод определения припусков разработан профессором Кованом В. М. Согласно этому методу промежуточный припуск должен быть таким, чтобы при его снятии устранялись погрешности обработки и дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующих технологических переходах, а также погрешности установки обрабатываемой заготовки, возникающие на выполняемом переходе.

В соответствии с этим методом минимальный промежуточный припуск $Z_{i \min}$ рассчитывается по следующей формуле (рис.4.2):

а) для несимметричной (односторонней) обработки

$$Z_{i \min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + (\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_i),$$

где Rz_{i-1} – высота неровностей, полученная на смежном предшествующем переходе обработки данной поверхности; $T_{i-1}(h)$ – глубина поверхностного слоя, отличного от основного, полученного на предшествующем технологи-

ческом переходе; $\bar{\rho}_{i-1}(\Delta)$ – пространственные отклонения расположения обрабатываемой поверхности относительно баз заготовки; $\bar{\epsilon}_i$ – погрешность установки, возникающая на выполняемом переходе.

Рассмотрим влияние особенностей технологического процесса и служебного назначения детали на назначение перечисленных параметров.

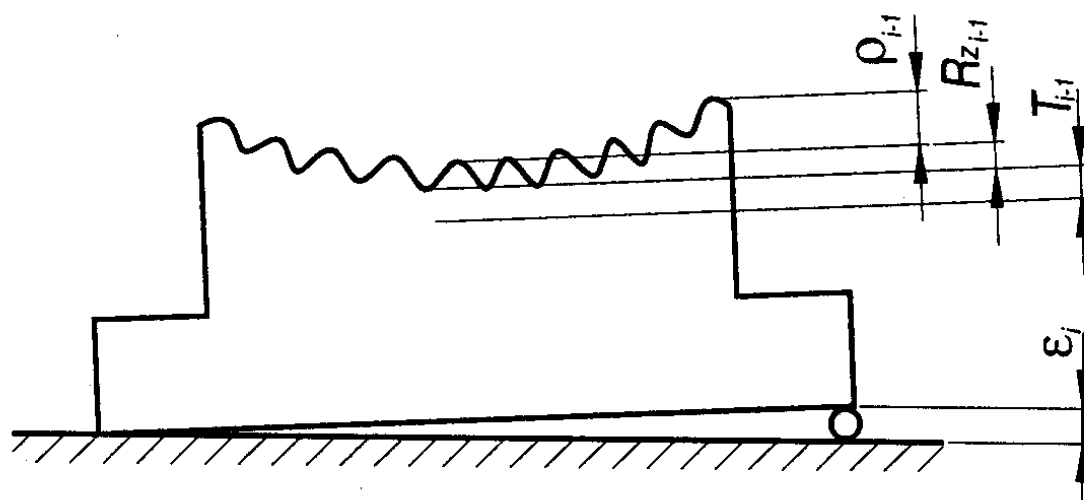


Рис.4.2. Схема для определения минимального операционного припуска

Например, у отливок из серого чугуна поверхностный слой состоит из перлитной корки (механическая смесь феррита и цементита), наружная зона которого нередко имеет следы формовочного песка. Этот слой должен быть полностью удалён на первом переходе для последующей нормальной работы инструмента.

Распределительные валы автомобильных двигателей (и др. детали) отливают с отбелённым (меньше углерода в виде графита и больше в связанном состоянии в виде цементита Fe_3C) поверхностным слоем. При дальнейшей обработке этот слой желательно сохранить для повышения износостойкости деталей.

У стальных поковок и штампованных заготовок поверхностный слой характеризуется обезуглероженной зоной, который должен быть полностью удалён, т. к. он снижает предел выносливости детали.

И, наконец, после поверхностной закалки поверхностный слой детали желательно сохранить в максимальной степени.

Влияние пространственных отклонений на массу металла, снятую в виде припуска, зависит от принятой схемы базирования заготовки. При механической обработке заготовок типа дисков целесообразно, например, сначала расточить отверстие, используя в качестве базы наружную цилиндрическую поверхность, а затем, базирясь на отверстие обточить наружную поверхность. При обратной последовательности обработки с наружной (доминирующей для этой заготовки) поверхности снимается значительно больше (по объёму) металла.

Примерами пространственных отклонений могут служить следующие погрешности взаимного расположения. Несоосность растачиваемого отверстия заготовок втулок, дисков, гильз, относительно наружной (базовой) поверхности; несоосность обтачиваемых ступеней базовым шейкам или линии центровых гнёзд заготовок ступенчатых валов; не перпендикулярность торцовой поверхности оси базовой цилиндрической поверхности заготовки; непараллельность обрабатываемой и базовой поверхностей заготовок корпусных деталей.

Из-за наличия погрешности установки, обрабатываемая поверхность занимает различное положение при обработке партии заготовок на предварительно настроенном станке. Нестабильность положения обрабатываемой поверхности должна быть компенсирована дополнительной составляющей промежуточного припуска $\bar{\epsilon}_i$, включающей погрешности базирования, закрепления и положения.

При односторонней обработке (как указано на рис.4.2) векторы ρ_{i-1} и ϵ_i коллинеарны (параллельны), следовательно при несимметричной обработке плоскостей формула для расчета припуска имеет вид:

$$Z_{i \min} = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i$$

При обработке наружных и внутренних тел вращения векторы ρ_{i-1} и ε_i могут принимать любое направление (любое угловое положение), предвидеть которое заранее не представляется возможным. Поэтому их сумма определяется

$$\text{как } (\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\varepsilon}_i) = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}$$

Следовательно для тел вращения формула принимает вид:

$$2Z_{i \min} = 2 \left(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right)$$

Из общей формулы расчета могут быть получены частные формулы для конкретных случаев обработки.

- 1) При обтачивании цилиндрической поверхности заготовки, установленная в центрах, погрешность ε_i может быть принята равной нулю.

$$2Z_{i \min} = 2[(Rz_{i-1} + T_{i-1}) + \rho_{i-1}]$$

- 2) При шлифовании заготовок после термообработки поверхностный слой необходимо по возможности сохранить, следовательно слагаемые T_{i-1} нужно исключить из расчётной формулы.

$$Z_{i \min} = Rz_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i$$

$$2Z_{i \min} = 2 \left(Rz_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right)$$

- 3) При развёртывании плавающей развёрткой и протягивании отверстий смещения и увод оси не устраняются, а погрешности установки в этом случае нет.

$$2Z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1})$$

- 4) При суперфинишировании и полировании цилиндрической поверхности, когда уменьшается лишь шероховатость поверхности, припуск определяется лишь высотой микронеровностей обрабатываемой поверхности, т. е.

$$2Z_{i \min} = 2R_{z_{i-1}}$$

Схемы образования промежуточных размеров при обработке наружных и внутренних цилиндрических поверхностей показаны на рис.4.3 и рис.4.4.

Положительная часть допуска на заготовку для вала и отрицательная для отверстия в общий суммарный припуск не входят, но должны приниматься во внимание при определении режимов резания при обдирке.

При использовании таблиц для определения припусков необходимо иметь в виду следующие рекомендации, представленные ниже.

1. При расчёте припусков по табличным данным необходимо обращать внимание на графу в таблице “расчётная длина заготовки”, которая зависит от характера крепления детали в процессе обработки (см. табл.4.1) и рис.4.5.

Таблица 4.1

Расчётная длина заготовки при определении номинальных
операционных припусков

Характер установки заготовок при обработке	Обрабатываемые валы		
	Гладкие валы	Ступенчатые валы	
		для средних участков вала	для крайних участков вала
В центрах или патроне с поддержкой задним центром	Полная длина вала	Полная длина вала	Длина, равная удвоенному от торца вала до наиболее удалённого конца обработанного участка
В патроне без поддержки задним центром	Удвоенная длина выступающей из патрона части заготовки	Длина, равная удвоенному расстоянию от наиболее удалённого торца обработанного участка до кулачков патронов	

Расчетная длина для вала, показанного на рис.4.5,а, принимается равной 400 мм, а для вала на рис.4.5,б – 80 мм.

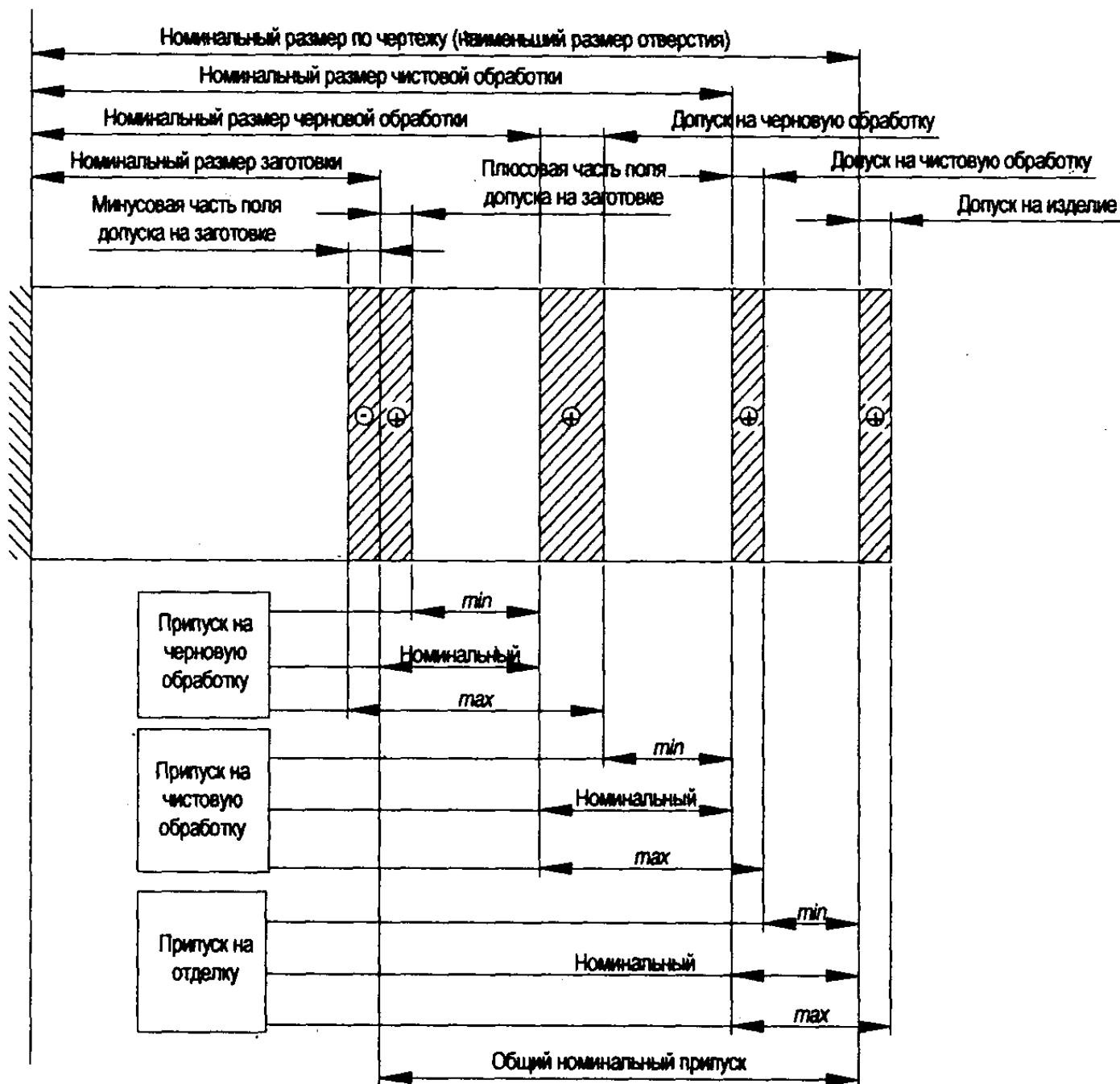


Рис.4.3. Схема расположения операционных припусков и допусков на различных стадиях обработки для наружных поверхностей (валов)

2. Расчётная длина, на которой определяется номинальный операционный припуск не распространяется на детали с очень сложной конфигурацией, а также на очень деформирующиеся после термообработки, для этих операций припуски устанавливаются больше табличных.

3. Если операция или переход разбивается на два рабочих хода: предварительный и окончательный, то на предварительный назначается $\approx 70\%$ номинального припуска и 30% на окончательный.

4. Номинальные операционные припуски заданы с учётом правки заготовки до механической обработки, а также рихтовки после каждого вида обработки нежестких или деформируемых деталей.

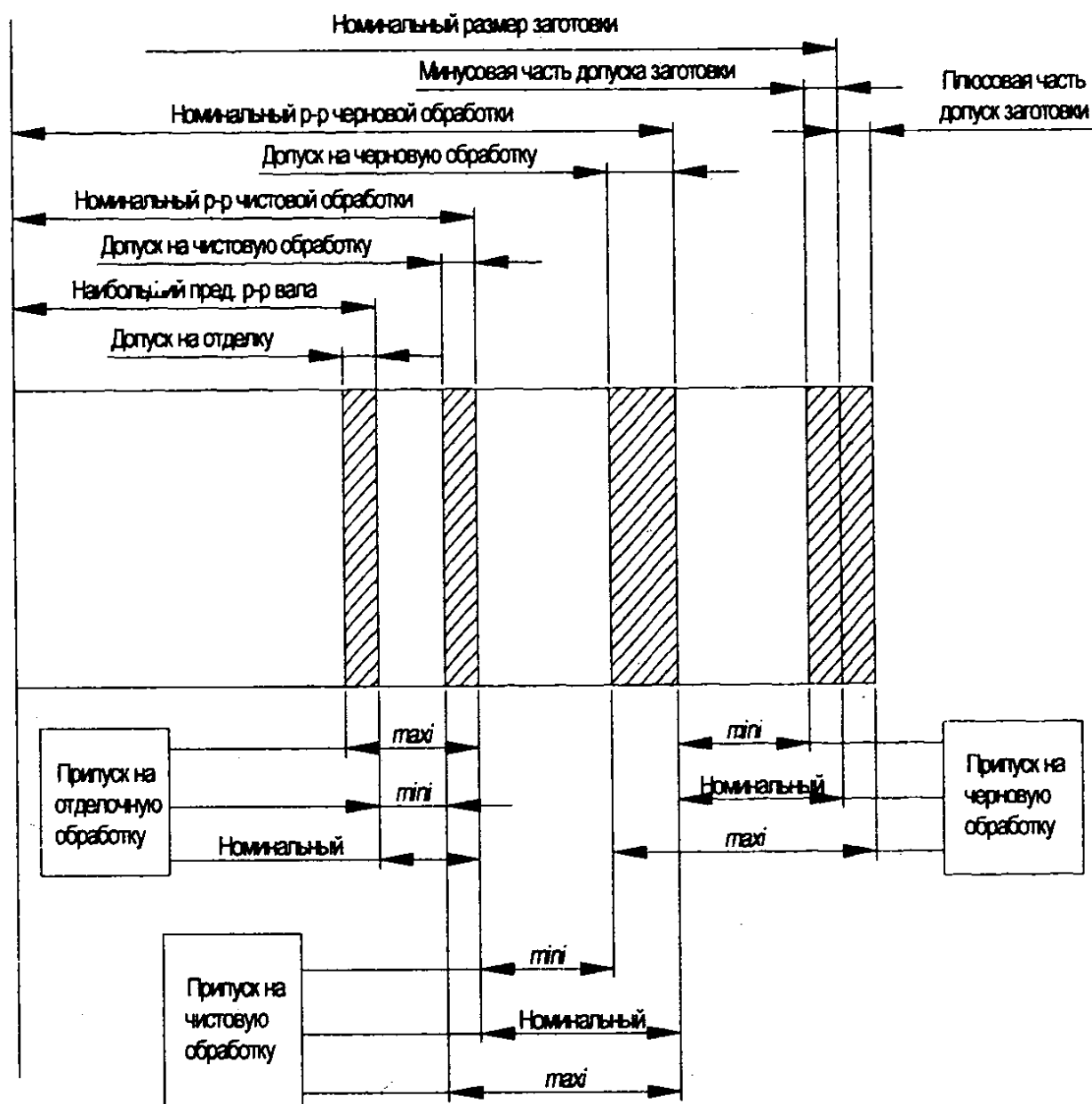
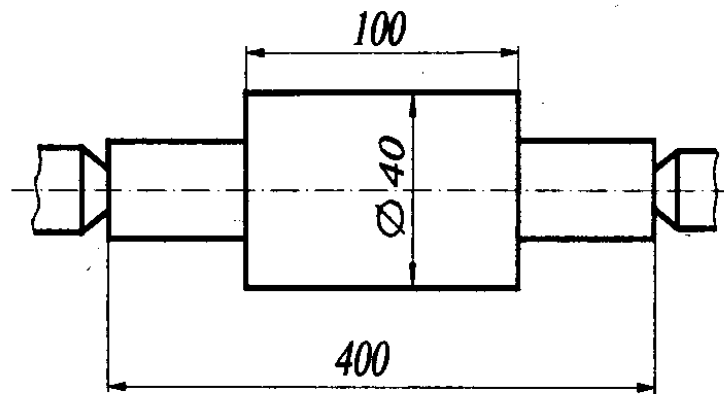
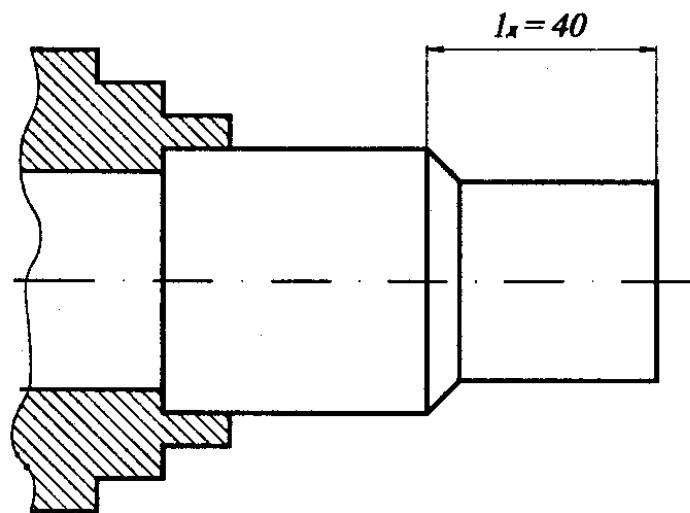


Рис.4.4. Схема расположения операционных припусков и допусков на различных стадиях обработки для внутренних поверхностей (отверстий)



а)



б)

Рис.4.5. Схемы для определения расчетной длины валов

Рассмотрим пример расчёта общего номинального припуска (табличным методом) для следующих исходных данных.

Определить диаметр заготовки из проката для ступенчатого вала, общая длина которого $l=280$ мм, и наибольший диаметр шейки $d=40h9$.

Шейка расположена посередине вала, длина её $l_{cm}=50$ мм, вал подвергается термической обработке – закалке.

Обработка по наружной цилиндрической поверхности производится по следующему маршруту:

1. Точение черновое. 2. Точение чистовое. 3. Термическая обработка. 4. Шлифование наружное в центрах.

Для использования таблиц определим расчетную длину вала, для которого определяется припуск.

Диаметр вала по чертежу – $40h9 (-0,062)$.

Расчётная длина, по которой определяется номинальный припуск для средней части вала – 280 мм.

$$\text{Отношение } \frac{l_{\text{расч.}}}{d} = \frac{280}{40} = 7.$$

Заготовка – сталь горячекатаная, круглая, повышенной точности (в соответствии со стандартом).

Последовательность расчета следующая.

1. Диаметр вала после шлифования: $40h9$.
2. Номинальный операционный припуск на диаметр для шлифования детали в центрах с учётом термической обработки – 0,5 мм.
3. Диаметр вала после чистового точения – $(40+0,5)h11=40,5h11$.
4. Номинальный операционный припуск для чистового точения – 2,0 мм.
5. Диаметр вала после чернового точения – $(40,5+2,0)h13=42,5h13$.
6. Номинальный припуск для чернового точения с учётом расчётной длины – 4,5 мм.
7. Расчётный диаметр заготовки $42,5+4,5=47,0$ мм.
8. По сортаменту - диаметр $\varnothing 47_{-0,6}^{+0,2}$ с учётом минимального припуска.

Список литературы

1. Маталин А.А. Технология машиностроения Л.: Машиностроение, 1985.- 512 с.
2. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986.- 656 с.
3. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986.- 496 с.
4. Соколовский А.П. Научные основы технологии машиностроения. М., Машгиз, 1955.- 517 с.
5. В.Л. Акимов, Э.Л. Жуков, Б.Я. Розовский, В.А. Скраган. Технологические расчеты при проектировании процессов механической обработки заготовок: Учеб. пособие / СПбГТУ. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1980. – 80с.
6. Технология машиностроения: Метод. указания к практическим занятиям/ Сост. Э.Л.Жуков, В.П.Пересыпкинский. СПб. гос.техн.устойчивости и надежности-т; СПб.,1995.- 71 с.
7. Технологические процессы в машиностроении: Учебное пособие / Н.П. Солнышкин, А.Б. Чижевский, С.И. Дмитриев; Под общ. ред. Н.П. Солнышкина. – СПб.: изд-во СПбГТУ, 1998. - 277 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА (ТПП).....	5
1.1. Общие положения	5
1.1.1. Порядок проведения технологической подготовки производства.....	9
1.1.2. Типы производства, формы организации и виды технологических процессов.....	27
1.2. Структура технологического процесса и его основные характеристики.....	35
1.3. Основные принципы технологического проектирования.....	40
1.4. Технологические процессы сборки.....	43
2. ТОЧНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.....	54
2.1. Точность и ее определяющие факторы.....	54
2.2. Статистические методы исследования точности механической обработки.....	60
2.2.1. Метод кривых распределения погрешностей.....	60
2.2.2. Графоаналитический метод (метод точечных диаграмм)..	68
2.3. Расчетно-статистический метод исследования точности.....	70
2.3.1. Погрешности установки. Стандарты по базированию и установочным элементам.....	70
2.3.2. Упругие деформации технологической системы.....	90
2.3.3. Износ режущего инструмента.....	111
2.3.4. Тепловые деформации технологической системы.....	114
2.3.5. Геометрические неточности станков и режущего инструмента.....	123

2.3.6. Деформации заготовок, вызываемые внутренними напряжениями.....	127
2.3.7. Размерная наладка станков.....	130
2.3.8. Колебания при механической обработке.....	143
2.3.8.1. Основные гипотезы возникновения автоколебаний.....	146
2.3.8.2. Методы борьбы с колебаниями.....	154
2.3.9. Баланс точности технологической операции.....	157
2.3.10. Управление точностью механической обработки..	162
3. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ.....	167
3.1. Критерии качества поверхностного слоя.....	167
3.2. Влияние технологических факторов на величину шероховатости.....	169
4. ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКОВ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.....	176
Список литературы.....	187

Долгопрудненский авиационный техникум

Электронная библиотека

Заказчик: А.Ю.Козловский



141702 Россия, Московская обл.,
г. Долгопрудный, пл. Собина, 1

Phone: 8(495)4084593 8(495)4083109
Email: dat.ak@mail.ru
Site: gosdat.ru

ЖУКОВ Эдуард Леонидович
КОЗАРЬ Иван Иванович
РОЗОВСКИЙ Борис Яковлевич
ДЕГТЯРЕВ Виктор Викторович
СОЛОВЕЙЧИК Александр Михайлович

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Часть I

Учебное пособие

Под ред. д-ра техн. наук, проф. С.Л. Мурашкина

Лицензия ЛР № 020593 от 07.08.97

Подписано к печати 30.09.99. Формат 60 × 84/16.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,0. Тираж 200 экз. Заказ **721**

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного авторами,
в типографии Издательства СПбГТУ.

195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

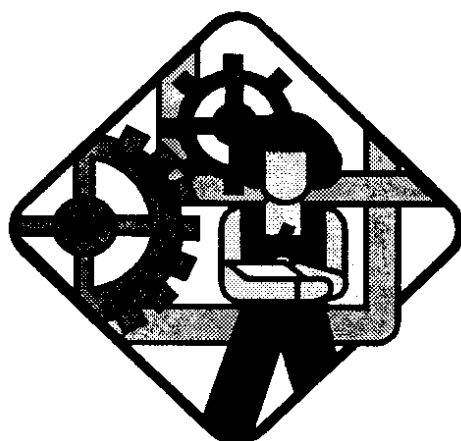
Министерство образования Российской Федерации

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Технология машиностроения

Часть 1

Учебное пособие



Санкт-Петербург
Издательство СПбГТУ
1999