

Лекция 2

Конструктивные особенности станков с ЧПУ

Технико-экономические показатели станков. Базовые детали и узлы станков и основные требования к ним

Конструктивные особенности станков с ЧПУ

Станкостроение является сердцевиной машиностроения, т.к. станки предназначены для изготовления деталей других машин, т.е. для производства средств производства. Станкостроение во многом определяет промышленный потенциал страны и характеризует уровень развития ее машиностроения.

Современные металлорежущие станки - это сложные машины, включающие большое число механизмов и использующие механические, электрические, электронные, гидравлические, пневматические и другие методы осуществления движений и управления циклом обработки. На станках обрабатывают разнообразные детали - от мельчайших элементов часов и приборов до деталей, размеры которых достигают многих метров - турбин, прокатных станов, шагающих экскаваторов, гигантских прессов, теплоходов. Поэтому и габариты самих станков различны.

Конструкции станков постоянно совершенствуются с учетом все возрастающих требований к их техническим характеристикам. При создании новых станков используются достижения разных отраслей промышленности и науки. Например, на конструкцию станка влияет создание новых типов электродвигателей (высокомомментных, регулируемых), появление новых датчиков положения, совершенствование электрогидравлической аппаратуры, повышение точности и виброустойчивости подшипников шпинделей, шарико-винтовых передач, создание новых методов управления станками

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТАНКОВ

Для сравнительной оценки технического уровня станков, а также для выбора их в соответствии с решением конкретной производственной задачи используют набор показателей, характеризующих качество станков.

- 1. Эффективность** - комплексный (интегральный) показатель, который наиболее полно отражает главное назначение станочного оборудования - повышать производительность труда и соответственно снижать затраты труда при обработке деталей. Эффективность станков, шт./руб.:

$$A = N / \Sigma c$$

где N - годовой выпуск деталей; Σc - сумма годовых затрат на их изготовление.

- 2. Производительность** станка определяет его способность обеспечивать обработку определенного числа деталей в единицу времени. Различают штучную и технологическую производительность.

Штучная производительность (шт./год) выражается числом деталей, изготовленных в единицу времени, при непрерывной и безотказной работе:

$$Q = T_0 / T,$$

где T_0 - годовой фонд времени; T - полное время всего цикла изготовления детали.

Время цикла обработки выражается формулой:

$$T = t_p + t_v,$$

где t_p - время обработки резанием; t_v - время на все виды вспомогательных операций, не совмещенных по времени с обработкой.

Если процесс обработки осуществляют непрерывно и дополнительное время на вспомогательные операции не затрачивается, т.е. если $t_v = 0$, а $T = t_p$, то штучная производительность совпадает с понятием технологической производительности $Q_T = 1/t_p$, определяемой только по машинному времени.

Основные пути повышения производительности станков:

- увеличение технологической производительности;
- совмещением разных операций во времени;
- сокращением времени на вспомогательные движения;
- сокращением всех видов внецикловых потерь;

увеличение технологической производительности обеспечивается за счет:

- увеличения скорости обработки и суммарной длины режущих кромок инструмента, участвующих в процессе формообразования;
- применения эффективных смазочно-охлаждающих жидкостей;
- совмещение во времени различных операций, как основных, так и вспомогательных.

Одновременное выполнение нескольких рабочих операций осуществляется на многопозиционных станках и автоматических линиях, используемых в крупносерийном и массовом производстве.

Сокращение времени на вспомогательные движения (холостые ходы) обеспечивается совершенствованием привода и системы управления.

Ограничения по скорости вспомогательных движений связаны с возникающими при этом инерционными нагрузками и их отрицательным влиянием на работоспособность деталей и механизмов станка.

Все виды внецикловых потерь сокращаются при комплексной автоматизации и совершенствовании системы управления как отдельным станком, так и всем автоматизированным производством на базе вычислительной техники.

3. Надежность станка - свойство станка обеспечивать бесперебойный выпуск годной продукции в заданном количестве в течение определенного срока службы и в условиях применения технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Нарушение работоспособности станка называют отказом. При отказе продукция либо не выдается, либо является бракованной.

В автоматизированных станках отказы могут быть связаны с нестабильностью условий работы под влиянием отдельных случайных факторов - разброса параметров заготовок, переменности сил резания и трения, отказов элементов систем управления и т.д. Кроме того, причинами отказов может быть потеря первоначальной точности станка из-за изнашивания его частей (направляющих, опор, шпинделей, передач винт-гайка, фиксирующих устройств и т.п.).

Комплексным показателем надежности станков является **коэффициент технического использования**

$$\eta = 1 / (1 + \sum_{i=1}^n \lambda_i t_{срi})$$

где η - число независимых элементов, подверженных отказам; λ_i - интенсивность отказов i -го элемента; $t_{срi}$ - среднее время на устранение отказа (на восстановление),

Коэффициент технического использования дает возможность оценить фактическую производительность $Q_{ф}$ по сравнению с номинальным значением производительности Q (при абсолютной надежности): $Q_{ф} = Q^* \eta$. Диагностирование является эффективным средством повышения надежности станков. При этом осуществляют направленный сбор текущей информации о состоянии станка и его важнейших узлов и элементов с использованием различных датчиков.

4. Гибкость станочного оборудования - способность к быстрому переналаживанию при изготовлении других, новых деталей.

Гибкость характеризуют двумя показателями - универсальностью и переналаживаемостью.

Универсальность определяется числом разных деталей, подлежащих, обработке на данном станке, т.е. номенклатурой ***I*** обрабатываемых деталей. При этом следует иметь в виду, что отношение годового выпуска ***N*** к номенклатуре ***I*** определяет серийность изготовления **$S = N/I$** .

Переналаживаемость определяется потерями времени и средств на переналадку станочного оборудования, при переходе от одной партии заготовок к другой партии.

5. Точность станка в основном предопределяет точность обработанных на нем деталей.

Различают **геометрическую и кинематическую точность** станков.

Геометрическая точность зависит главным образом от точности изготовления соединений базовых деталей и от качества сборки станка.

Кинематическая точность необходима для характеристики тех станков, в которых форма обрабатываемой поверхности зависит от соотношения скоростей относительного перемещения инструмента и заготовки, например для зубообрабатывающих, резьбонарезных и других станков для сложной контурной обработки.

Геометрическая и кинематическая точность станков являются необходимыми, но не достаточными условиями для обеспечения высокого качества станка. Надо также учитывать сопротивляемость его деталей действию внешних и внутренних сил. Деформации элементов станка, возникающие под действием силы резания, приводят к изменению относительного положения инструмента и обрабатываемой детали, т.е. к потере станком точности.

Жесткостью узла называется его способность сопротивляться появлению упругих деформаций. Жесткость - отношение силы F (Н) к соответствующей упругой деформации y (мкм) в том же направлении

$$J = F/y.$$

Жесткость станка, его несущей системы должна обеспечить упругое перемещение между инструментом и заготовкой **в заданных пределах**, зависящих от требуемой точности обработки.

6. Виброустойчивость станка или динамическое его качество определяет его способность противодействовать возникновению колебаний, снижающих точность и производительность станка. Наиболее опасны колебания инструмента относительно заготовки.

Вынужденные колебания возникают в упругой системе станка из-за прерывистости процесса резания, неуравновешенности вращающихся звеньев привода и роторов электродвигателей, из-за периодических погрешностей в передачах и от внешних периодических возмущений.

Особую опасность при вынужденных колебаниях представляют резонансные колебания, возникающие при совпадении частоты внешних воздействий с частотой собственных колебаний одного из упругих звеньев станка.

Автоколебания или самовозбуждающиеся колебания связаны с характером протекания процессов резания и трения в подвижных соединениях.

Параметрические колебания имеют место при периодически изменяющейся жесткости, например, при наличии шпоночной канавки на вращающемся валу или при переменной жесткости подшипников качения. Возникающие при этом колебания по своему характеру и методам борьбы с ними близки к вынужденным.

Низкочастотные фрикционные колебания наблюдаются при перемещении узлов станка недостаточно жестким приводом в условиях трения скольжения. В этих случаях непрерывное движение узла может при определенных условиях превратиться в прерывистое с периодически чередующимися скачками и остановками.

Колебания в упругой системе станка возникают также во время **переходных процессов**, обусловленных пуском, остановкой, резким изменением режима работы.

Основные пути повышения виброустойчивости станков: устранение источников периодических возмущений; подбор параметров упругой системы для обеспечения устойчивости; повышение демпфирующих свойств; применение систем автоматического управления уровнем колебаний.

7. Теплостойкость станка характеризует его сопротивляемость возникновению недопустимых температурных деформаций при действии тех или иных **источников теплоты**.

К основным источникам теплоты относятся процесс резания, двигатели, подвижные соединения, особенно при значительных скоростях относительного движения.

8. Точность позиционирования характеризуется ошибкой вывода узла станка в заданную позицию по одной или нескольким координатам. На точность позиционирования влияет большое число систематических и случайных погрешностей. Стабильность позиционирования определяют зоной рассеяния (дисперсией) положений узла станка при его подводе к определенному положению с одного и того же направления. Ошибку перемещения характеризуют систематической составляющей при фиксированном направлении подвода.

Зоной нечувствительности называют разность ошибок положения узла при подводе его к заданной точке с разных сторон.

Точность позиционирования является важной характеристикой качества всех станков с числовым программным управлением. Если известна характеристика точности позиционирования для данного конкретного станка, то ее можно уточнить (учесть) при отработке управляющей программы.

Базовые детали и узлы станков

Любой станок-автомат состоит из базовых (корпусных) деталей, привода (главного движения и движения подач), системы управления и целевых механизмов (механизмы питания для пруткового материала, для штучных заготовок; системы автоматической смены инструментов, механизмы зажима обрабатываемых деталей, инструмента; поворотнo-фиксирующие механизмы, контрольно-измерительные системы).

Экономические, эксплуатационные и технические характеристики станка, а также безопасность работы на нем тесно связаны с его конструктивными особенностями

Базовые детали металлорежущих станков служат для создания требуемого пространственного размещения узлов, несущих инструмент и обрабатываемую деталь, и обеспечивают точность их взаимного расположения под нагрузкой.

К базовым деталям относят станины, основания, колонны, стойки, поперечины, ползуны, траверсы, столы, каретки, суппорты, планшайбы, корпуса шпиндельных бабок и т.п.

Направляющие станков обеспечивают правильность траектории движения заготовки и инструмента. Они могут быть выполнены заодно с базовыми деталями или закрепляются на них с помощью винтов или клея.

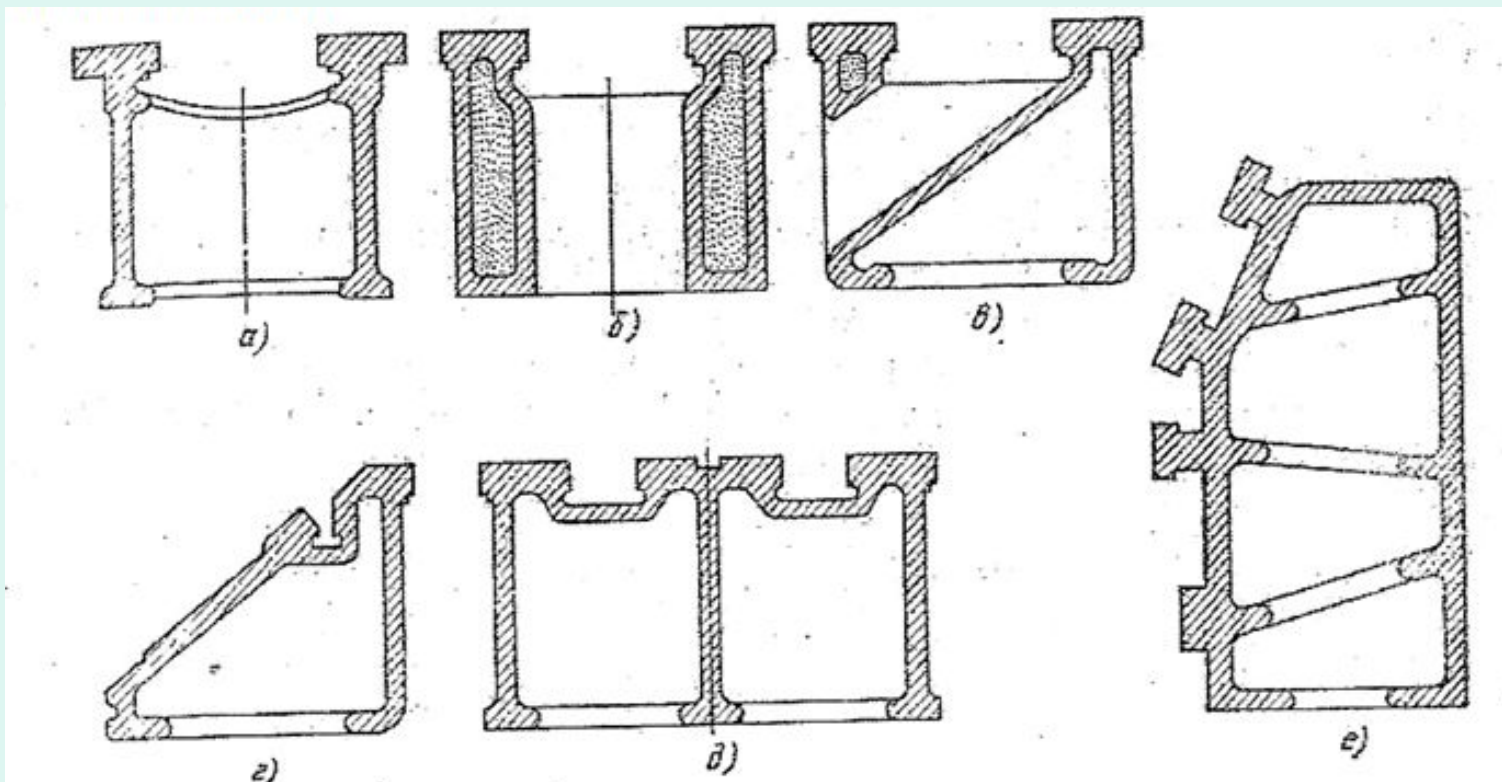
Базовые детали и направляющие должны иметь:

- первоначальную точность изготовления всех ответственных поверхностей для обеспечения требуемой геометрической точности станка;
- высокую жесткость, определяемую контактными деформациями подвижных и неподвижных стыков, местными деформациями и деформациями самих базовых деталей;
- высокие демпфирующие свойства, т.е. способность гасить колебания между инструментом и заготовкой от действия различных источников вибраций;
- долговечность, которая выражается в стабильности формы базовых деталей и способности направляющих сохранять первоначальную точность в течение заданного срока эксплуатации.

Кроме того, базовые детали должны иметь малые температурные деформации, из-за которых могут произойти относительные смещения между инструментом и заготовкой, а направляющие должны обладать малой величиной и постоянством сил трения, так как от этого зависит точность позиционирования узлов станка.

Конструирование базовых деталей - это поиск компромиссного решения между противоречивыми требованиями: создание конструкций жестких, но имеющих малую массу; простых по конфигурации, но обеспечивающих высокую точность; дающих экономию металла, но учитывающих возможности литейной технологии при проектировании литых конструкций и возможности технологии сварных конструкций.

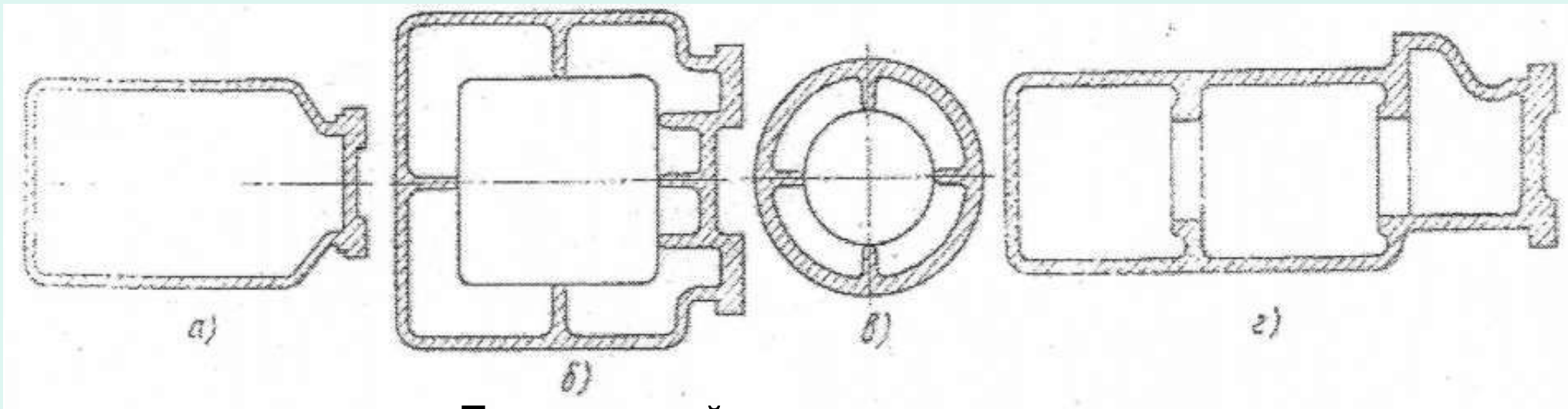
В качестве примера базовых деталей рассмотрим станины, которые в зависимости от расположения оси станка бывают горизонтальные и вертикальные (стойки)



Типы сечений горизонтальных станин

Форма поперечного сечения горизонтальных станин определяется требованиями жесткости, расположением направляющих, условиями удаления стружки и охлаждающей жидкости, размещением в станинах различных механизмов, агрегатов и резервуаров для масла и охлаждающей жидкости.

Форма сечений вертикальных станин (стоек) зависит от действующих на них сил. Увеличения жесткости стоек добиваются с помощью поперечных и продольных ребер.



Типы сечений вертикальных станин

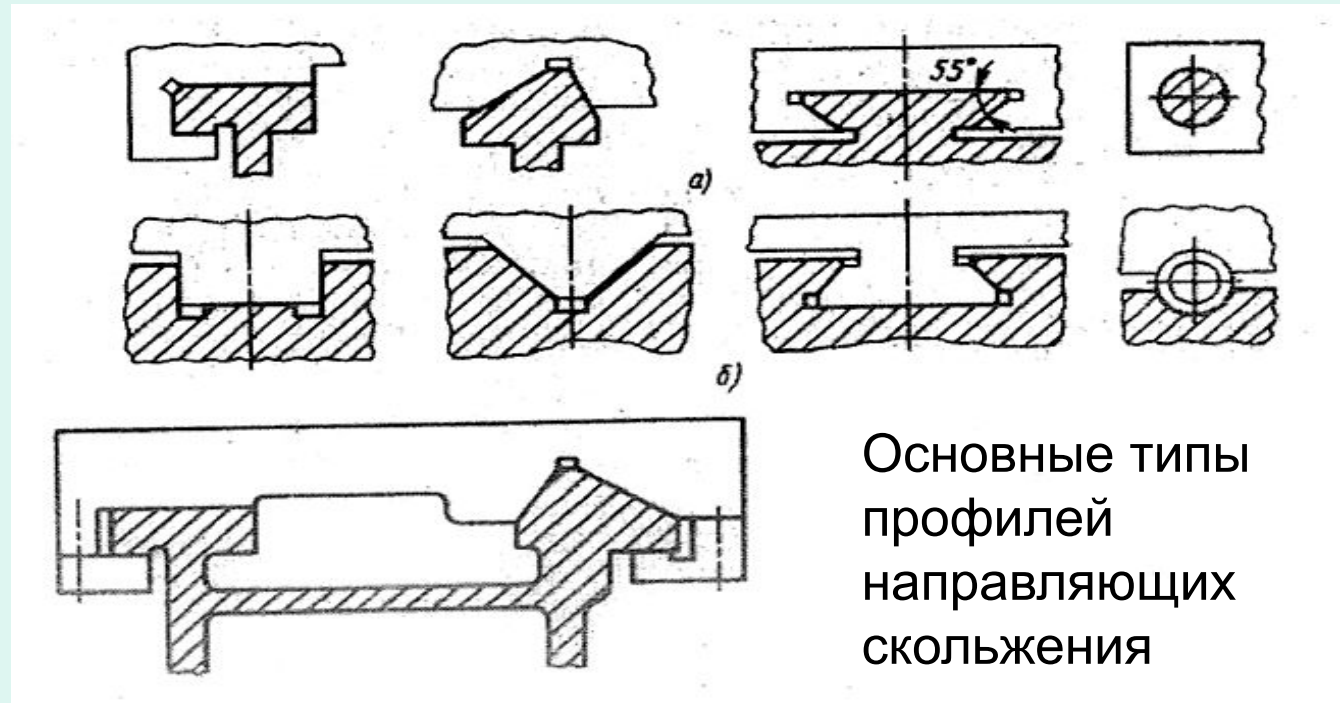
Основными материалами базовых деталей, удовлетворяющими условиям стабильности, жесткости и виброустойчивости, являются чугун и низкоуглеродистая сталь. Чаще всего применяют чугун СЧ15. Он обладает хорошими литейными свойствами, мало коробится, но имеет сравнительно низкие механические свойства. При повышенных требованиях к износостойкости направляющих, выполненных как одно целое с базовой деталью, применяют чугун СЧ20. Углеродистую сталь применяют при изготовлении сварных базовых деталей простой формы.. По сравнению с литыми, сварные конструкции значительно легче при той же жесткости, поскольку модуль упругости стали в 2-2,4 раза выше модуля упругости чугуна. Однако по виброустойчивости они уступают чугунным конструкциям.

Направляющие станков с ЧПУ - служат для осуществления главного движения (карусельные и продольно-строгальные станки); движения подачи рабочих органов; перестановки узлов, например задних стоек горизонтально-расточных станков, задних бабок токарных станков, люнетов и др.

По характеру траектории различают направляющие прямолинейного и кругового движения, по расположению в пространстве — горизонтальные, наклонные и вертикальные направляющие.

По форме поперечного сечения наиболее распространены прямоугольные (плоские), треугольные (призматические), трапециевидные (типа ласточкина хвоста) и круглые направляющие. Каждую из форм можно применять в виде охватывающих и охватываемых направляющих.

Охватываемые направляющие плохо удерживают смазочный материал, а охватывающие удерживают его хорошо, но нуждаются в надежной защите от загрязнений.



Основные типы профилей направляющих скольжения

Направляющие станков с ЧПУ должны обладать следующими свойствами:

- обеспечивать устойчивое перемещение узлов с минимальными отклонениями от заданной траектории с точным выходом в заданное положение;
- создавать наименьшее сопротивление перемещению узлов;
- обеспечивать сохранение работоспособности и точности в течение длительного срока эксплуатации,
- уменьшать и, по возможности, устранять неравномерность перемещения и скачки при медленных движениях и в моменты старта с места и остановок;
- обеспечивать демпфирование колебаний, возникающих при медленных перемещениях, резании и резонансных явлениях в цепях приводов подачи.

В металлорежущих станках применяют направляющие **скольжения, качения и комбинированные. Направляющие скольжения могут быть с полужидкостной, жидкостной и газовой смазкой.**

Направляющие скольжения имеют повышенный износ и высокий, зависящий от скорости перемещений, коэффициент трения скольжения, особенно на малых скоростях, что приводит к скачкообразному перемещению рабочего органа при позиционировании на малой скорости. Чтобы уменьшить коэффициент трения, направляющие станины и суппорта создают в виде пары скольжения “сталь- покрытие”. В некоторых случаях используют антискачковые смазочные материалы. Стальные направляющие имеют твердость HRC 60-62, а чугунные HRC 52-55.

Достоинства направляющих с полужидкостной смазкой - высокая контактная жесткость и хорошие демпфирующие свойства. Кроме того, они обеспечивают надежную фиксацию подвижного узла станка после его перемещения в заданную позицию.

Жидкостную смазку между направляющими можно обеспечить либо за счет гидродинамического эффекта, либо подачей смазочного материала между трущимися поверхностями под давлением. Достоинство жидкостной смазки в том, что отсутствует изнашивание направляющих, обеспечиваются высокие демпфирующие свойства и плавность движения.

Направляющие качения имеют высокую долговечность, характеризуются небольшим трением, причем коэффициент трения практически не зависит от скорости движения. В качестве тел качения используют ролики. Предварительный натяг повышает жесткость направляющих в 2... 3 раза, для создания натяга используют регулирующие устройства.

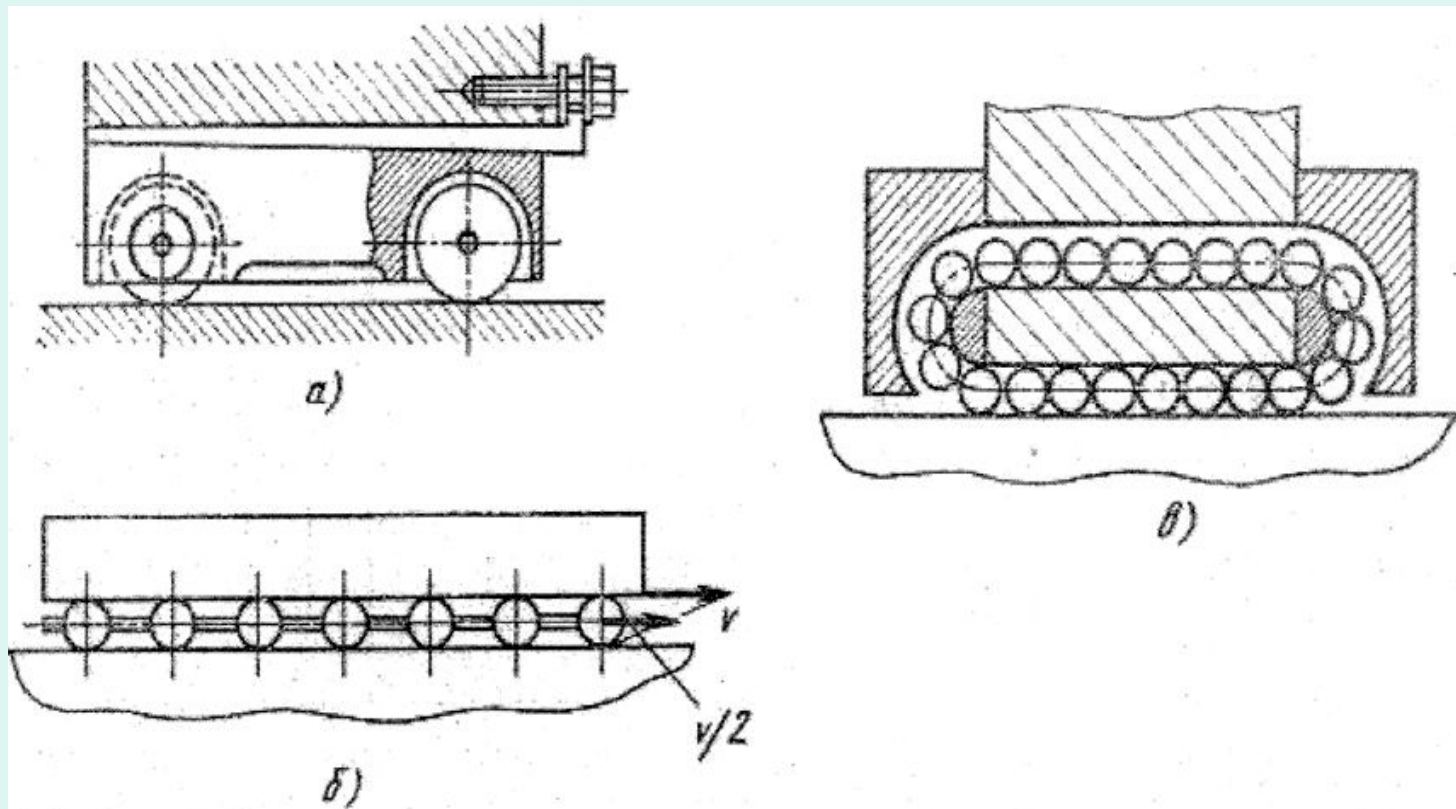
Недостатки - направляющих качения по сравнению с направляющими скольжения являются высокая стоимость, трудоемкость изготовления, пониженное демпфирование, повышенная чувствительность к загрязнениям.

Основные схемы направляющих качения:

а) – на роликах с закрепленными осями;

б) - с потоком тел качения;

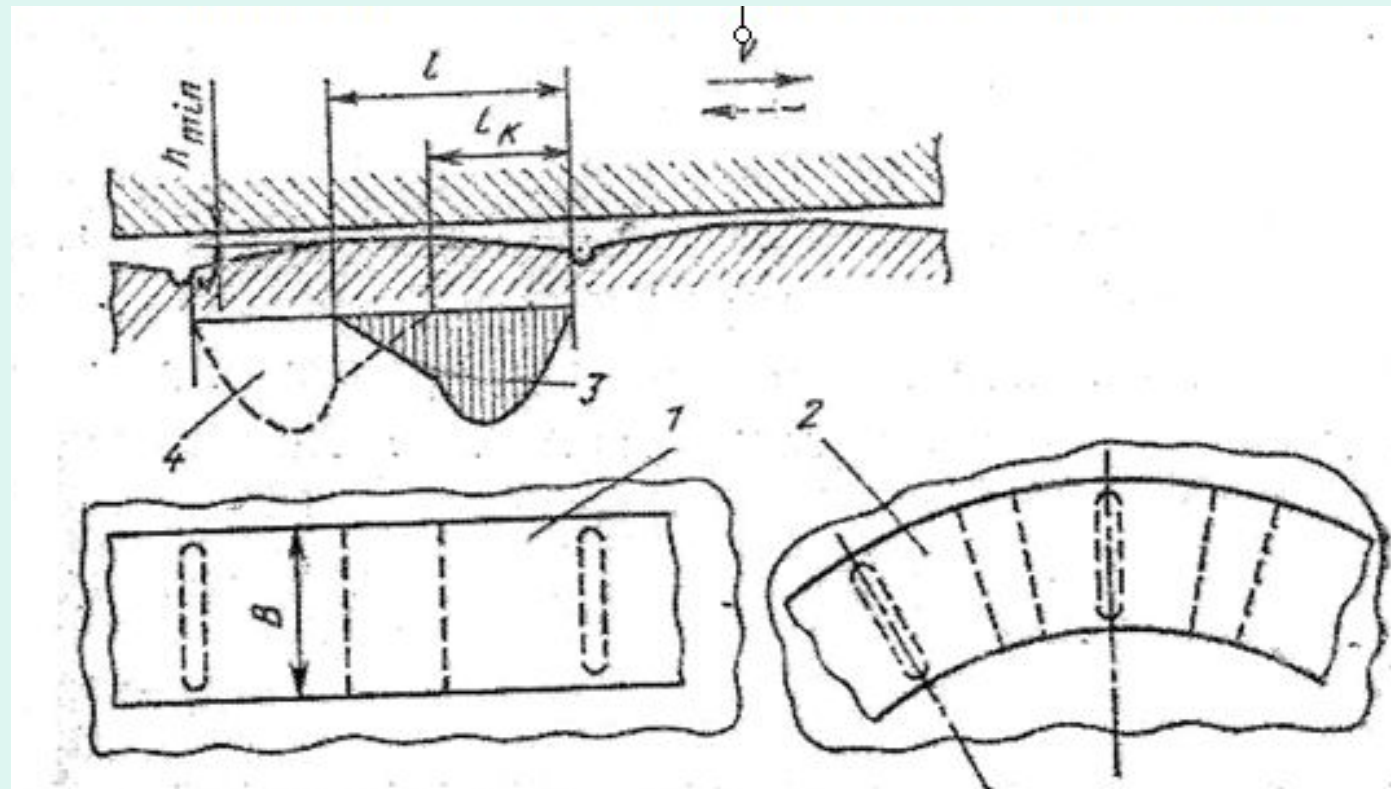
в) с возвратом тел качения



Гидродинамические направляющие отличаются простотой конструкции, хорошо работают лишь при достаточно больших скоростях скольжения, которым соответствуют скорости главного движения (в продольно-строгальных, карусельных станках). Гидродинамический эффект, т.е. эффект всплывания подвижного узла, создается пологими клиновыми скосами между смазочными канавками, выполненными на рабочей поверхности направляющих. В образованные таким образом сужающиеся зазоры при движении затягивается смазочный материал, и обеспечивается разделение трущихся поверхностей слоем жидкости. Серьезным **недостатком** гидродинамических направляющих является нарушение жидкостной смазки в периоды разгона и торможения подвижного узла.

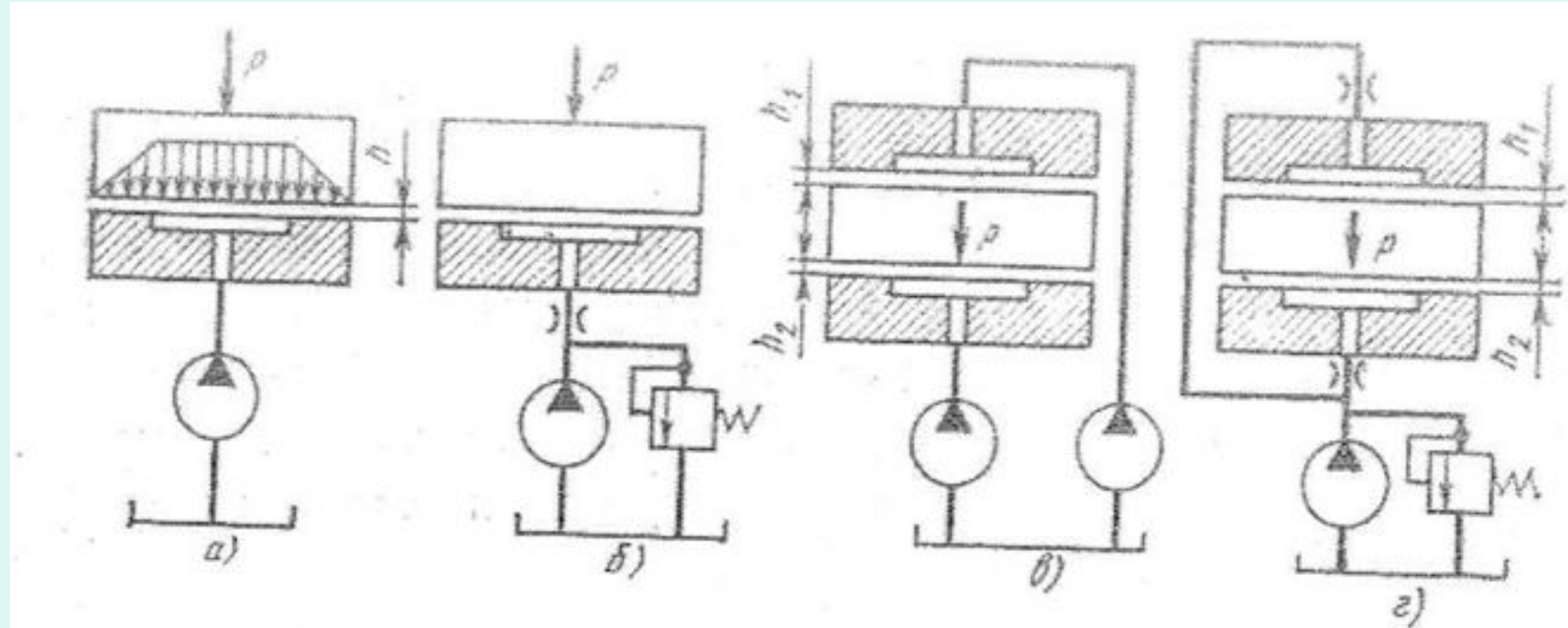
Гидродинамические направляющие:

1 – прямолинейного движения; 2 – кругового движения; 3, 4 – эпюры давлений при прямом и обратном ходе соответственно



Гидростатические направляющие используют в тяжелых станках и имеют малое сопротивление движению, отсутствие скачкообразных перемещений, отсутствие износа и д.р., за счет создания масляной подушки по всей площади контакта. Точность движения достигается поддержанием относительного постоянства толщины масляного слоя при изменяющейся нагрузке, в простейшем случае путем установки дросселя перед каждым масляным карманом и выполнения направляющих с высокой геометрической точностью.

Схемы гидростатических направляющих:
а, б – открытых;
в, г - закрытых

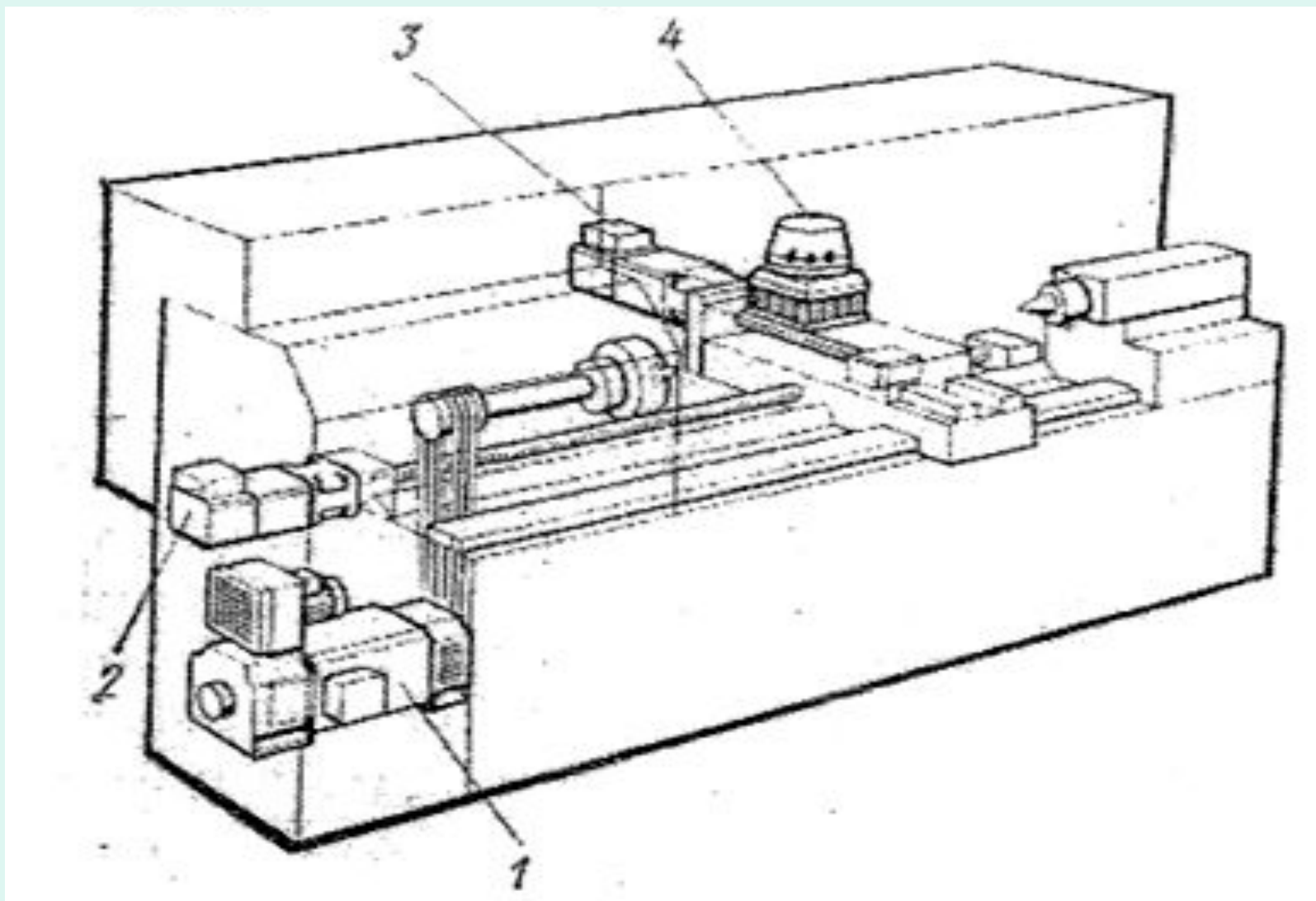


Недостатком гидростатических направляющих является сложность системы смазывания и необходимость специальных устройств для фиксации перемещаемого узла в заданной позиции. **Дороги в изготовлении.**

ПРИВОД МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА

Приводы металлорежущих станков предназначены для осуществления рабочих, вспомогательных и установочных перемещений инструментов и заготовки. *Их делят на приводы главного движения (скорости резания) и приводы подач (координатных перемещений и вспомогательных перемещений).*

В станках с числовым программным управлением каждое движение осуществляется от своего отдельного источника - электрического или гидравлического двигателей различных типов. Независимые системы электро- и гидроприводов позволяют решить многие задачи, связанные с регулированием и изменением скорости и направления движения, которые раньше решали лишь с помощью механических устройств. В итоге существенно упрощается механическая часть привода, укорачиваются кинематические цепи, что способствует повышению жесткости привода и точности перемещения, упрощается автоматическое дистанционное управление приводом, расширяются возможности унификации приводов и выполнения их в виде отдельных агрегатов (модулей).



Унифицированные приводы токарного станка: 1- главный привод; 2 – привод продольной подачи; 3 – привод поперечной подачи; 4 – привод поворотного резцедержателя

Приводами главного движения для станков с ЧПУ обычно являются двигатели переменного тока — для больших мощностей и постоянного тока — для малых мощностей. В качестве приводов служат трехфазные четырех- полюсные асинхронные двигатели, воспринимающие большие перегрузки и работающие при наличии в воздухе металлической пыли, стружки, масла и т.д. Поэтому в их конструкции предусмотрен внешний вентилятор. В двигатель встраивают различные датчики, например датчик положения шпинделя, что необходимо для ориентации или обеспечения независимой координаты.

Привод главного движения может иметь **ступенчатое и бесступенчатое регулирование частот вращения шпинделя.**

При **ступенчатом регулировании** применяют **автоматические коробки скоростей (АКС)** в сочетании с одно- или многоскоростными нерегулируемыми электродвигателями. Такой привод имеет высокий КПД, обеспечивает передачу больших крутящих моментов при сравнительно небольших габаритах и применяется в токарных станках с ЧПУ.

Бесступенчатое регулирование частот вращения осуществляется двигателями постоянного тока с тиристорным управлением. Такие двигатели в сочетании с упрощенными двух-трехступенчатыми коробками скоростей наиболее распространены в приводах главного движения станков с ЧПУ. Преимущества такого привода: простота конструкции и легкость управления

Привод **главного движения** характеризуется техническими характеристиками - диапазоном регулирования R_n и мощностью P , передаваемой приводом. Эти технические характеристики зависят от служебного назначения станка, их определяют на основе анализа технологических процессов обработки различных деталей и соответствующей номенклатуры режущего инструмента, оговоренных техническим заданием на проектирование. При этом

$$R_n = n_{\max} / n_{\min}$$

где максимальная n_{\max} и минимальная n_{\min} частоты вращения шпинделя связаны со скоростью резания v (м/мин) и диаметром обрабатываемой детали d (мм) формулой

$$n_{\text{ш}} = 1000 v / \pi d$$

Приводы на основе преобразователей для станков с ЧПУ

В станках с ЧПУ нашли широкое применение цифровые преобразователи или цифровые приводы для механизмов подачи и главного движения с полным микропроцессорным управлением. Цифровые приводы представляют собой электродвигатели, работающие на постоянном или переменном токе. Конструктивно преобразователи частоты, сервоприводы и устройства главного пуска и реверса являются отдельными электронными блоками управления.

Привод подачи для станков с ЧПУ

В качестве привода используют двигатели, представляющие собой управляемые от цифровых преобразователей синхронные или асинхронные машины. Бесколлекторные синхронные (вентильные) двигатели для станков с ЧПУ изготавливают с постоянным магнитом на основе редкоземельных элементов и оснащают датчиками обратной связи и тормозами. Асинхронные двигатели применяют реже, чем синхронные.

Привод движения подач характеризуется минимально возможными зазорами, малым временем разгона и торможения, небольшими силами трения, уменьшенным нагревом элементов привода, большим диапазоном регулирования. Обеспечение этих характеристик возможно благодаря применению шариковых и гидростатических винтовых передач, направляющих качения и гидростатических направляющих, беззазорных редукторов с короткими кинематическими цепями и т.д.

Привод позиционирования (т.е. перемещения рабочего органа станка в требуемую позицию согласно программе) должен иметь высокую жесткость и обеспечивать плавность перемещения при малых скоростях, большую скорость вспомогательных перемещений рабочих органов (до 10 м/мин и более). В электродвигателях приводов, устанавливаемых непосредственно на станках, используют высокомоментные двигатели постоянного тока с транзисторными широко-импульсными преобразователями.

Вспомогательные механизмы станков с ЧПУ включают в себя устройства смены инструмента, уборки стружки, систему смазывания, зажимные приспособления, загрузочные устройства и т.д. Эта группа механизмов в станках с ЧПУ значительно отличается от аналогичных механизмов, используемых в обычных универсальных станках. Для сокращения потерь времени при загрузке применяют приспособления, позволяющие одновременно устанавливать заготовку и снимать деталь во время обработки другой заготовки.

Устройства автоматической смены инструмента (магазины, автооператоры, револьверные головки) должны обеспечивать минимальные затраты времени на смену инструмента, высокую надежность в работе, стабильность положения инструмента, т.е. постоянство размера вылета и положения оси при повторных сменах инструмента, иметь необходимую вместимость магазина или револьверной головки. В револьверных головках — установку и зажим инструмента осуществляют вручную. В головке закрепляют от 4 до 12 инструментов. Недостатком револьверных головок является невысокая жесткость и, как следствие, пониженная точность обработки.

ШПИНДЕЛЬНЫЕ УЗЛЫ СТАНКОВ

Шпиндель, являющийся конечным звеном привода главного движения и предназначенный для крепления инструмента (сверлильные, фрезерные станки) или заготовки (токарные станки), оказывает существенное влияние на точность, производительность и надежность всего станка.

Шпиндельные узлы станков в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями должны обеспечить следующее:

- Передачу на заготовку или инструмент расчетных режимов для заданных технологических операций.
- Точность вращения, оцениваемую радиальным и осевым биением переднего конца шпинделя. Точность вращения зависит от требуемой точности обработки:

$$\Delta \leq \Delta_d / 3$$

где Δ – биение шпинделя; Δ_d - допуск на лимитирующий размер готового изделия.

- Жесткость (радиальная и осевая), определяемая по деформации шпинделя, находящегося под нагрузкой; при этом жесткость на переднем конце шпинделя, Н/мкм, $J = F/y$

где F - сила, приложенная на переднем конце шпинделя, Н; y - прогиб переднего конца шпинделя, мкм.

- Высокие динамические качества (виброустойчивость), которые определяются амплитудой колебаний переднего конца шпинделя и частотой собственных колебаний. Вибрации, возникающие в шпиндельном узле, отрицательно сказываются на точности и чистоте обработки, стойкости инструмента и производительности станка. Желательно, чтобы собственная частота шпинделя была не ниже 500-600 Гц.
- Минимальные тепловыделения и температурные деформации шпиндельного узла, так как они влияют, как на точность обработки, так и на работоспособность опор. Тепловыделения регламентируются допустимым нагревом подшипников.

Класс точности станка	Н	П	В	А	С
Допустимая температура наружного кольца, °С	70	50-55	40-45	35-40	28-30

- Долговечность шпиндельных узлов, которая зависит от долговечности опор шпинделя, которая в свою очередь во многом зависит от эффективности системы смазывания, уплотнений, частоты вращения, величины предварительного натяга в подшипниках качения. Долговечность подшипников качения обычно составляет $(12...20) \times 10^3$ ч. При применении бесконтактных опор (гидростатических, гидродинамических и аэростатических) долговечность теоретически считают неограниченной.
- Быстрое и точное закрепление инструмента или обрабатываемой детали в шпинделе станка; в современных станках требуется автоматизация этой операции.
- Минимальные затраты на изготовление, сборку и эксплуатацию шпиндельного узла.

Шпиндели станков с ЧПУ выполняют точными, жесткими, с повышенной износостойкостью шеек, посадочных и базирующих поверхностей.

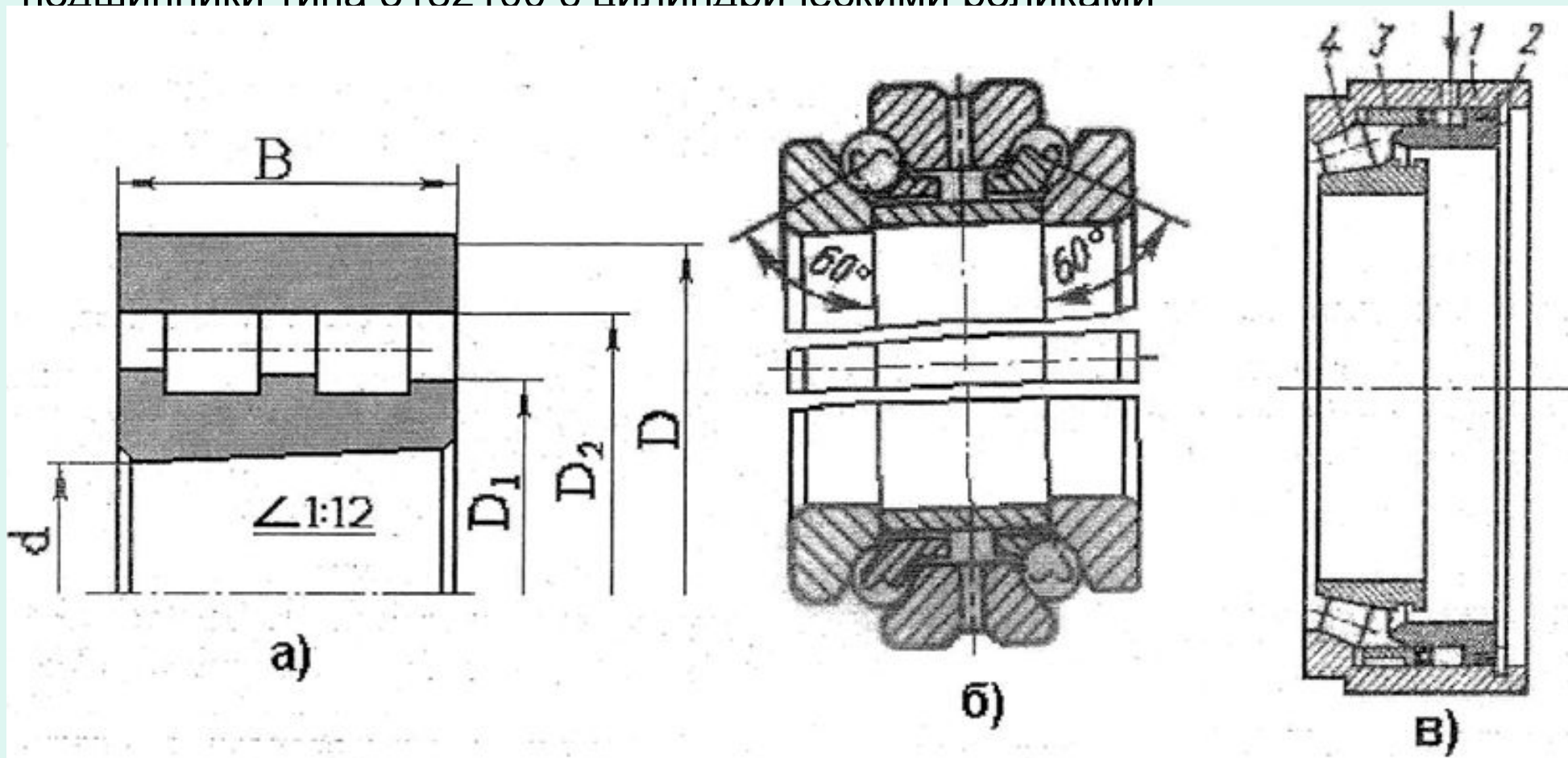
Конструкция шпинделя значительно усложняется из-за встроенных в него устройств автоматического разжима и зажима инструмента, датчиков при адаптивном управлении и автоматической диагностике. Шпиндели в станках класса Н и П выполняют из стали 40х, 45, 50 с поверхностной закалкой до твердости HRCэ 48...56.

ШПИНДЕЛЬНЫЕ ОПОРЫ КАЧЕНИЯ

Опоры шпинделей должны обеспечить точность вращения шпинделя в течение длительного времени в переменных условиях работы, повышенную жесткость, небольшие температурные деформации. Точность вращения шпинделя обеспечивается прежде всего высокой точностью изготовления подшипников.

В качестве опор шпинделей наиболее широко применяют подшипники качения. Для уменьшения влияния зазоров и повышения жесткости опор подшипники обычно устанавливают с предварительным натягом или увеличивают число тел качения.

Для восприятия радиальных нагрузок широко применяют двухрядные подшипники типа 3182100 с цилиндрическими роликами



Подшипники качения для шпинделей станков:

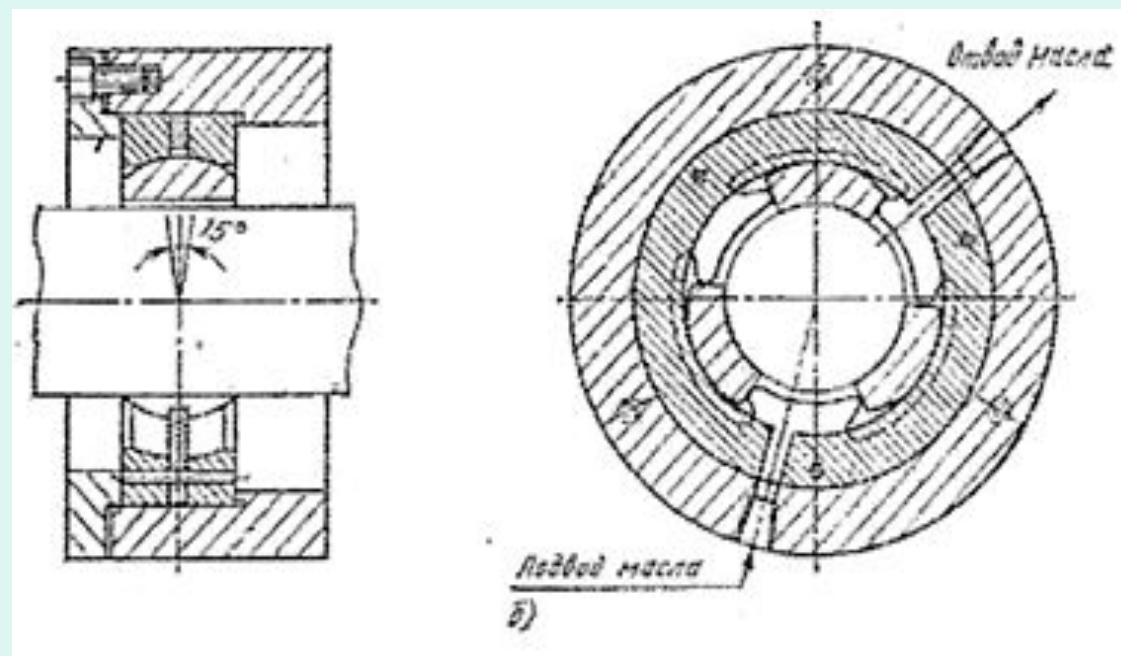
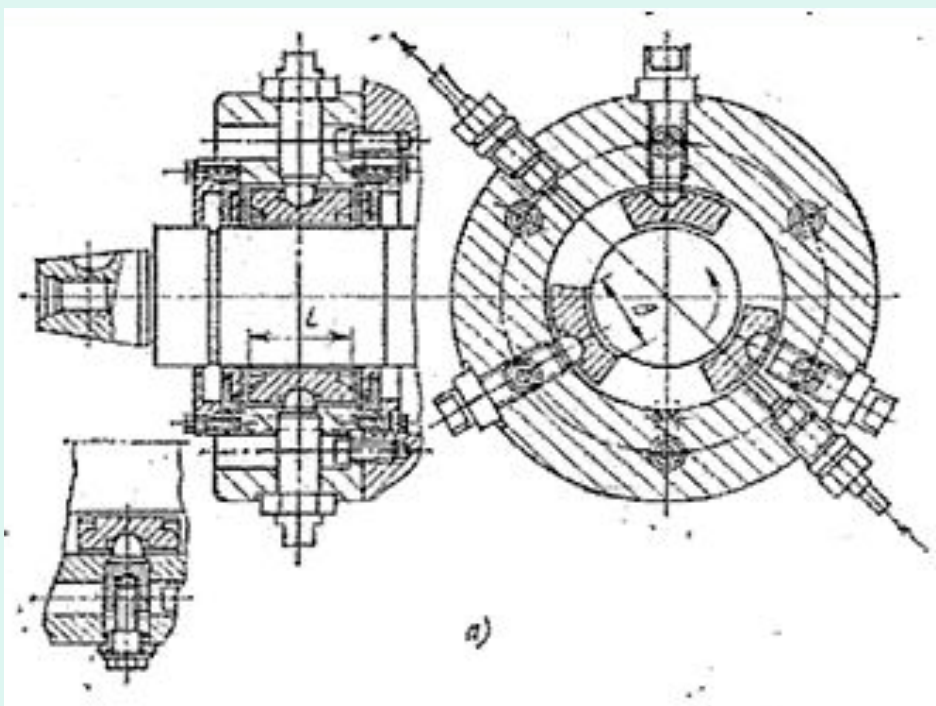
а – радиальный подшипник типа 3182100; б – радиально-упорный подшипник типа 178600; в – роликоподшипник с регулируемой величиной натяга

ОПОРЫ СКОЛЬЖЕНИЯ ДЛЯ ШПИНДЕЛЕЙ

Опоры скольжения применяют в шпиндельных узлах тех станков, где подшипники качения не могут обеспечить требуемой точности и долговечности работы. В качестве таких опор используют в зависимости от свойств гидродинамические и гидростатические подшипники, а также подшипники с газовой смазкой.

Гидродинамические подшипники применяют в станках с высокими постоянными или мало изменяющимися скоростями вращения шпинделей при незначительных нагрузках (станки шлифовальной группы). В станкостроении используют многоклиновые гидродинамические подшипники в которых создается несколько клиновых зазоров, куда вращающимся валом увлекается масло, и результирующая гидродинамических сил позволяет воспринимать внешнюю нагрузку, действующую в любом направлении. Клиновые зазоры создаются обычно с помощью башмаков, самоустанавливающихся в зависимости от нагрузки и положения шпинделя.

Самоустановка башмаков осуществляется либо их поворотом на сферических опорах (подшипник ЛОН-34 конструкции ЭНИМС, , либо поворотом относительно специально выполненной втулки (подшипник ЛОН-88,



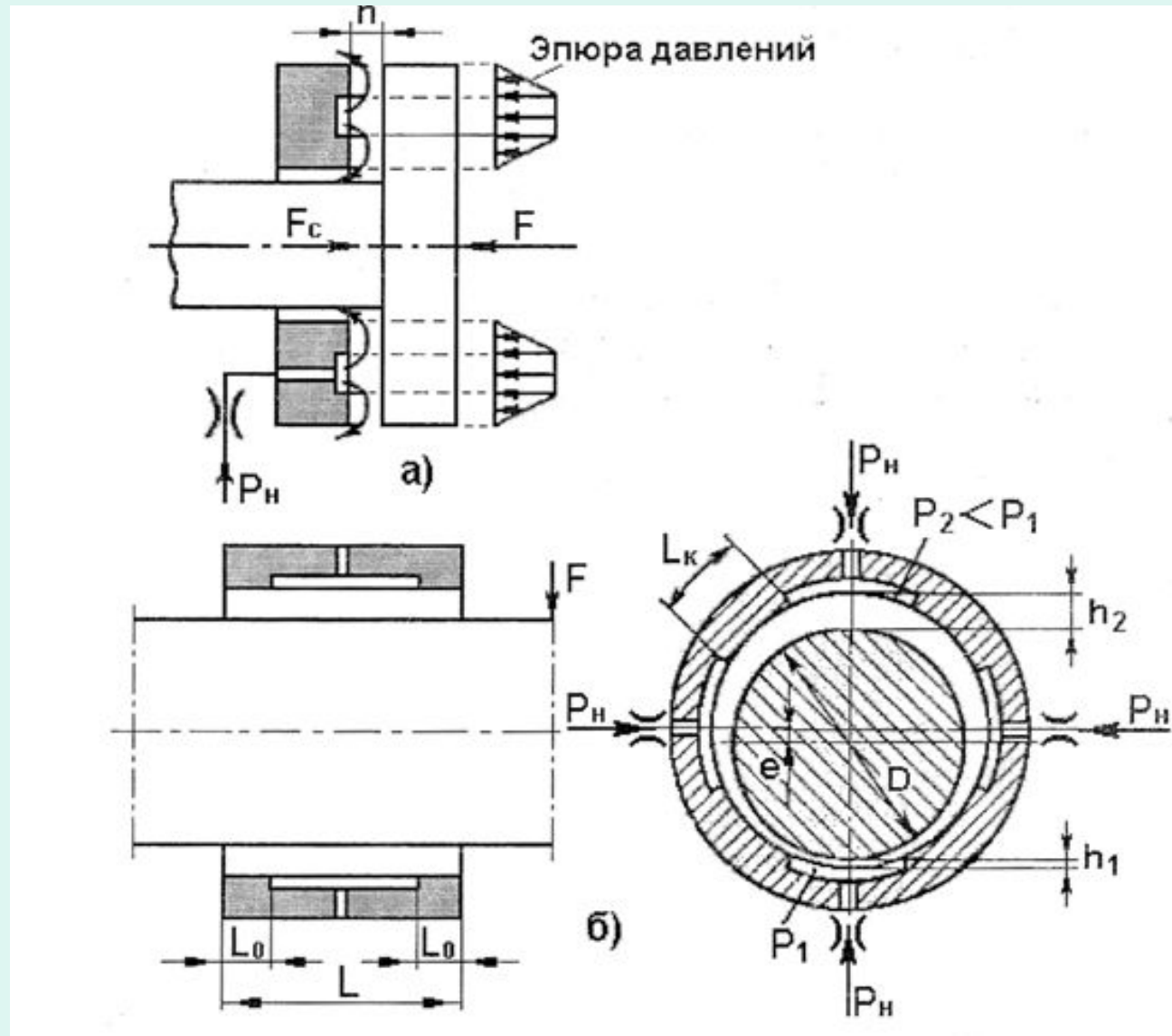
Гидродинамический подшипник с самоустановкой башмаков:
а - поворотом на сферических опорах; б – поворотом относительно втулки

Существенным **недостатком** гидродинамических опор является изменение положения оси шпинделя при изменении частоты его вращения.

Гидростатические опоры обеспечивают высокую точность вращения, обладают высокой демпфирующей способностью, что значительно повышает виброустойчивость шпиндельного узла, имеют практически неограниченную долговечность, высокую нагрузочную способность при любой частоте вращения шпинделя.

Гидростатические опоры скольжения: а – осевые; б – радиальные.

При прокачивании масла под давлением от внешнего источника через зазоры (щели) между сопряженными поверхностями в зазоре образуется несущий масляный слой, исключающий непосредственный контакт поверхностей даже при не вращающемся шпинделе.



Аэростатические опоры шпинделей по принципу действия подобные аналогичным гидростатическим, только несущий слой в них создается путем подвода в зазоры между сопряженными поверхностями не жидкости, а сжатого воздуха под давлением, не превышающим 0,3-0,4 МПа. Вследствие этого нагрузочная способность их невелика, однако малая вязкость воздуха позволяет существенно снизить потери на трение, что предопределило применение аэростатических подшипников в небольших прецизионных станках при больших окружных скоростях вращения шпинделя.

11.