

621.923
Г82

НТ НОВОСТИ
ТЕХНОЛОГИИ

В. Н. Гриднев, А. З. Ранин

**Механизация
доводки
прецизионных
деталей
в мелкосерийном
производстве**

В. Н. Гриднев, А. З. Раин

Механизация доводки прецизионных деталей в мелкосерийном производстве



ББК 34.637.7

Г82

УДК 621.923.7+65.011.54

Редакционная коллегия: проф. Е. Н. Маслов (председатель), канд. техн. наук А. В. Бальков, лауреат Государственной премии СССР Ю. М. Ковальчук, канд. техн. наук В. Н. Машков, инж. Я. Б. Миндлин, канд. техн. наук П. Н. Орлов, канд. техн. наук В. Ф. Романов, канд. техн. наук В. А. Хрульков

Гриднев В. Н., Рамм А. З.

Г82 **Механизация доводки прецизионных деталей в мелкосерийном производстве.** — М.: Машиностроение, 1983. — 72 с., ил. (Б-ка «Новости технологии»).

20 к.

Обобщен опыт доводочных работ в условиях мелкосерийного производства прецизионных деталей. Рассмотрены конструкции специализированных станков для доводки сфер, плоскостей, цилиндров и фасонных поверхностей. Даны рекомендации для достижения точности формы поверхностей. Показана эффективность механизации доводочных операций в условиях мелкосерийного производства деталей широкой номенклатуры.

Для инженеров-технологов машиностроительных предприятий.

Г 2704040000-069 69-83
038(01)-83

ББК 34.637.7
6П4.67

ВВЕДЕНИЕ

Основным условием нормальной работы двигателей является бесперебойное питание топливом с автоматической регулировкой подачи. Эти функции выполняют агрегаты топливной аппаратуры, в составе которых работают прецизионные пары различного назначения и конструкции. Прецизионные пары осуществляют непрерывную или дозированную подачу топлива, герметизацию среды, служат уплотнениями, опорами скольжения или качения.

Как правило, детали прецизионных пар работают в условиях контактного взаимодействия и имеют сферические, плоские или цилиндрические исполнительные поверхности. Требования к макрогеометрии поверхностей значительно выше требований, определяемых в машино- и приборостроении качествами. Так, отклонение формы поверхностей задают в пределах 0,5—2 мкм, допуски размеров — в пределах 1—3 мкм, а отклонение расположения относительно конструкторских баз — в пределах 5—10 мкм. При этом микрогеометрия (шероховатость) должна быть на один-два порядка меньше, чем заданная точность формы, и находиться в пределах 0,04—0,16 мкм.

Основным методом окончательной обработки прецизионных деталей являются абразивная обработка и доводка. Достаточно глубоко изученные физико-химические основы процесса и разработанные способы доводки позволяют создать условия для одновременного обеспечения указанных требований к макро- и микрогеометрии прецизионных поверхностей. Однако в мелкосерийном производстве велика доля доводочных операций, осуществляемых вручную. Они малопроизводительны, не обеспечивают стабильности заданных геометрических параметров, требуют высокой квалификации рабочих.

Производство топливных агрегатов можно отнести к мелкосерийному производству. Наличие в агрегатах большого числа деталей и пар с прецизионными поверхностями определяет объем доводочных работ, трудоемкость которых составляет около 30 % от трудоемкости механической обработки деталей. Применение различных по физико-механическим свойствам материалов, специальные требования к качеству поверхностного слоя деталей, различные виды термической обработки (закалка, азотирование, цементация), нанесение специальных покрытий требуют разделения доводочных операций на предварительные, промежуточные и чистовые.

Предварительной доводке часто подвергаются детали, обработанные лезвийными инструментами. На промежуточную доводку могут поступать детали с большими отклонениями по геометрии. Припуск, снимаемый чистой доводкой, может составлять часть поля допуска обрабатываемой поверхности.

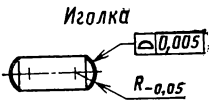
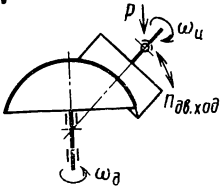
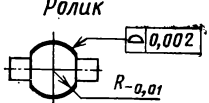
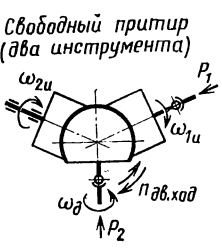
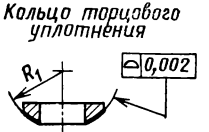
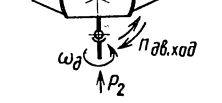
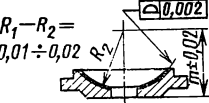
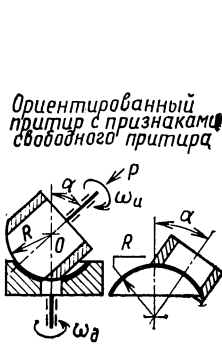
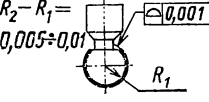
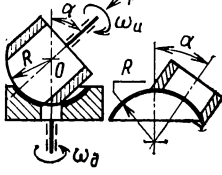
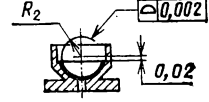

Краткое рассмотрение особенностей агрегатостроения позволяет отнести к актуальным задачам механизацию доводочных операций в мелкосерийном производстве прецизионных деталей и пар. В течение ряда лет эта задача планомерно и последовательно решалась на одном из предприятий отрасли. Авторы принимали участие в разработке и расчете способов и схем механизированной доводки, конструировании специализированных и универсальных доводочных станков, исследовании их точности, режимов и условий доводки, внедрении станков в мелкосерийном производстве. В данной книге обобщен опыт механизации доводочных работ с целью повышения производительности труда, качества прецизионных деталей и, в конечном итоге, улучшения эксплуатационных параметров топливных агрегатов.

ДЕТАЛИ С ПРЕЦИЗИОННЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ И СХЕМЫ ДОВОДКИ

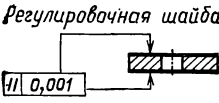
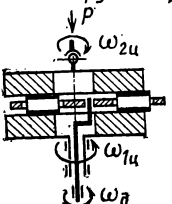
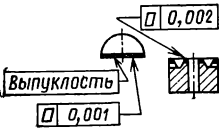
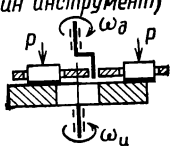
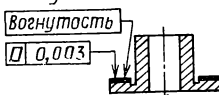

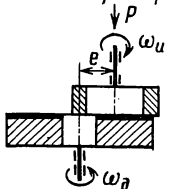
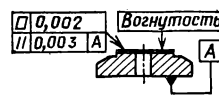
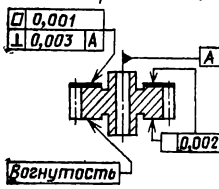
Типы деталей, поверхностей и требования к ним. Прецизионные детали работают в составе пар различного назначения. Наиболее распространенными парами являются плунжер — втулка, сепаратор — пята, крышка — кольцо, золотник — ротор, жиклер — клапан, цапфа — обойма, рычаг — пята и др. Основные исполнительные поверхности деталей: сферические (табл. 1), плоские (табл. 2), цилиндрические (табл. 3). Реже применяются сопряженные поверхности: цилиндр — сфера, сфера — конус, т. е. поверхности, переходящие одна в другую. На основании анализа деталей в табл. 1—3 приведены конструктивные признаки поверхностей. Эти признаки являются одновременно и технологическими, так как определяют требования к выбору способа, схемы и условий абразивной доводки.

Одним из основных признаков, характерным для всех прецизионных поверхностей, является точность их расположения относительно конструкторских баз детали. Если в чертеже специально оговорены и заданы с

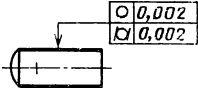
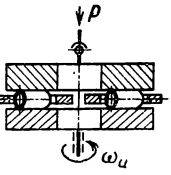
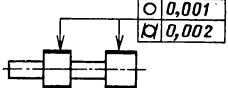
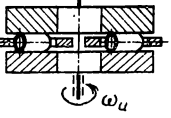
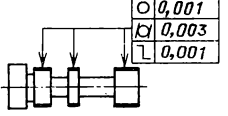
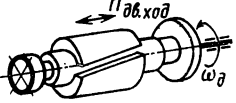
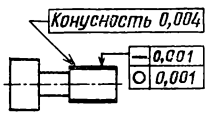
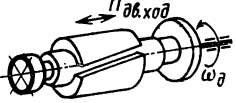
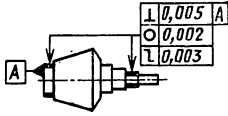
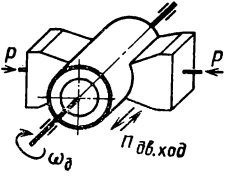
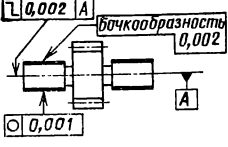
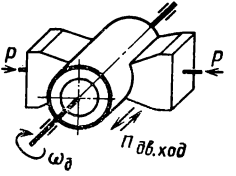
1. Детали со сферическими поверхностями и схемы доводки

Эскиз детали	Основные признаки поверхности	Схемы доводки	Реализуемые признаки поверхности
<p>Иголка</p> 	<p>Некоординированная, несопрягаемая, меньше полусферы, выпуклая</p>	<p><i>Свободный притир (один инструмент)</i></p> 	<p>Некоординированная, несопрягаемая, меньше полусферы, вогнутая, выпуклая</p>
<p>Ролик</p> 	<p>Некоординированная, несопрягаемая, полусфера и больше, выпуклая</p>	<p><i>Свободный притир (два инструмента)</i></p> 	<p>Некоординированная, несопрягаемая, выпуклая, полусфера и больше</p>
<p>Кольцо торцового уплотнения</p> 	<p>Некоординированная, сопрягаемая, полусфера и больше, выпуклая</p>	<p><i>Свободный притир (два инструмента)</i></p> 	<p>Некоординированная, сопрягаемая, полусфера и больше, выпуклая</p>
<p>Крышка торцового уплотнения</p> <p>$R_1 - R_2 = 0,01 \div 0,02$</p> 	<p>Некоординированная, сопрягаемая, меньше полусферы, выпуклая</p>	<p><i>Ориентированный притир с признаками свободного притира</i></p> 	<p>Координированная, некоординированная, сопрягаемая, несопрягаемая, меньше полусферы, вогнутая, выпуклая</p>
<p>Плунжер насоса</p> <p>$R_2 - R_1 = 0,005 \div 0,01$</p> 	<p>Координированная, сопрягаемая, меньше полусферы, вогнутая</p>	<p><i>Ориентированный притир с признаками свободного притира</i></p> 	<p>Координированная, некоординированная, сопрягаемая, несопрягаемая, меньше полусферы, вогнутая, выпуклая</p>
<p>Подпятник плунжера</p> 	<p>Координированная, сопрягаемая, полусфера и больше, вогнутая</p>	<p><i>Ориентированный притир с признаками свободного притира</i></p> 	<p>Координированная, сопрягаемая, полусфера и больше, вогнутая</p>

2. Детали с плоскими поверхностями и схемы доводки

Эскиз детали	Основные признаки поверхности	Схема доводки	Реализуемые признаки поверхности
<p><i>Регулировочная шайба</i></p>  <p>□ 0,001</p>	<p>Некоординированная, открытая</p>	<p><i>Свободный притир (два инструмента)</i></p> 	<p>Некоординированная, открытая</p>
<p><i>Клапан и жиклер</i></p>  <p>□ 0,002</p> <p>Выпуклость</p> <p>□ 0,001</p>	<p>Некоординированная, с заданной неплоскостью, открытая</p>	<p><i>Свободный притир (один инструмент)</i></p> 	<p>Некоординированная, открытая</p>
<p><i>Втулка торцового уплотнения</i></p>  <p>Вогнутость</p> <p>□ 0,003</p>	<p>Некоординированная, с заданной неплоскостью, закрытая</p>		
<p><i>Подпятник</i></p>  <p>□ 0,002</p> <p>/// 0,003 A</p>	<p>Координированная, закрытая</p>	<p><i>Ориентированный притир с признаками свободного притира</i></p> 	<p>Координированная, некоординированная, с заданной неплоскостью, закрытая</p>
<p><i>Плоский золотник</i></p>  <p>□ 0,002</p> <p>/// 0,003 A</p> <p>Вогнутость</p>	<p>Координированная, с заданной неплоскостью, открытая</p>		
<p><i>Шестерня насоса</i></p>  <p>□ 0,001</p> <p>/// 0,003 A</p> <p>Вогнутость</p> <p>□ 0,002</p>	<p>Координированная, с заданной неплоскостью, закрытая</p>		

3. Детали с наружными цилиндрическими поверхностями и схемы доводки

Эскиз детали	Основные признаки поверхности	Схема доводки	Реализуемые признаки поверхности
<p><i>Плунжер насоса</i></p>  <p> $\circ 0,002$ $\square 0,002$ </p>	<p>Некоординированная, открытая, сплошная</p>	<p><i>Свободный притир с контактом по линии</i></p> 	<p>Некоординированная, открытая, пересеченная, сплошная</p>
<p><i>Золотник</i></p>  <p> $\circ 0,001$ $\square 0,002$ </p>	<p>Некоординированная, открытая, пересеченная</p>	<p><i>Свободный притир с контактом по поверхности</i></p> 	<p>Некоординированная, открытая, пересеченная, сплошная</p>
<p><i>Золотник</i></p>  <p> $\circ 0,001$ $\square 0,003$ $\square 0,001$ </p>	<p>Некоординированная, закрытая, пересеченная</p>	<p><i>Свободный притир с контактом по поверхности</i></p> 	<p>Некоординированная, закрытая, открытая, пересеченная, сплошная</p>
<p><i>Золотник</i></p>  <p> Конусность 0,004 $\circ 0,001$ $\circ 0,001$ </p>	<p>Некоординированная, с заданной нецилиндричностью, закрытая, сплошная</p>	<p><i>Свободный притир с контактом по поверхности</i></p> 	<p>Некоординированная, закрытая, открытая, пересеченная, сплошная</p>
<p><i>Ротор насоса</i></p>  <p> $\triangle 0,005 A$ $\circ 0,002$ $\circ 0,003$ </p>	<p>Координированная, закрытая, сплошная</p>	<p><i>Ориентированный притир с признаками свободного притира</i></p> 	<p>Координированная, некоординированная, с заданной нецилиндричностью, закрытая, открытая, сплошная</p>
<p><i>Шестерня насоса</i></p>  <p> $\triangle 0,002 A$ бочкообразность 0,002 $\circ 0,001$ $\circ 0,002$ </p>	<p>Координированная, с заданной нецилиндричностью, закрытая, сплошная</p>	<p><i>Ориентированный притир с признаками свободного притира</i></p> 	<p>Координированная, некоординированная, с заданной нецилиндричностью, закрытая, открытая, сплошная</p>

высокой точностью предельные отклонения от баз, а их величина одного порядка с предельными отклонениями формы, то поверхность получает признак координированной. Например, у большинства деталей со сферическими координированными поверхностями ограничено смещение центра сферы относительно оси вращения детали или задано точное расстояние от какого-либо сечения или центра сферы до базовой плоскости детали. Для координированных плоских поверхностей заданы отклонения от параллельности или перпендикулярности относительно их баз. Координированные цилиндрические поверхности имеют заданные отклонения от соосности или перпендикулярности образующей к базовым торцам детали. Если такие требования не заданы, то прецизионные поверхности относят к некоординированным.

Важными являются признаки, определяющие условия доступа к прецизионным поверхностям при обработке. С этой точки зрения сферические поверхности делятся на выпуклые и вогнутые; плоские и наружные цилиндрические поверхности — на открытые и закрытые; внутренние цилиндрические поверхности — на короткие и длинные. Условия доступа к вогнутым сферическим поверхностям зависят также и от того — больше или меньше они полусферы. Под признаком закрытая поверхность понимают наличие конструктивных элементов детали, затрудняющих доступ к поверхности или выход инструмента при доводке.

Признак сопрягаемые (несопрягаемые) характерен для поверхностей, работающих совместно в прецизионных парах и связанных едиными техническими условиями на герметичность или величину площади поверхности контакта (пятно контакта). Сопрягаемые сферические поверхности — выпуклая и вогнутая — поверхности одного радиуса или, в зависимости от условий эксплуатации, с несколько большим радиусом у одной из них. У сопрягаемых плоских поверхностей кроме отклонения от плоскостности иногда задают характер отклонений от правильной геометрической формы. Так, в парах жиклер — клапан, обеспечивающих дозирование и герметизацию жидкой среды, в пределах заданного отклонения от плоскостности сопрягаемые поверхности должны быть выпуклыми или вогнутыми. Для некоторых цилиндрических поверхностей задают характер отклонения от цилиндричности: конусообразность, бочкообразность, сед-

лообразность. Такие требования характерны для шестерни насоса и некоторых типов золотников.

Менее распространенным признаком прецизионных поверхностей является наличие на них кромок, образованных от пересечения с другими поверхностями. Согласно этому признаку поверхности делят на пересеченные и сплошные. Эти признаки характерны для цилиндрических поверхностей некоторых типов золотников и втулок. В чертежах оговаривают геометрию кромок, например радиус скругления не более 5—10 мкм. В этом случае признак поверхности — наличие отсечных кромок — приобретает важное значение, так как после их обработки не допускаются сколы и заусенцы.

Приведенная конструктивно-технологическая классификация прецизионных поверхностей деталей не является исчерпывающей и может быть дополнена другими признаками по мере совершенствования конструкции топливных агрегатов. Однако в таком виде она может быть использована технологами для обоснования выбора способа и схемы доводки поверхностей.

Способы доводки прецизионных поверхностей. *Способ свободного притира* по определению проф. М. Н. Семibrатова — процесс, в котором соприкосновение рабочих поверхностей инструмента и обрабатываемой заготовки происходит по площадям, имеющим контур конечных размеров. Соприкосновение осуществляют силовым замыканием. Одна из рабочих поверхностей самоустанавливается (свободно устанавливается) относительно другой. Относительное движение инструмента и заготовки складывается не более чем из трех простых движений. Одно из движений обязательно вращательное, и ось вращения является нормалью к притирающимся поверхностям. Относительное перемещение и форму инструмента выбирают так, чтобы все притирающиеся участки на поверхностях заготовки и инструмента находились бы во время обработки в многократном перекрытии.

При доводке по способу свободного притира при реализации перечисленных признаков происходит взаимное профилирование обрабатываемой поверхности и контактирующей с ней поверхности инструмента, что позволяет получить минимальные предельные отклонения формы до 0,05 мкм. Однако непрерывное изменение размеров и взаимного положения поверхностей затрудняет, а иногда делает невозможным обеспечение задан-

ной точности их координирования относительно баз детали. Кроме того, процесс свободного притира неустойчив во времени, зависит от большого числа технологических факторов, трудно управляем, мало производителен и требует высокой квалификации оператора.

Способ ориентированного притира представляет собой процесс, при котором обрабатываемая поверхность и поверхность инструмента ориентированы в пространстве и относительно друг друга, имеет место регулирование относительного положения поверхностей и одна из поверхностей имеет принудительную подачу относительно другой. При доводке происходит профилирование контактирующих поверхностей детали и инструмента с одновременным обеспечением точности положения обрабатываемой поверхности относительно баз детали. Точность координирования определяют схема и точность относительного расположения детали и инструмента. Так, при пересечении осей их вращения под углом α (см. табл. 1) получается сферическая поверхность, центр которой находится в точке пересечения осей. Если оси вращения детали и инструмента параллельны, то в результате обработки образуется поверхность с радиусом $R \rightarrow \infty$, т. е. плоскость (см. табл. 2). При расположении оси невращающегося инструмента перпендикулярно оси вращения детали получается наружная цилиндрическая поверхность (см. табл. 3). Если эти условия не выполняются, например имеет место скрещивание осей детали и инструмента, то нарушаются точности размеров, координирования и формы обрабатываемой поверхности (профилируются поверхности третьего и более высоких порядков). Точность формы зависит от некоторых технологических факторов, хотя и меньшей степени, чем при способе свободного притира. Точность геометрических параметров обрабатываемой поверхности определяется точностью расположения инструмента и детали, т. е. точностью оборудования, реализующего способ ориентированного притира. Способ, по сравнению с предыдущим, отличается устойчивостью во времени и по отношению к действию технологических факторов — производительностью, не требует высокой квалификации оператора, легко автоматизируется.

Основным достоинством способа свободного притира является возможность достижения высокой точности формы доводимых поверхностей, а способа ориентиро-

свобода самоустановки инструмента 2 относительно детали 1. Последний признак достигается наличием радиальных зазоров Δ_r в опорах качения шпиндельных узлов инструмента и детали, а также определенной податливостью узлов под действием силы взаимодействия поверхностей. Этот способ позволяет управлять точностью координирования путем регулирования положения одного из звеньев, например шпинделя детали, и отклонениями формы путем выбора контура рабочей поверхности инструмента и изменением силового замыкания. Свобода же самоустановки инструмента относительно детали является пассивным признаком и определяется конструктивной реализацией схемы, т. е. точностными параметрами оборудования.

Для устранения этого недостатка и дальнейшего повышения точности формы прецизионных поверхностей может быть предусмотрена возможность регулирования радиальных зазоров Δ_r в опорах обоих шпиндельных узлов или узла, несущего инструмент. В результате этого обеспечивается комбинированная доводка с регулируемой самоустановкой звеньев (а не с ограниченной самоустановкой).

Способ комбинированной доводки путем последовательного сочетания признаков ориентированного и свободного притиров основан на последовательном чередовании обработки ориентированным и свободным притирами при неизменном установе детали 1 (рис. 1, б). Ориентированный притир 2 обеспечивает производительный съем припуска и заданную точность координирования поверхности, свободный притир 3 — точность ее формы. Однако при работе последнего достигнутая точность координирования может быть нарушена. Отсюда необходимость чередования работы притиров для последовательного приближения к заданным геометрическим параметрам детали. Если на первом этапе обработки обеспечить высокую точность формы, то можно сократить время доводки свободным притиром, сохранить точность координирования и ограничиться одним циклом чередования признаков.

Недостатками последнего способа доводки являются сложность конструктивной реализации схемы, наличие трех звеньев для размещения двух инструментов и детали, наличие периодов нестабильной работы, связанных с изменением формы и приработкой инструментов. Кро-

ме того, при обработке поверхностей малых размеров, конструктивная реализация схем усложняется, доводка внутренних цилиндрических поверхностей практически невозможна.

Исследования точностных возможностей способов комбинированной доводки показали, что предельные отклонения формы обрабатываемых поверхностей складываются из погрешностей, создаваемых процессом и оборудованием. Первые определяются признаками свободного притира, зависят от технологических и кинематических факторов и плохо поддаются аналитической оценке, вторые — признаками ориентированного притира, зависят от конструктивных факторов и могут быть при соответствующих допущениях вычислены аналитически

Выбор схем доводки деталей с прецизионными поверхностями. Способ и схему доводки технолог выбирает исходя из возможности обеспечения основных признаков прецизионных поверхностей. Схемы, построенные по способу ориентированного притира, позволяют доводить поверхности, координированные с высокой точностью относительно баз деталей. Высокая же точность формы доведенных поверхностей обеспечивается схемами, построенными по способу свободного притира. При необходимости одновременного достижения точности формы и координирования целесообразно применение схем на базе способов комбинированной доводки, из которых наиболее универсальными являются схемы, сочетающие признаки свободного и ориентированного притиров.

При доводке сфер и плоскостей схема ориентированного притира с введенными признаками свободного притира обеспечивает достижение практически всех выделенных в классификации признаков поверхностей. Характер поверхностей определяет схема расположения осей вращения трубчатого инструмента и детали. При расположении детали на нижнем звене (удобство установки, доступа, контроля) выпуклые сферы получают, размещая точку пересечения осей ниже уровня обрабатываемой поверхности, а вогнутые — выше уровня поверхности (см. табл. 1). Так как центр сферы лежит в точке пересечения осей, угол α выбирают так, чтобы обеспечить заданный радиус доведенной поверхности. Если в схему доводки ввести регулирование угла α и положения детали относительно точки пересечения осей, то можно управлять величинами радиуса сферы R и координирую-

щего размера m (см. рис. 1, а). Это особенно важно при обработке сопрягаемых сферических поверхностей. Следует отметить, что при разработке схем для доводки сфер с телесным углом, большим полусферы, возникают трудности взаимной ориентации звеньев, подвода и отвода инструмента.

В качестве примера приведем исходные данные для предварительного выбора способа доводки сферических поверхностей деталей топливных агрегатов. Критериями являются заданные точности формы ΔF , радиуса Δr и положения центра Δ_m сферы относительно баз детали (табл. 4). Реально достигаемую точность определяют параметры схемы, реализующей выбранный способ доводки.

4. Способы доводки сферических поверхностей

Точность геометрических параметров поверхности, мм			Способ доводки
ΔF	Δr	Δ_m	
$>0,005$	$\geq 0,010$	$>0,01$	Ориентированный притир
$\geq 0,002$ $<0,005$	$>0,005$	$>0,10$ $<0,20$	Параллельное сочетание признаков
$<0,002$	$\geq 0,002$	$>0,20$	Последовательное сочетание признаков
$<0,0005$	$<0,001$	Точность не оговорена	Свободный притир

Схема с параллельным расположением осей вращения инструмента и детали (см. табл. 2) обеспечивает доводку плоских координированных поверхностей. Применяя трубчатые инструменты и изменяя эксцентриситет e , можно доводить открытые и закрытые плоскости и конфигурации в плане. При отклонении от параллельности осей в сторону их пересечения возникает отклонение от плоскостности, а точнее образуется выпуклая (вогнутая) сфера большого радиуса.

Схемы, построенные по способу свободного притира, не обеспечивают точности доводки координированных плоских поверхностей. Однако они позволяют получить поверхности с заданным отклонением от плоскостности.

Компоновка схем сводится к введению в них звеньев, позволяющих активно или пассивно управлять геометрией инструмента при доводке. Это несущий детали сепаратор с приводом от вала — эксцентрика, наличие реверса во вращении инструмента, индивидуальное силовое замыкание деталей, регулируемый выход деталей за край инструмента и др.

Наружные цилиндрические поверхности в серийном производстве доводят по способу свободного притира с контактом по линии (образующей) плоскости доводочными дисками, применяя схему, аналогичную схеме двухдисковой доводки плоских поверхностей. Она обеспечивает реализацию только части конструктивно-технологических признаков деталей топливных агрегатов. Схема характеризуется сложными технологическими условиями достижения макрогеометрии поверхностей из-за неравномерности осевого вращения деталей, изменения профиля радиального сечения дисков и др. [2]. Затруднена доводка деталей с заданным отклонением от цилиндричности, доводка закрытых поверхностей и не обеспечивается точность координирования.

Закрытые наружные цилиндрические поверхности доводят по способу свободного притира цилиндрическими разжимными инструментами с контактом по поверхности. Принудительное вращение детали обеспечивает достаточно высокую точность формы (круглость) в поперечном сечении. Достижение точной продольной геометрии трудоемко и зависит от закона движения инструмента, величины выхода инструмента за край детали, распределения давления. Кроме того, в схеме не выполняется один из признаков свободного притира — условие перпендикулярности оси вращательного движения к взаимно притирающимся поверхностям детали и инструмента.

Разработанные схемы обработки наружных цилиндрических поверхностей реализуют способ ориентированного притира, обеспечивая точность координирования поверхностей. Они одновременно обладают признаками свободного притира: контакт инструмента и детали осуществляется по поверхности с контурами конечных размеров, все точки взаимодействующих поверхностей находятся в многократном перекрытии, инструмент и деталь имеют регулируемое силовое замыкание. В результате обеспечивается высокая точность формы в продоль-

ном и поперечном сечениях цилиндрических поверхностей.

Для обработки наружных цилиндрических координированных поверхностей с заданным отклонением от цилиндричности (конусность, седлообразность, бочкообразность) разработана схема комбинированной доводки с регулированием положения детали (оси ее вращения) относительно инструмента.

МЕХАНИЗАЦИЯ ДОВОДКИ СФЕРИЧЕСКИХ И ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Выбор параметров схемы комбинированной доводки. Для топливных агрегатов часто применяют прецизионные детали с координированными сферическими и плоскими поверхностями. В чертежах заданы форма, размеры и положение поверхностей. Для их окончательной обработки целесообразно применять схемы комбинированной доводки, в частности схемы с параллельным сочетанием признаков ориентированного и свободного притигов, как наиболее универсальной и обеспечивающей заданные требования.

Большинство деталей симметричны относительно центральной оси. Схемы их комбинированной доводки отличаются только положением оси вращения трубчатого инструмента. При обработке сфера пересекается с осью вращения детали под углом α , а при обработке плоскостей расположена с эксцентриситетом e параллельно оси вращения детали. Схема комбинированной доводки плоских поверхностей может быть рассмотрена как частный случай схемы доводки сферических поверхностей, у которых $R \rightarrow \infty$. Поэтому методика выбора параметров схемы комбинированной доводки изложена для случая обработки сферических поверхностей.

Каждой схеме доводки присущи определенные геометрические, кинематические и технологические параметры. В состав геометрических параметров сфер (см. рис. 1, а) входят наружный D_n и внутренний d_n диаметры трубчатого инструмента, соотношение размеров инструмента и сферической поверхности, угол пересечения α осей вращения инструмента и детали, радиальные зазоры Δ_p в опорах шпинделей, отклонение от пересечения осей шпинделей Δ_n и снимаемый припуск δ .

К кинематическим параметрам относят скорости вращения инструмента ω_n и детали ω_d , соотношение скоростей $i = \omega_n/\omega_d$ и направление векторов скоростей. Основными технологическими параметрами являются давление p , создаваемое силовым замыканием P инструмента и детали, относительная скорость $v_{отн}$ в зонах их контакта, зернистость и исходное состояние абразива («свободное» в составе пасты или суспензии и «связанное», обеспечиваемое твердой связкой), материалы детали и инструмента.

Выбор параметров схемы комбинированной доводки сферической поверхности начинают с определения наружного диаметра трубчатого инструмента, исходя из условия $1,8R < D_n < 2R$. Если конструкция детали не позволяет выдержать это соотношение, то

$$D_n \geq R \sin(\lambda_{\max} - \lambda_{\min})/2,$$

где R — радиус сферы; $(\lambda_{\max} - \lambda_{\min})/2$ — половина ширины сферического пояса или сегмента. Внутренний диаметр выбирают исходя из минимальной неравномерности распределения покрытий в зонах контакта со сферической поверхностью [2]. Чем меньше ширина рабочей кромки инструмента, тем короче период его приработки и больше изнашивание.

Размеры D_n и d_n инструмента для доводки плоской поверхности выбирают в зависимости от расстояния ее наружного контура до оси вращения детали, эксцентриситета e между осями вращения инструмента и детали, а также от характера перекрытия в зоне контакта поверхностей и распределения покрытий. Отклонение от плоскостности находится в корреляционной связи с эксцентриситетом и параллельностью осей инструмента и детали. С уменьшением e возрастают ошибки формы доведенной поверхности при отклонении от параллельности осей. При реализации схемы с малым e усложняется настройка станка. При обработке сферических поверхностей

$$\Delta F = \pm \Delta_n \sqrt{k^2 - (\cos \theta - \sqrt{1 - k^2 \cdot \cos \alpha})^2 / \sin^2 \alpha}, \quad (1)$$

где $k = r/R$ — отношение радиусов инструмента и детали; α — угол между осями их вращения; Δ_n — отклонение от пересечения осей. Уравнение справедливо для расчета погрешности в меридиональных сечениях сферы и при условиях абсолютной жесткости шпинделей, отсутствии радиальных зазоров в опорах, бесконечно малой величи-

не Δ_n по сравнению с радиусом R обрабатываемой сферы. Следовательно, в реальных условиях обработки аналитически прогнозируемая погрешность формы должна уточняться исследованиями точности оборудования, реализующего выбранную схему доводки.

Угол α (см. рис. 1, а) определяют геометрически, исходя из условий: пересечение оси вращения инструмента с осью вращения детали должно быть в точке, являющейся центром сферической поверхности; расположение точки пересечения осей относительно базовых поверхностей детали, обеспечивающее обработку наружной или внутренней сферы; перекрытие рабочей кромкой инструмента всех зон обрабатываемой поверхности. Угол α можно выбрать из соотношения $\alpha \approx (\lambda_{\max} - \lambda_{\min})/2$. Увеличение угла α так же, как и эксцентриситета e , приводит к повышению точности формы поверхности. Однако это увеличение ограничивается устойчивостью инструмента на поверхности детали. При обработке плоских поверхностей оси вращения инструмента и детали должны быть параллельны ($\alpha = 0$).

При выборе радиальных зазоров Δ_r в опорах шпинделей инструмента и детали следует учитывать, что они обеспечивают определенную свободу самоустановки звеньев, позволяют компенсировать отклонения от пересечения или параллельности осей в случае неточности изготовления станка, оказывают в конечном итоге существенное влияние на точность формы ΔF доведенных поверхностей. При этом Δ_r находится в корреляционной связи с зернистостью «свободного» абразива, от которой зависит толщина слоя между инструментом и деталью (рис. 2).

Отклонения от пересечения или параллельности осей вращения инструмента и детали непосредственно влияют на точность формы поверхностей. Эти геометрические параметры схемы комбинированной доводки должны быть равны нулю. При конструктивной реализации схемы возможно возникновение отклонений от пересечения или непараллельности осей из-за погрешностей изготовления деталей и сборки узлов станка.

Припуск δ при обработке сферических поверхностей влияет на размеры D_n и d_n , угол α и время обработки. Минимальное его значение может быть определено как сумма биения поверхности относительно оси вращения детали, погрешности формы, высоты микронеровностей

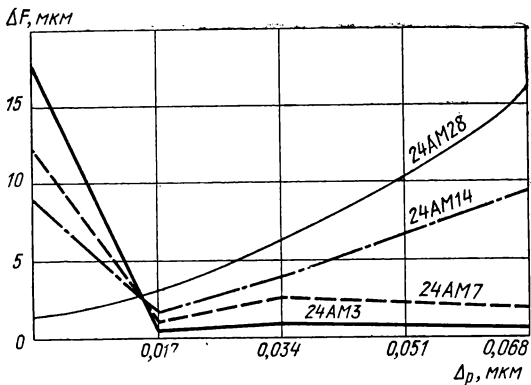


Рис. 2. Экспериментальные зависимости точности формы сферической поверхности от радиальных зазоров в опорах верхнего шпинделя и зернистости абразива в пасте при комбинированной доводке

и глубины нарушенного слоя обрабатываемой поверхности и технологического припуска для полной взаимной приработки инструмента и детали. Если при доводке изменять положение детали относительно точки пересечения осей шпинделей, то можно уменьшить время приработки и минимальный расчетный припуск за счет неравномерного удаления его в приполярных или экваториальных зонах сферы.

Скорости вращения инструмента и детали выбирают из условия достижения оптимальных значений $v_{отн} = 0,3 \div 0,5$ м/с и с учетом того, каким инструментом ведется обработка: абразивной пастой или трубчатыми инструментами со связанным абразивом (в последнем случае скорость может быть больше). При комбинированной доводке отдают предпочтение попутному вращению инструмента и детали с целью более равномерного распределения работы в зонах обработки и повышения точности геометрических параметров поверхности.

Отношение скоростей при доводке плоских поверхностей должно быть близким к единице, а при доводке сферических поверхностей, когда α меньше 45° , $\omega_{ин}/\omega_{д} \approx \cos \alpha$. Для наружных сферических поясов угол α близок к 90° , и одним инструментом трудно обеспечить равномерное распределение относительных скоростей. В этом случае, если позволяют размеры детали, целесообразно вести доводку двумя инструментами при $\omega_{ин}/\omega_{д} \approx 1$. Неравномерность распределения относитель-

ных скоростей, вызванная одним инструментом, компенсируется другим инструментом, расположенным с противоположной стороны детали. Давление p выбирают в пределах 0,2—0,8 МПа в зависимости от материала детали и инструмента, заданной шероховатости и точности формы. С увеличением давления в указанных пределах уменьшаются шероховатость и неточность формы.

Конструкция основных узлов специализированных сферо- и плоскодоводочных станков. Выбранные параметры схем комбинированной доводки сферических и плоских координированных поверхностей реализуются соответствующими конструкциями оборудования. Чем выше требования к обрабатываемым поверхностям, тем выше должна быть точность узлов станков и их относительных перемещений. Поверхности оптических деталей с наивысшей точностью формы обрабатывают способом свободного притира на относительно неточном оборудовании.

Так как способ комбинированной доводки основан на сочетании признаков ориентированного и свободного притиров, то при механизации доводочных работ в мелкосерийном производстве пошли по пути разработки станков обычной точности с введением устройств регулирования и управления некоторыми параметрами схемы для достижения высокой точности обрабатываемых поверхностей. Прежде всего необходимо предусмотреть устройства для регулирования отклонений от пересечения или параллельности осей вращения инструмента и детали, которые возникают при изготовлении оборудования и его эксплуатации. У некоторых деталей задано положение центра или сечения сферической поверхности относительно базы. Для достижения требуемой точности размеров необходимо обеспечить возможность перемещения детали относительно точки пересечения осей шпинделей.

Угол пересечения осей вращения шпинделей, который находят при геометрическом анализе схемы, остается неизменным в станке, предназначенном для доводки. Симметрично удаляя припуск, получают требуемый радиус сферы. Меняя положение детали относительно точки пересечения осей шпинделей, можно добиться активного управления величиной радиуса путем несимметричного съема припуска. При выборе параметров схемы комбинированной доводки было указано, что от ради-

альных зазоров в опорах шпинделей зависят степень свободы самоустановки инструмента относительно детали и точность формы доведенной поверхности. Отсюда возникает необходимость в определенном подходе к выбору подшипников, регулировании их радиальных зазоров и разработке регулируемых опор шпинделей.

В конструкциях основных узлов специализированных доводочных станков, разработанных по техническим заданиям и при участии технологов, учтены эти соображения по обеспечению точности прецизионных деталей топливных агрегатов. Основными узлами станков являются нижние и верхние шпиндели. Их размещают на станинах, расточку посадочных мест которых осуществляют так, чтобы обеспечить пересечение осей под углом α (доводка сфер) или параллельность осей (доводка плоскостей). Приводом вращения шпинделей служат зубчатые или ременные передачи.

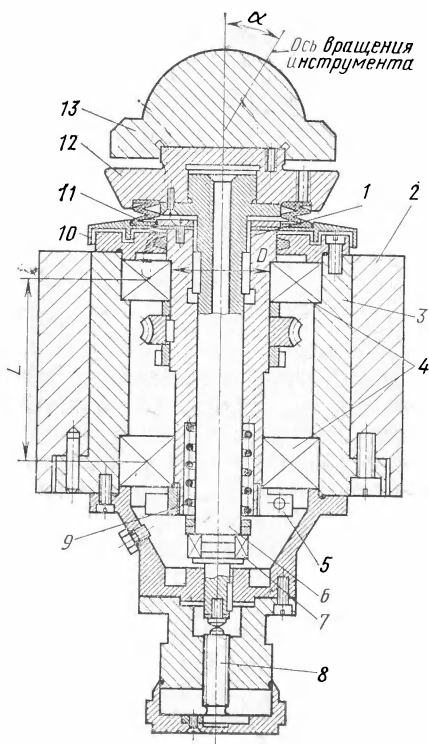


Рис. 3. Нижний шпindel сферодоводочного станка:

1 — пиноль шпинделя; 2 — корпус станка; 3 — стакан; 4 — рационально-упорные подшипники; 5 — регулировочная гайка; 6 — подвижная часть шпинделя; 7 — упорный подшипник; 8 — микрометрический винт; 9 — пружина; 10 — лабиринтное уплотнение; 11 — гофрированный защитный кожух; 12 — планшайба; 13 — деталь

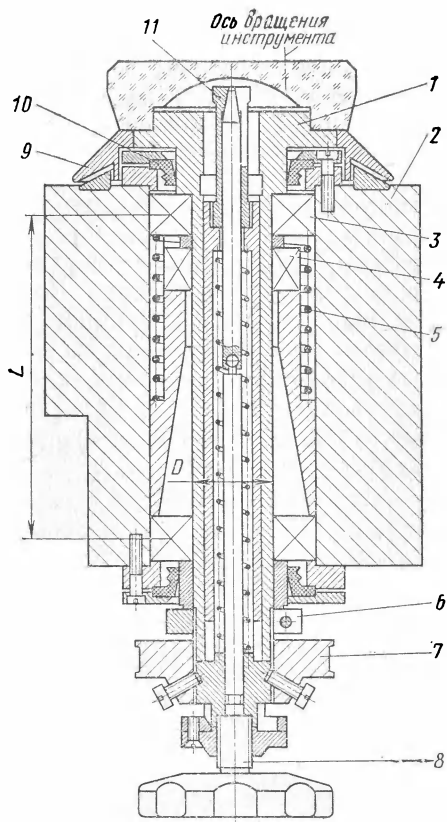


Рис. 4. Нижний шпиндель плоскоповодочного станка:

1 — пиноль шпинделя; 2 — корпус станка; 3 — радиальный подшипник; 4 — упорный подшипник; 5 — пружина; 6 — регулировочная гайка; 7 — шкив; 8 — винт разжима цапги; 9 — лабиринтное уплотнение; 10 — манжета; 11 — цапга

В нижних шпинделях сферодоводочных станков (рис. 3) предусмотрена подвижная часть 6 для изменения положения детали относительно точки пересечения осей шпинделей. Точность координирования сфер обеспечивается микрометрическим винтом 8 с ценой деления 0,01 мм. Подвижная часть шпинделя поджата к регулировочному винту пружиной 9, чем достигаются стабильность и чувствительность перемещений как вверх, так и вниз. Для сохранения точности пересечения осей вращения инструмента и детали, полученной при расточке корпуса станка, радиальные отклонения шпинделей должны быть минимальными. В частности, подвижная часть устанавливается в пиноли шпинделя 1 с зазором не более 2—5 мкм. Радиально-упорные подшипники 4 выбираются с одинаковой величиной радиального биения

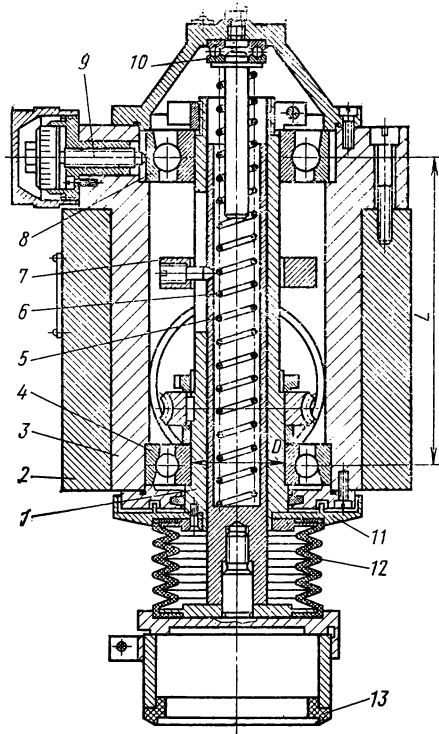


Рис. 5. Верхний шпиндель сферодоводочного станка;

- 1 — пиноль шпинделя; 2 — корпус станка; 3 — стакан; 4 — неподвижная опора; 5 — подвижная часть шпинделя; 6 — пружина; 7 — кольцо; 8 — подвижная опора шпинделя; 9 — микрометрический винт; 10 — упорный подшипник; 11 — лабиринтное уплотнение; 12 — гофрированный защитный кожух; 13 — трубчатый притир

и устанавливаются в стакане 3 (при корпусе станка) с одинаковым направлением максимальной величины биения. Этим исключается прецессирование оси шпинделя, несущего деталь. Большую часть силовой нагрузки воспринимает упорный подшипник 7, который должен иметь минимальное торцовое биение. Сменные планшайбы 12 позволяют устанавливать на нижнем шпинделе детали с различной конфигурацией базовых поверхностей.

В нижних шпинделях плоскодоводочных станков (рис. 4) не применяют устройства для перемещения детали, так как заданные плоскопараллельность и координирующий размер обеспечиваются вертикальным перемещением инструмента, ось вращения которого параллельна оси нижнего шпинделя. В пиноли шпинделя 1 может быть размещено цанговое зажимное устройство, особенность которого в том, что при вращении винта 8

происходит не только разжим цанги 11, но и перемещение ее вниз. Этим обеспечивается стабильный поджим доводимой детали к базовому торцу пиноли. При различных диаметрах базовых отверстий деталей могут быть применены сменные цанги. Для повышения точности координирования плоских поверхностей базовый торец пиноли шпинделя окончательно доводится трубчатым инструментом после сборки и настройки станка.

Приведенная конструкция иллюстрирует другой вариант минимизации радиальных отклонений шпинделя. В качестве верхней опоры применен радиальный подшипник 3, не несущий рабочей нагрузки. Массу шпинделя и силовое замыкание звеньев воспринимают упорный подшипник 4 и нижний радиально-упорный подшипник. Тарированная пружина 5 обеспечивает выборку и стабильность радиальных зазоров в подшипнике 3 при эксплуатации станка. Нижний подшипник воспринимает также большую часть радиальной нагрузки, возникающей от силы натяжения в ременной передаче, действующей на шкив 7.

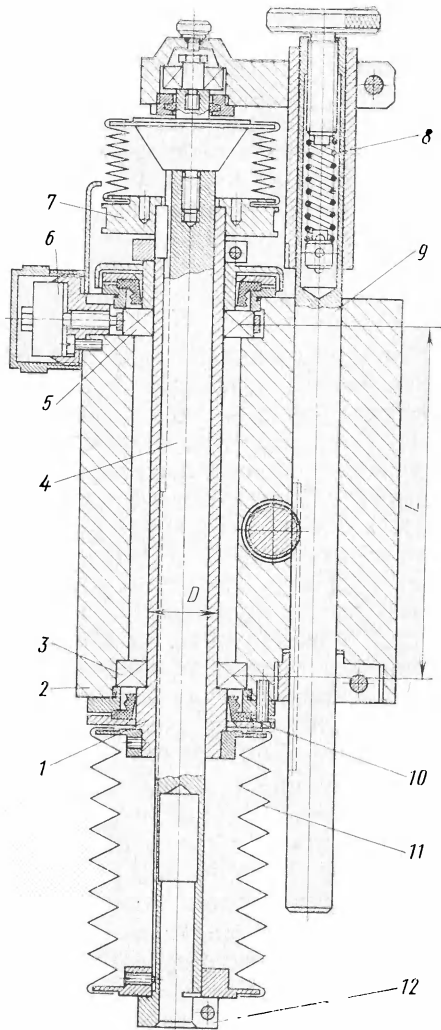
На верхних шпинделях сферо- и плоскодоводочных станков, как правило, крепят трубчатые инструменты. Основные задачи при их конструировании — обеспечение силового замыкания, возможности самоустановки инструментов и регулирования отклонения от пересечения или параллельности осей шпинделей станков.

Рассмотрим одну из конструкций верхнего шпинделя сферодоводочного станка (рис. 5). Для осуществления силового замыкания инструмента и детали в пиноли 1 шпинделя размещена подвижная часть 5, на которую с тарированной силой действует пружина 6. Для подъема (опускания) подвижной части и ограничения ее хода (когда деталь отсутствует) предусмотрены кольцо 7 и механическое устройство подъема (на рисунке не показано). Величина хода подвижной части шпинделя зависит от размеров детали, устанавливаемой на нижнем шпинделе (см. рис. 3) и удобства доступа при установке, контроле и съема детали. С учетом этого пружина 6 выполнена достаточно длинной. При удалении припуска силовое замыкание может меняться в небольших пределах.

Необходимость самоустановки инструмента позволяет предъявлять менее жесткие требования к радиальным отклонениям верхнего шпинделя. Так, подвижная

Рис. 6. Верхний шпindelь плосководочного станка:

1 — пиноль шпинделя; 2 — корпус станка 3 — неподвижная опора; 4 — подвижная часть шпинделя; 5 — подвижная опора; 6 — микрометрический винт; 7 — шкив; 8 — пружина; 9 — рейка; 10 — манжета; 11 — гофрированный защитный кожух; 12 — цапга



часть 5 может быть установлена в пиноли 1 с зазором до 10 мкм. Допустимы большие зазоры в опорах, в качестве которых используются радиально-упорные подшипники. Их величина определяется той точностью формы и координирования, которую хотят получить после обработки сферической поверхности. Для устранения отклонения от пересечения осей предусмотрена возможность переме-

щения верхней опоры 8 в плоскости, перпендикулярной оси шпинделя, тогда как нижняя опора 4 остается неподвижной. Его осуществляют тремя микрометрическими винтами 9, расположенными в стакане 3 под углом 120° (два винта на рисунке не показаны). Таким образом, шпиндель меняет свое угловое положение относительно точки, лежащей на его оси в зоне нижней опоры. Это же устройство позволяет в небольших пределах изменять угол наклона верхнего шпинделя. Для этого один из винтов 9 должен находиться в плоскости, где расположены оси верхнего и нижнего шпинделей и точка их пересечения.

Верхний шпиндель (рис. 6) плоскододовочных станков также имеет подвижную верхнюю опору 5 для устранения отклонения от параллельности осей вращения инструмента и детали или достижения на доведенной поверхности определенного характера отклонения от плоскости. Конструкция имеет отличительные особенности: подъем (опускание) подвижной части 4 шпинделя происходит не за счет сжатия пружины, а с помощью рейки 9. На рейке установлено и устройство силового замыкания с пружиной 8, которая имеет небольшую длину. Силы пружины можно регулировать в достаточно широких пределах винтом. Требуемая длина хода подвижной части обеспечивается ходом рейки. Для закрепления и смены трубчатых инструментов на конце подвижной части шпинделя выполнена цапга 12.

Конструкции станин, механизмов привода, размещение двигателей специализированных сферо- и плоскододовочных станков и устройств не представляют особых сложностей. В качестве примера компоновки приведена кинематическая схема одного из станков (рис. 7).

Механизация доводки на базе унифицированных доводочных головок. Разработка конструкций специализированных сферо- и плоскододовочных станков явилась первым этапом на пути механизации финишной обработки прецизионных поверхностей деталей топливных агрегатов. Теоретические расчеты ожидаемой точности, анализ и расчет прогreshностей, работоспособность рассмотренных узлов и механизмов станков были опробированы в мелкосерийном производстве. Эксплуатация станков подтвердила правильность расчетов и принятых конструктивных решений. Следует отметить, что на каждом специализированном станке, как правило, доводится

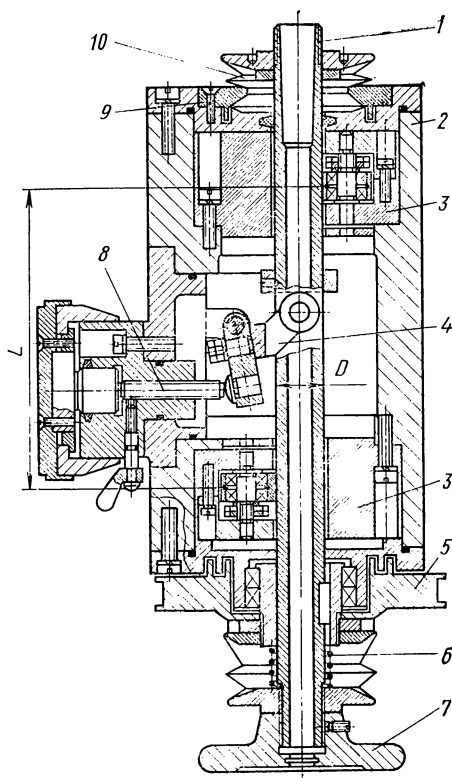


Рис. 8. Нижний шпindel унифицированной доводочной головки:

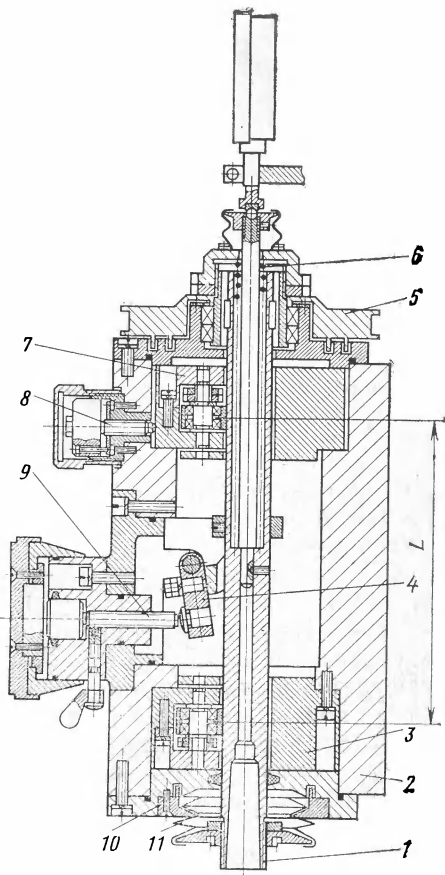
1 — пиноль шпинделя; 2 — корпус головки; 3 — регулируемая опора; 4 — рычаг; 5 — шкив; 6 — пружина; 7 — маховик; 8 — микрометрический винт; 9 — крышка уплотнения; 10 — гофрированный защитный кожух

сокая стоимость изготовления и эксплуатации. Высокую же точность доводки обеспечивают оптимальным сочетанием признаков ориентированного и свободного притиривания, а также взаимной компенсацией возникающих погрешностей.

Непрерывное совершенствование топливных агрегатов и связанное с ним появление новых типоразмеров и конструкций деталей с прецизионными сферическими и плоскими поверхностями усложнило технологию их доводки и потребовало перехода ко второму этапу механизации доводочных работ. В качестве основного направления была принята разработка шпиндельных узлов в виде унифицированных доводочных головок, из которых может быть скомпонован станок для обработки одного из нескольких типоразмеров деталей. При необходимости вариант компоновки может быть изменен.

Рис. 9. Верхний шпindelь унифицированной доводочной головки:

1 — пиноль шпинделя; 2 — корпус головки; 3 — неподвижная регулируемая опора; 4 — рычаг; 5 — шкив; 6 — пружина; 7 — подвижная регулируемая опора; 8 — микрометрический винт; 9 — микрометрический винт; 10 — крышка уплотнения; 11 — гофрированный защитный кожух



Нижний (рис. 8) и верхний (рис. 9) шпиндели унифицированных доводочных головок имеют много общих оригинальных конструкторских решений и сохраняют принципы настройки и регулирования, проверенные эксплуатацией специализированных станков. Пиноли 1 шпинделей выполнены с одинаковым наружным диаметром и с конусом Морзе на одном конце. Последний позволяет технологу разрабатывать и устанавливать сменные приспособления для закрепления детали и инструментов. При необходимости внутри пиноли может быть размещен цанговый зажим (см. рис. 4). Пиноль может вращаться и одновременно перемещаться вдоль своей оси, благодаря применению регулируемых опор 3 специ-

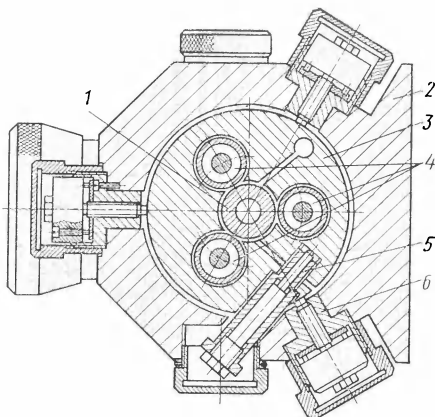


Рис. 10. Подвижная регулируемая опора шпинделя унифицированной доводочной головки:

1 — пиноль шпинделя; **2** — корпус головки; **3** — корпус опоры; **4** — опорные ролики; **5** — винт регулировочный; **6** — винт микрометрический

альной конструкции. Это позволило отказаться от подвижной части шпинделей и устраивать дополнительные радиальные зазоры.

Все опоры одинаковы по конструкции, а верхняя опора 7 верхнего шпинделя (рис. 9) выполнена подвижной для устранения отклонений от пересечения или параллельности осей шпинделей. Особенность конструкции заключается в том, что в корпусе 3 (рис. 10) установлены три опорных ролика 4, оси вращения которых параллельны оси пиноли 1. Каждый ролик имеет обойму, внутри которой находятся два радиальных подшипника. Наружная поверхность обоймы выполнена бочкообразной, что обеспечивает достаточно свободное осевое перемещение пиноли даже при смещении подвижной опоры в плоскости, перпендикулярной оси шпинделя. Твердость металла обоймы ниже твердости материала пиноли. Подшипники для роликов подбирают с минимальным радиальным биением, а обойму по наружной поверхности шлифуют после сборки ролика.

Радиальные зазоры Δ_p в опорах шпинделей регулируют сжиманием и разжиманием корпуса опоры 3 винтом 5. Подвижная опора может перемещаться в плоскости, перпендикулярной оси вращения пиноли, микрометрическими винтами 6, расположенными в корпусе 2 унифицированной верхней головки под углом 120°

Для обеспечения геометрических параметров доведенных поверхностей предусмотрено регулирование осевого положения пиноли шпинделя нижней и верхней

головок. В нижней (см. рис. 8) это необходимо для изменения положения детали относительно точки пересечения осей шпинделей в случае сферодоводки (координирование положения сферы). Перемещение пиноли 1 осуществляют микрометрическим винтом 8 через рычаг 4, конец которого выполнен в виде вилки, охватывающей пиноль. На вилке расположены два ролика, контактирующие с кольцом, закрепленным на пиноли. Поджим пиноли к рычагу осуществляется пружиной 6. Усилие пружины регулируют маховиком 7. Он же в зафиксированном состоянии служит для поворота пиноли вручную при закреплении и освобождении детали.

В верхней головке (см. рис. 9) устройством осевого перемещения пиноли, состоящего из рычага 4 и микрометрического винта 9, ограничивают ее вертикальный ход. Это необходимо для достижения заданного радиуса сферической поверхности или размера, координирующего положение плоской поверхности относительно базы. Устройство позволяет вести доводку в режиме выхаживания в положении пиноли на упоре. Силовое замыкание при удалении припуска осуществляют пружиной 6. Она же поджимает пиноль к вилке рычага при работе на упоре. Микрометрические винты механизмов перемещения пинолей имеют цену деления 1 мкм, т. е. на порядок меньше, чем в специализированных доводочных станках. Для активного контроля величины снимаемого припуска на верхней унифицированной головке установлен индикатор.

Радиальные отклонения шпинделей оказывают влияние на точность формы и координирования доведенных поверхностей. В конструкции унифицированных головок предусмотрена разгрузка пинолей от действия радиальных сил, создаваемых ременной передачей. Шкивы 5 (см. рис. 8 и 9) имеют собственную опору в виде сдвоенных подшипников, установленных в торцовой крышке головки, поэтому радиальная сила воспринимается крышкой, а на пиноль с помощью шпонки передается только крутящий момент.

Из унифицированных головок komponуют доводочные станки (рис. 11). Требуемое взаимное расположение головок 1 и 3 обеспечивают конструкцией переходного кронштейна 2. В сферодоводочном варианте компоновки (рис. 11, а) основные параметры кронштейна H_1 и α выбирают в зависимости от конструкции детали, радиу-

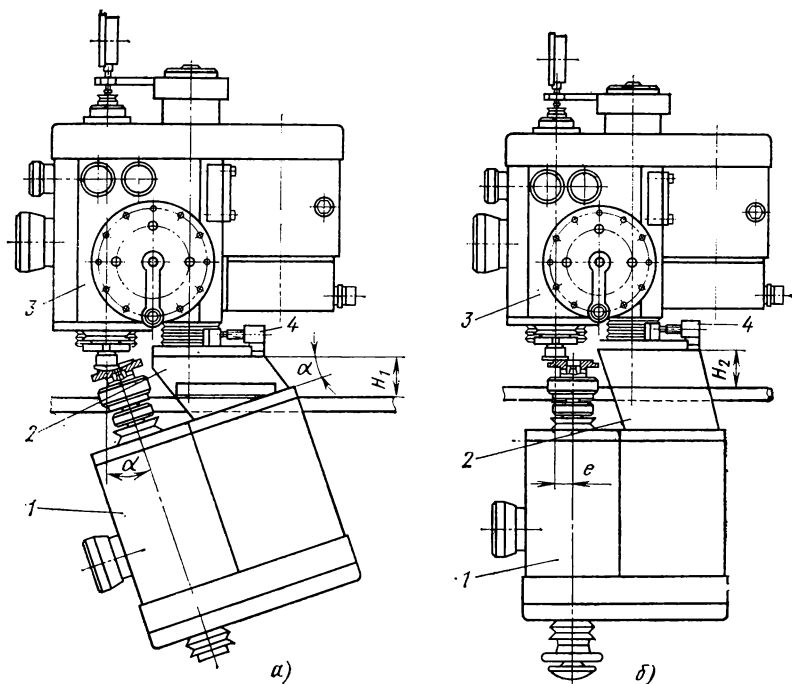


Рис. 11. Компонка унифицированных доводочных головок при обработке сферических (а) и плоских (б) поверхностей;

1 — нижняя головка; 2 — переходный кронштейн; 3 — верхняя
4 — упор

са сферической поверхности и угла α пересечения осей шпинделей. В плоскодоводочном варианте (рис. 11, б) руководствуются теми же соображениями при определении размера H_2 . Взаимная ориентация головок (осей шпинделей) обеспечивается соответствующей точностью расположения базовых поверхностей кронштейнов. Предусмотрено предварительное регулирование положения шпинделей упорами 4. Окончательную настройку осуществляют перемещением подвижной опоры шпинделя верхней головки.

Технологические возможности доводочных станков, скомпонованных на базе унифицированных головок, значительно шире, чем специализированных станков. Они позволяют доводить прецизионные сферические и плоские поверхности на деталях с наружным диаметром 20—120 мм и высотой 5—150 мм. Поверхности могут

быть открытыми и закрытыми с высотой элементов, ограничивающих доступ в зону обработки от 0 до 50 мм. Радиус обрабатываемых наружных и внутренних сферических поверхностей 10—160 мм. Станки стабильно обеспечивают следующую точность геометрических параметров поверхностей: отклонения от сферичности плоскостности — до 1 мкм; точность радиуса сферы 1—5 мкм; отклонения от параллельности и перпендикулярности плоскости относительно базы — до 2 мкм, точность положения центра сферы относительно базы — не менее 10 мкм.

Обеспечение точности параметров поверхности. Заданную точность параметров поверхности достигают по результатам расчетов путем соответствующей настройки доводочных станков.

В сферодоводочных станках оси вращения шпинделей детали и инструмента должны пересекаться в точке O , являющейся центром доведенной сферической поверхности (см. рис. 7). При отсутствии зазоров Δ_p в опорах шпинделей положение точки O в пространстве остается неизменным. Перемещение детали вдоль ее оси вращения приводит к изменению координирующего размера m . При наличии радиальных зазоров, например в опорах шпинделя инструмента, положение точки может изменяться, а центр сферы смещается при этом на Δ_m . Влияние Δ_p на Δ_m зависит от конструктивных параметров станка:

$$\Delta_m = \pm (2b \cos \alpha \Delta_p) / (L \sin^2 \alpha), \quad (2)$$

где L — расстояние между опорами шпинделя инструмента; b — расстояние от точки O до нижней опоры; α — угол пересечения осей.

В плоскодоводочных станках оси вращения детали и инструмента должны быть параллельны, а точность координирующего размера достигается своевременным прекращением процесса доводки или настройкой верхнего шпинделя на упор (см. рис. 9). Влияние зазоров в опорах на координирующий размер незначительно.

Погрешность формы поверхностей зависит от технологических факторов и от взаимного расположения осей вращения детали и инструмента. При обработке сфер погрешность определяет величина отклонения от пересечения осей Δ_n , а плоскостей — величина отклонения от параллельности $\Delta\alpha_n$ и перекоса $\Delta\alpha_{\pi}$ осей. Ожидаемая погрешность формы для сфер

$$\Delta F_{\text{сф}} = \Delta F_{\text{т}} + [\Delta_{\text{н}} - (2b\Delta_{\text{р}})/L] D_{\text{н}}/2R; \quad (3)$$

для плоскостей

$$\Delta F_{\text{пл}} = \Delta F_{\text{т}} + (\Delta\alpha_{\text{п}} - 2\Delta_{\text{р}}/L) D_{\text{н}}/2 + \Delta F_{\text{н}}, \quad (4)$$

где $\Delta F_{\text{т}}$ — технологическая погрешность формы; $\Delta F_{\text{н}}$ — погрешность, вызванная отклонением от параллельности осей; R — радиус сферы.

Технологическую погрешность формы сложно определить аналитически. В схемах комбинированной доводки она сведена к минимуму обеспечением некоторой свободы самоустановки инструмента, однонаправленным вращением инструмента и детали с близкими угловыми скоростями, применением трубчатых инструментов с минимально возможной шириной рабочей части. При этом $\Delta F_{\text{т}}$ соизмерима с размерами абразивных зерен в пасте или, точнее, с глубиной проникновения зерен в обрабатываемый материал. При наличии других составляющих в формулах (3), (4) $\Delta F_{\text{т}}$ можно пренебречь.

В схемах комбинированной доводки погрешность формы поверхностей в большей степени зависит от носительного положения осей и радиальных зазоров. Наличие последних позволяет уменьшить погрешность формы поверхностей, компенсируя отклонения от пересечения $\Delta_{\text{н}}$ и перекоса $\Delta\alpha_{\text{п}}$ осей, имеющих место из-за неточностей изготовления станков и погрешности настройки. При условиях $\Delta_{\text{н}} \leq (2b\Delta_{\text{р}})/L$ и $\Delta\alpha_{\text{п}} \leq 2\Delta_{\text{р}}/L$ технологическая составляющая будет иметь преобладающее влияние на ΔF . В этом случае доводка идет по способу свободного притира, а точность формы поверхностей обеспечивается не настройкой станка, а технологическими факторами.

Для уменьшения отклонений от сферичности и плоскостности увеличивают радиальные зазоры в опорах шпинделей. Для увеличения точности координирования (2) уменьшают радиальные зазоры. При настройке станков для доводки координированных прецизионных поверхностей вначале устанавливают радиальные зазоры, позволяющие обеспечить заданную точность координирования, а затем соответствующими устройствами добиваются того, чтобы отклонения от пересечения или параллельности осей шпинделей находились в пределах зазоров в опорах.

В специализированных плоско- и сферодоводочных станках $\Delta_{\text{р}}$ фиксируют после их изготовления, сборки и

наладки. В разработанных конструкциях станков она находится в пределах 7—15 мкм, что позволяет достигать точность формы доведенных поверхностей в пределах 2—4 мкм. В унифицированных доводочных головках обеспечено регулирование радиальных зазоров за счет усложнения конструкции опор шпинделей. Установлено, что при сферодоводке изменение зазоров в опорах нижнего шпинделя, несущего деталь, в пределах 20—60 мкм не оказывает существенного влияния на ΔF . Она колеблется в пределах 0,6—1,5 мкм. Это объясняется тем, что действие силы P (см. рис. 1, а) на нижний шпиндель под углом α приводит к повороту его оси в пределах зазоров в опорах и смещению точки пересечения осей относительно положения базового торца детали. При этом отклонение от пересечения меняется незначительно. На практике радиальные зазоры в опорах нижнего шпинделя стремятся установить минимальными.

Радиальные зазоры в опорах верхнего шпинделя существенно влияют на точность формы доведенной сферической поверхности, а степень их влияния зависит также от зернистости абразива в пасте (см. рис. 2). Если зазоры меньше 15—20 мкм, то точность формы определяют признаками ориентированного притира, т. е. точностью взаимного расположения осей шпинделей. При этом, чем меньше размер зерен, тем больше ΔF . От размера зерен абразива зависит толщина слоя между инструментом и деталью. Отсюда, чем толще слой, тем меньше влияние отклонения от пересечения осей на форму сферической поверхности при малых зазорах в опорах шпинделя (см. рис. 2 — кривая для зернистости 24АМ28). Если радиальные зазоры больше 20 мкм, то точность формы доведенной поверхности определяют признаками свободного притира, а отклонение от пересечения осей шпинделей оказывает меньшее влияние.

При обработке плоскостей отклонения от параллельности осей шпинделей унифицированных доводочных головок не должна превышать 3 мкм на 100 мм длины (рис. 12, а). Настройка ведется путем доводки поверхности и по результатам оценки характера ее геометрической формы. Основным звеном настройки является подвижная верхняя опора верхней головки. Если имеет место отклонение от плоскостности, а характер ее — выпуклость, то оси шпинделей пересекаются под углом $\Delta\alpha$, а точка пересечения лежит ниже детали (рис. 12, б).

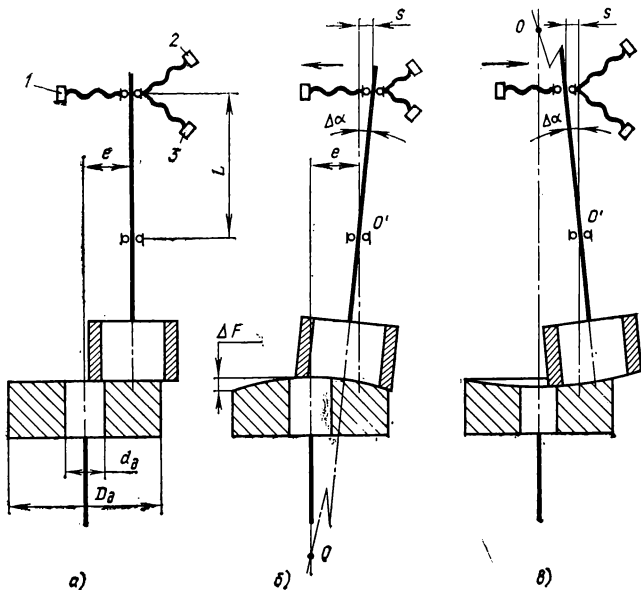


Рис. 12. Настройка взаимного положения осей вращения шпинделей доводочных головок: плоской (а), выпуклой (б) и вогнуто-сферической (в) поверхностей

Погрешность устраняется путем вывинчивания винта 1 на величину s и завинчивания винтов 2 и 3 на величину $s/2$. Сумма показаний шкал микровинтов головки должна оставаться постоянной. Если поверхность имеет вогнутый вид, то точка пересечения шпинделей лежит выше детали (рис. 12, в) и настройку параллельности следует вести в обратном порядке. Величину s можно определить из зависимости

$$\Delta F_H = (D_d^2 - d_d^2) / (8eL)(s \pm \Delta_p), \quad (5)$$

где L — расстояние между опорами шпинделя, мм; D_d , d_d — соответственно наружный и внутренний диаметры контура обрабатываемой поверхности, мм; e — эксцентриситет осей шпинделей, мм; s — перемещение винта, расположенного в плоскости осей шпинделей, мм.

При обработке сферических поверхностей отклонения от пересечения осей шпинделей доводочных головок не должно превышать 0,01 мм. Однако методика настройки, изложенная выше, позволяет только менять в незначительных пределах угол α и положение точки пересече-

ния осей, что приводит к изменению радиуса наружной (рис. 12, б) или внутренней (рис. 12, в) сферических поверхностей. Отклонение от непересечения (скрещивание) осей в плоскости, перпендикулярной плоскости осей шпинделей, устраняют иным способом. Так как непосредственное измерение относительного расположения осей вращения шпинделей головок является технически сложной и трудоемкой задачей, для настройки станка используются две детали с наружной и внутренней сферическими поверхностями, отличающимися по величине радиуса на 0,2—1 мкм и имеющие погрешность формы не более 0,2—0,5 мкм. Если такие детали отсутствуют, то могут быть взяты обрабатываемая деталь и приработанный по ней трубчатый инструмент. В зависимости от схемы доводки соответствующие детали закрепляют в нижней и верхней головках и осуществляют настройку станка.

О точности взаимного расположения осей шпинделей судят по качеству и характеру отпечатка, оставляемого, например, рабочей поверхностью инструмента на сферической поверхности детали. Полный и четкий отпечаток (рис. 13, а) свидетельствует о достаточно высокой точности пересечения осей и формы сферической поверх-

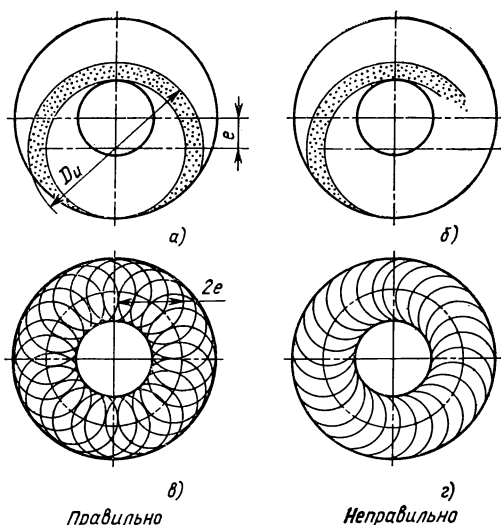


Рис. 13. Отпечатки рабочей поверхности трубчатого инструмента при пересечении (а, в) и скрещивании (б, г) осей шпинделей

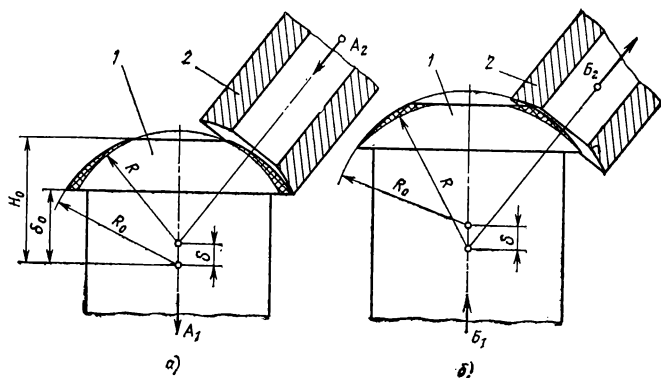


Рис. 14. Схемы активного изменения радиуса сферической поверхности:
1 — деталь; 2 — трубчатый притир

ности. Неполный и нечеткий отпечаток (рис. 13, б) — результат скрещивания осей шпинделей. После достижения полного отпечатка можно добиться большей точности пересечения осей, контролируя характер сетки микрорисок (штрих), оставляемых кромкой трубчатого инструмента и абразивными зернами на доведенной поверхности. Симметричный пересекающийся штрих (рис. 13, в) — результат высокой точности пересечения осей, однонаправленный непересекающийся штрих (рис. 13, г) — результат скрещивания осей. По характеру отпечатка и сетки микрорисок можно определить также, в какую сторону наклонен верхний шпindel. Предварительную настройку положения шпинделей осуществляют с помощью упора 4, расположенного на переходном кронштейне 2 доводочного станка (см. рис. 11, а). Окончательную настройку осуществляют винтами 2 и 3 (см. рис. 12), т. е. в плоскости, перпендикулярной плоскости расположения осей вращения шпинделей.

Заданный координирующий размер t (см. рис. 7) сферических поверхностей устанавливают путем перемещения детали вдоль оси ее вращения. Точность его зависит от цены деления микрометрических винтов и точности механизмов перемещения нижнего шпинделя, а также от зазоров в опорах верхнего шпинделя (2). Одновременно с этим можно активно менять радиус сферической поверхности.

Если переместить деталь на расстояние δ (рис. 14, а) в направлении A_1 (от притира), то притир переместится

в направлении A_2 и в исходном положении будет контактировать с деталью в экваториальной зоне сферической поверхности. Неравномерный съем припуска (заштрихованная часть) при доводке приведет к получению сферической поверхности меньшего радиуса. При перемещении детали на δ (рис. 14,б) в направлении B_1 притир в исходном положении будет контактировать с полюсной зоной сферической поверхности. При доводке произойдет увеличение радиуса поверхности. Для вогнутых поверхностей рассмотренные регулировки приведут к противоположным результатам. Изменение радиуса Δ_r сферической поверхности в зависимости от перемещения детали δ и ее конструктивных параметров можно рассчитать по формулам табл. 5. Таким образом, перемещение детали позволяет получать заданную величину координирования сферической поверхности, активно изменять ее радиус, снимать минимальный припуск с одновременным ускоренным изменением радиуса.

5. Расчет радиуса сферических поверхностей при перемещении детали вдоль своей оси

Направление перемещения детали	Выпуклая	Вогнутая
На притир	$\Delta_r = +\delta (\delta_0/R_0)(1 + \delta/2\delta_0)$	$\Delta_r = -\delta (\delta_0/R_0)(1 + \delta/2\delta_0)$
От притира	$\Delta_r = -\delta (H_0/R_0)(1 - \delta/2H_0)$	$\Delta_r = +\delta (H_0/R_0)(1 - \delta/2H_0)$

Подводя итог рассмотренным способам обеспечения точности геометрических параметров поверхностей на станках комбинированной доводки, можно привести этапы наладки сферодоводочного станка:

обработка базовых поверхностей нижнего шпинделя и приспособления непосредственно на станке с обеспечением торцового биения не более 1 мкм; установка оптимальных радиальных зазоров в опорах шпинделей и минимального отклонения от пересечения осей их вращения; тарировка числа оборотов шпинделей и величины силового замыкания; установка детали на станке, фиксирование положения нижнего шпинделя по микрометрическому винту механизма перемещения, доводка сферической поверхности; измерение на детали фактиче-

ского координирующего размера, m перемещение шпинделя микрометрическим винтом на расстояние равное разности между фактическим и заданным m , установка шкалы винта на ноль; проведение нескольких доводочных операций с определением разброса координирующего размера m ; корректировка радиальных зазоров в опорах шпинделя инструмента; измерение отклонения от сферичности поверхности и корректировка отклонения от пересечения осей.

Наладка плосководочного станка отличается тем, что обработка базовой плоскости шпинделя детали производится тем же инструментом, который предназначен для доводки детали. Регулируя микрометрическими винтами отклонения от пересечения $\Delta\alpha_{\text{п}}$ и перекоса $\Delta\alpha_{\text{п}}$, получают на базовой поверхности шпинделя отклонение от плоскостности в пределах 1 мкм, имеющее характер вогнутости для более устойчивого положения детали на станке. Если на базовую поверхность шпинделя устанавливается приспособление, то в этом случае база приспособления дополнительно доводится аналогичным образом.

После наладки станков и доводки опытной партии деталей в паспорт станка вписываются нормы точности, в которые входят радиальное и торцовое биения шпинделей, зазоры в опорах шпинделей, показания шкал микрометрических винтов, жесткость шпинделей, допуски на размеры посадочных мест детали, оснастки и инструмента. В случае ремонта необходима повторная проверка станка по нормам точности.

МЕХАНИЗАЦИЯ ДОВОДКИ ДЕТАЛЕЙ С ОСОБЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ К ПРЕЦИЗИОННЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ

Доводка плоских поверхностей с заданным характером макро- и микрогеометрии. В топливной аппаратуре применяют прецизионные пары типа жиклер-клапан, выполняющие функцию дозирования рабочей среды (жидкости, газа) или предохраняющие систему от перегрузки в случае повышения давления (рис. 15). Дозирование осуществляется периодически в момент отхода клапана 2 от жиклера 1. В остальное время стык, образованный плоскими исполнительными поверхностями металлических деталей, должен быть непроницаемым для среды или утечка ее не должна превышать заданной величины.

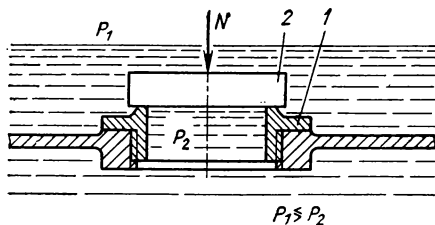


Рис. 15. Узел жиклер — клапан

Некоторые пары работают в условиях разгруженного стыка, когда сила N минимальна и контактное давление в стыке не превышает 0,1 МПа.

Эксплуатационные параметры пар обеспечиваются соответствующими требованиями к макро- и микрогеометрии исполнительных поверхностей, конструкцией деталей и узлов, выбором конструкционных материалов. Теоретически и экспериментально установлено, что исполнительные поверхности жиклеров и клапанов должны иметь отклонение от плоскостности, не превышающее 0,2—0,6 мкм. При этом заданные требования по герметичности обеспечиваются, если поверхности имеют определенный характер макрогеометрии (выпуклость с симметричным распределением отклонений формы относительно оси детали). Среднее арифметическое отклонение профиля микронеровностей поверхности должно быть в пределах 0,02—0,04 мкм, а характер микрорельефа — в виде сетки пересекающихся микрорисок, представляющих собой следы резания абразивными зёрнами.

Рабочая поверхность жиклеров (рис. 16,а) состоит из уплотняющих элементов 1 кольцевой формы диаметром 1,5—5,5 мм и шириной кольца 0,17—0,35 мм и опорных элементов 2 различной конфигурации. Рабочая поверхность клапанов (рис. 16,б) сплошная и имеет диаметр

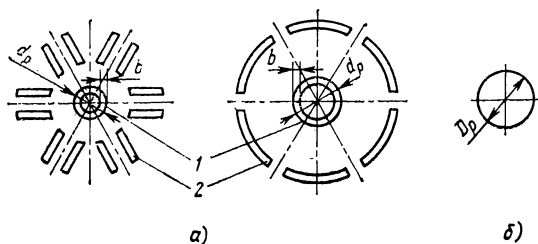


Рис. 16. Конфигурация рабочих поверхностей деталей типа жиклер (а) и клапан (б)

7,5÷9 мм. Габаритные размеры деталей зависят от способа их крепления в узле и назначения прецизионной пары. У жиклеров отношение высоты детали к диаметру d_p рабочей поверхности колеблется в пределах от 1 до 7, а у клапанов оно меньше единицы. Детали изготавливают из легированных сталей ($HRC\ 58\div 64$) и твердых сплавов ($HRC\ 68$).

Разработка средств механизации доводки деталей пары жиклер—клапан основывалась на следующих требованиях: доведенные плоские поверхности должны иметь высокую точность формы и определенный характер макро- и микрогеометрии; на доводку поступают детали, имеющие различную конфигурацию обрабатываемых поверхностей и различные габаритные размеры; в мелкосерийном производстве необходим ежемесячный выпуск большого числа типоразмеров деталей с значительными колебаниями объема партий.

Анализ существующего в машино- и приборостроении отечественного доводочного оборудования показал, что ни один из станков не может комплексно обеспечить перечисленные выше требования.

Согласно классификации (см. табл. 2) основными признаками плоских прецизионных поверхностей жиклеров и клапанов являются заданный характер и точность формы поверхности. Он может быть обеспечен схемой доводки по способу свободного притира с применением одного доводочного диска. При конструкторской реализации схемы в первую очередь следовало предусмотреть стабильность и определенную точность формы рабочей поверхности диска, относительно которой перемещаются обрабатываемые детали. Второй задачей являлась разработка оснастки, позволяющей на одном станке доводить большинство типоразмеров деталей при достаточно простой и нетрудоемкой переналадке.

В существующих плоскодоводочных станках эксцентрикового или планетарного типа доводимые детали размещают в кассетах различной конструкции. Управление формой рабочей поверхности доводочных дисков осуществляют путем соответствующего размещения деталей в кассетах, применения специальных правильных колец, изменения эксцентриситета водила, периодического смещения кассет (или правильных колец с установленными внутри их кассетами) к центру или периферии диска, изменения величины и места приложения си-

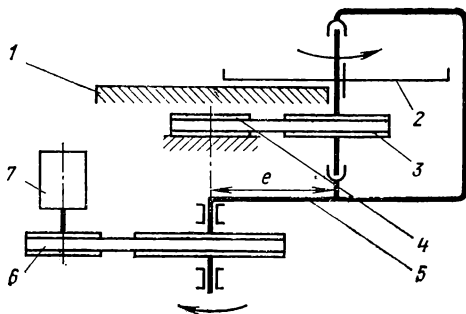


Рис. 17. Кинематическая схема плоскодоводочного станка:

1 — доводочный диск; 2 — подвижное звено; 3 — подвижный шкив; 4 — неподвижный шкив; 5 — водило; 6 — клиноременная передача; 7 — электродвигатель

лового замыкания [2]. Несмотря на приведенный перечень способов управления геометрией инструмента, не удастся стабильно и в течение длительного времени поддерживать определенную форму его поверхности из-за большого числа случайных факторов, сопровождающих процесс доводки.

Разработка оборудования и оснастки для доводки клапанов и жиклеров в мелкосерийном производстве велась с использованием отечественного опыта механизации доводочных работ и с учетом особенностей деталей. За основу конструкции была принята схема обработки планетарного типа с неподвижным доводочным диском, относительно которого перемещаются детали, совершая движение, близкое к поступательному (рис. 17). При этом скорости относительного движения одинаковы во всех зонах контакта, что обеспечивает большую стабильность формы инструмента во времени и точность обработки.

Основным узлом станка является доводочная головка (рис. 18). На станине 1 установлена неподвижная стойка 14, к которой винтом 13 крепится доводочный диск 12. Относительно стойки в опорах качения вращается шкив-эксцентрик 2, получающий движение от электродвигателя через клиноременную передачу. На шкив насажена втулка-эксцентрик 3, относительным поворотом которой регулируется эксцентриситет в пределах 4—10 мм. Вращательное движение шкива и втулки преобразуется в планетарное движение корпуса водила 4 с помощью плоского ремня 6 и неподвижного шкива 7,

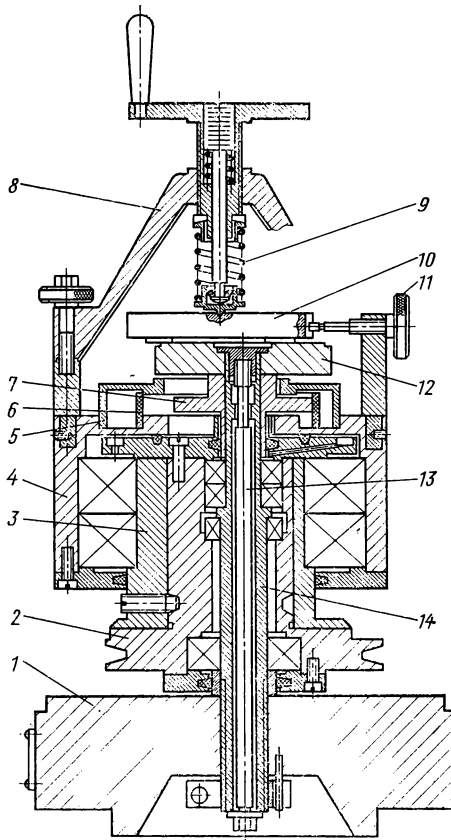


Рис. 18. Доводочная головка:

1 — станина; 2 — шкив-эксцентрик; 3 — втулка-эксцентрик; 4 — корпус водила; 5 — крышка водила; 6 — плоский ремень; 7 — шкив; 8 — кронштейн; 9 — пружина; 10 — кассета; 11 — винт; 12 — доводочный диск; 13 — винт; 14 — стойка

закрепленного на стойке. Неподвижный шкив находится между водилом и его крышкой 5. Наличие сменных шкивов позволяет менять передаточное отношение i планетарного механизма головки в пределах от 0,7 до 1,3. Движение корпуса водила передается cassette 10, несущей доводимые детали, через винты 11. Три винта, расположенные под углом 120° , обеспечивают при этом свободу самоустановки cassette относительно доводочного диска, что позволяет реализовать один из основных при-

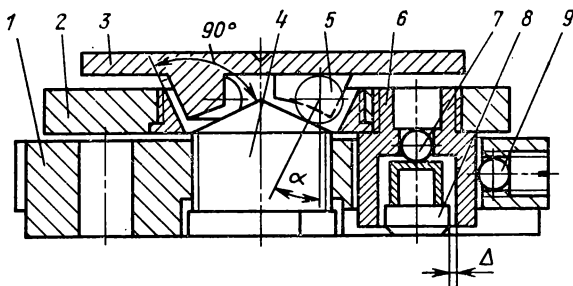


Рис. 19. Кассеты для групповой доводки клапанов и жиклеров

1 — корпус; 2 — обойма; 3 — планшайба; 4 — винт регулировочный; 5, 7, 9 — шарики; 6 — гнездо; 8 — обрабатываемая деталь

знаков свободного притира. Непрерывное силовое замыкание осуществляют механизм, размещенным на кронштейне 8. Усилие тарированной пружины 9 регулируется маховиком.

Оснасткой для доводки клапанов и жиклеров служат кассеты (рис. 19) при конструировании которых учитывались требования мелкосерийного и многономенклатурного производства деталей, необходимость управления геометрией доводочных дисков (притиров) и обеспечение заданного характера макрогеометрии доведенных плоских поверхностей. Они выполнены трех- и шестиместными с установкой обрабатываемых деталей 8 в гнезда 6, закрепленные в обойме 2. Набор сменных гнезд позволяет доводить практически все типоразмеры клапанов и жиклеров. Однако необходимо соблюдение условия одновременной обработки деталей только одного типоразмера.

Доводочная головка планетарного типа (см. рис. 18) обеспечивает движение деталей по поверхности притира, близкое к поступательному, и выход их за край при изменении эксцентриситета e (см. рис. 17). Однако и при этом не достигают равномерности изнашивания и формы притира. Кроме того, выход клапанов на величину, близкую к половине их диаметра, приводит к вогнутой форме доведенной плоской поверхности, что не отвечает эксплуатационным требованиям. При выходе жиклеров за кромки притира возможно их опрокидывание и скалывание опорных элементов (см. рис. 16). В связи с этим при конструировании кассет предусмотрена воз-

можность управления геометрией притира с помощью контрпритира без выхода деталей за край.

Корпус кассеты 1 (см. рис. 19) одновременно является контрпритиром с каблучно-секториальной формой рабочей поверхности. Детали могут размещаться в зоне секторов, или вне их. В последнем случае для сохранения коэффициента заполнения верхнего звена (контрпритира) в зоне секторов на одинаковом с деталями расстоянии от центра выполнены отверстия, диаметры которых равны диаметрам обрабатываемых поверхностей. Диаметры контрпритира и притира одинаковы, что является одним из условий равномерного изнашивания звеньев. Углы секторов контрпритира задают из условия обеспечения равенства давлений на их поверхности и поверхности доводимых деталей. В трехместной кассете угол сектора равен $33^\circ \pm 30'$, в шестиместной — $25^\circ \pm 30'$. Наличие контрпритира усложняет схему силового замыкания кассеты и притира. Усилие передается через планшайбу 3 на шары 5, с помощью которых оно распределяется на контрпритир 1 и обойму 2. Выбором угла α обеспечивается равенство давлений на детали и контрпритире. Часть усилия силового замыкания, действующая на обойму, равномерно распределяется и передается на детали через шарики 7, установленные по оси гнезд. Подвижность обоймы относительно корпуса контрпритира 1 и их независимую самоустановку относительно притира обеспечивают шарики 9.

Рассмотренная схема и конструкция станка и оснастки, несмотря на реализацию определенных условий доводки, не обеспечивают в течение длительного времени сохранение формы притира и равномерности его изнашивания. Это характерно и для других схем и конструкций плоскопроводочных станков. Однако планетарная схема и созданные условия позволяют осуществлять равномерное изнашивание притира «на выпуклость» или «на вогнутость», изменяя передаточное отношение планетарного механизма. При $i > 0$ поверхность притира приобретает выпуклую форму, а при $i < 0$ — вогнутую. В диапазоне максимального изнашивания притира от +8 до -6 мкм отклонение от плоскостности доведенных деталей не превышало 0,3 мкм. Продолжительность работы в этом диапазоне около 11 ч при среднем съеме материала с детали 0,5 мкм/мин. В связи с этим механизированную доводку клапанов и жиклеров можно вес-

ти, периодически контролируя геометрию притира и своевременно изменяя передаточное отношение i . Лучшие результаты дает применение двух доводочных головок, установленных на одной станине, одна из которых работает при $i < 0$, другая — при $i > 0$. Через определенный промежуток времени притиры головок меняют местами.

Достигнутая точность формы исполнительных поверхностей клапанов и жиклеров является обязательным, но не достаточным условием для обеспечения эксплуатационных требований. Необходим регулярный характер распределения отклонений. Этого можно добиться только при вращении деталей относительно их осей симметрии. Создание индивидуальных приводов вращения представляет сложную конструкторскую задачу. При конструировании кассет был найден более простой путь [3]. Детали (см. рис. 19) устанавливаются в гнезда с зазором Δ . При планетарном движении кассеты относительно притира меняют положение линии контакта детали в гнезде, что приводит к равномерному вращению ее вокруг своей оси. При максимальной $\Delta = 0,2 \div 0,3$ мм за время цикла 2 мин деталь совершает 1,5—2 об/мин. Этого достаточно, чтобы на доведенной поверхности образовалась равномерная выпуклость в пределах 0,2—0,6 мкм.

Заданный характер микрогеометрии обеспечивался соответствующим выбором зернистости абразива в пасте, давлением, выбором материалов притира и контрпритира. Обработка деталей из закаленных сталей осуществлялась на чугунном притире с применением контрпритира из чугуна при предварительной доводке и из стали Р18 (HRC=61÷65) — при окончательной. Зернистость абразива и давление выбирали в зависимости от материала обрабатываемых деталей.

Доводка наружных цилиндрических поверхностей с заданным отклонением от цилиндричности. Наиболее сложными с технологической точки зрения являются наружные цилиндрические координированные, закрытые, с заданным отклонением от цилиндричности поверхности. Их применяют в таких деталях агрегатов, как ротор насоса, шестерня насоса, некоторые типы золотников. Минимальные предельные отклонения формы (1—2 мкм) и шероховатость ($Ra = 0,04 \div 0,08$ мкм) поверхностей не определяют их эффективных эксплуатацион-

ных параметров. Например, цапфы шестерни насоса, работающей при высоких контактных нагрузках, должны иметь оптимальные отклонения от цилиндричности и шероховатости, что повышает ресурс агрегата. В опорах качения цилиндрическая поверхность цапфы должна быть бочкообразной с максимальной опорной поверхностью, в опорах скольжения — конусообразной с микрорельефом, хорошо удерживающим смазку. Отклонения формы наружных цилиндрических поверхностей цапф шестерен и неточность размеров не должны превышать 1—2 мкм. Поверхностный слой должен иметь повышенную равномерно распределенную микротвердость и остаточные напряжения сжатия.

Анализ методов финишной обработки поверхностей показал, что комплексно обеспечить эти требования может только метод абразивной доводки. Учитывая необходимость координирования поверхностей, была принята схема доводки ориентированным притиром с некоторыми признаками свободного притира. Схема предусматривает контакт инструмента и детали по поверхности, действие силового замыкания перпендикулярно поверхности контакта, наличие вращательного и возвратно-поступательного движений, позволяющих управлять точностью профилирования цилиндрических поверхностей. Вращение детали определяет поперечную геометрию обрабатываемой поверхности. Заданную продольную геометрию, например при хонинговании, достигают изменением длины хода инструмента вдоль оси детали и величины перебега его за край детали. При доводке свободным притиром аналогичный результат дает изменение закона продольного перемещения инструмента. Следует отметить, что цапфы шестерни являются закрытыми поверхностями и, выход инструмента за край при поступательном перемещении детали ограничен.

Для принятой схемы доводки были проанализированы технологические факторы, влияющие на погрешность формы наружных цилиндрических поверхностей цапф. Основными из них являются; относительная скорость во всех зонах контакта инструмента и детали; коэффициент перекрытия, характеризующий частоту взаимодействия зон притира и обрабатываемой поверхности; сила взаимодействия. Расчеты показали, что при вращательном и возвратно-поступательном движениях без выхода инструмента за пределы обрабатываемой цилиндриче-

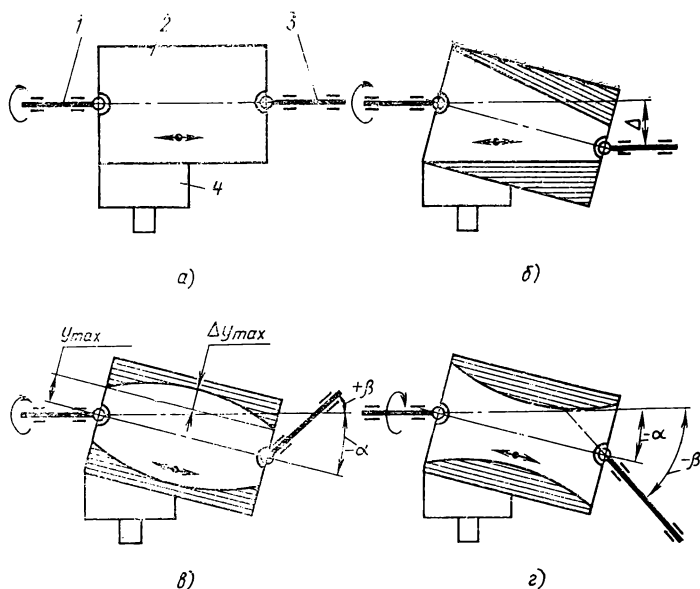


Рис. 20. Изменение профиля цилиндрической поверхности при различных положениях звена настройки трехзвенного шарнирного механизма: а — цилиндр; б — конус; в — бочкообразность; г — седлообразность 1 — первое звено; 2 — второе звено (деталь); 3 — третье звено; 4 — инструмент

ской поверхности под действием технологических факторов образуется систематическая погрешность формы седлообразного характера. Более интенсивный съем в средних зонах поверхности сохраняется и при различных законах возвратно-поступательного перемещения детали: треугольном, косинусоидальном, параболическом и синусоидальном. Седлообразность присуща выбранной схеме доводки, и избежать ее не представляется возможным.

Так как погрешность формы цапф должна иметь бочкообразный или конусообразный характер, то компенсируют технологическую погрешность погрешностью, возникающей под действием конструктивных параметров схемы. Был использован активный кинематический метод профилирования, при котором путем изменения относительного положения звеньев системы СПИД можно влиять на форму обрабатываемой поверхности. Для конструктивной реализации метода узел, несущий обрабатываемую деталь, построен на базе трехзвенного шарнирного механизма (рис. 20). При этом использо-

валось свойство точек среднего звена 2 механизма совершать сложное криволинейное движение при прямолинейном движении крайних звеньев 1 и 3.

Средним звеном шарнирного механизма является обрабатываемая деталь, а в качестве звена настройки выбрано звено 3 (рис. 20,а). При его смещении на Δ параллельно звену 1 образующая доведенной цилиндрической поверхности прямолинейна, а отклонение от цилиндричности — конусообразность (рис. 20,б). При развороте звена 3 под углом к направлению поступательного перемещения механизма, образующая доведенной цилиндрической поверхности — криволинейна. Характер и величина криволинейности зависят от знака и параметров настройки α и β . При значениях $-\alpha$ и $+\beta$ отклонение от цилиндричности — бочкообразность (рис. 20,в) при $-\alpha$ и $-\beta$ — седлообразность (рис. 20,г). При смещении и развороте звена 3 профиль доведенной поверхности — парабола со смещенной от начала координат вершиной:

$$y + (l\alpha^2)/2\beta = \beta/2l [x + (l\alpha)/\beta]^2, \quad (6)$$

где l — длина обрабатываемой детали; x — текущая координата, принимающая значения от нуля до $l_{\text{обр}}$ (длина обрабатываемой поверхности); α, β — параметры настройки.

Меняя α и β по величине и знаку, можно получить отклонение от цилиндричности доведенной поверхности любого характера. Таким образом меняя положение звеньев схемы (осуществляя настройку оборудования), можно компенсировать систематическую технологическую погрешность и обеспечить заданный характер отклонения от цилиндричности цапф шестерни насоса.

На базе рассмотренной схемы был построен доводочный станок (рис. 21). Для вращения и возвратно-поступательного перемещения детали в нем используются двигатели 1 и 15 постоянного тока. Закон возвратно-поступательного перемещения детали 4 относительно неподвижного инструмента 10 задается профилем кулачка 16. Основной 3 и опорный 7 шпиндели, несущие деталь, размещены в регулируемых неподвижных разжимных опорах, аналогичных опорам унифицированных доводочных головок (см. рис. 10). Для повышения точности установки деталь базируют на конусах 9, а крутящий момент передают шлицевой рессорой, размещенной внутри конусов (на схеме не показана). Принцип ориенти-

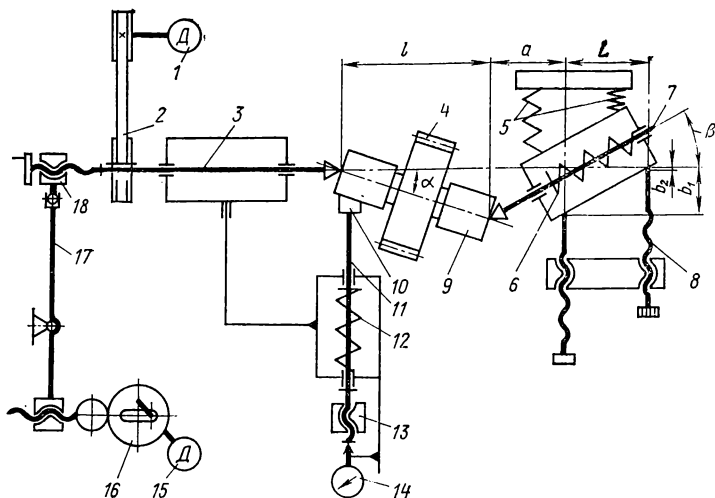


Рис. 21. Кинематическая схема станка для доводки цапф шестерен:

1 — двигатель вращения детали; 2 — клиноременная передача; 3 — шпиндель; 4 — деталь; 5 — пружины; 6 — пружина перемещения детали; 7 — опорный шпиндель; 8 — микрометрические винты; 9 — конус; 10 — инструмент; 11 — каретка инструмента; 12 — пружина силового замыкания инструмента; 13 — винтовая пара кинематического замыкания инструмента; 14 — индикатор; 15 — двигатель перемещения детали; 16 — кулачок; 17 — рычажный механизм; 18 — винтовая пара

рованного притира обеспечивается креплением инструмента на каретке 11, перемещающейся в регулируемых шариковых направляющих. Силовое замыкание инструмента и детали обеспечивает пружина 12, а кинематическое — винтовая пара 13. Функцию звена настройки трехзвенного шарнирного механизма выполняет узел опорного шпинделя, смещение и разворот которого обеспечиваются микрометрическими винтами 8 и пружиной 5.

Наладка станка после сборки ведется с учетом точности, которую необходимо достичь в результате доводки координированных цилиндрических поверхностей цапф шестерен. Биение основного и опорного шпинделей должно находиться в пределах 0,5—1 мкм, а их отклонение от соосности — 0,5 мкм на длине 50 мм. Это обеспечивается соответствующей точностью шпинделей и регулированием разжимных опор. Кинематический метод профилирования поверхностей требует замыкания системы деталь—инструмент и возможности подачи инструмента в пределах 0,5—1 мкм. Регулированием шарико-

вых направляющих каретки инструмента достигается порог чувствительности подачи 0,5—1 мкм.

Отклонение от цилиндричности обеспечивают соответствующей настройкой доводочного станка. Цапфы доводят при соосном расположении основного и опорного шпинделей и измеряют в нескольких сечениях технологическую неточность. Задают требуемое отклонение от цилиндричности поверхности и в тех же сечениях определяют конструктивную неточность, исходя из положения о взаимной компенсации погрешностей, возникающих под действием технологических параметров процесса и конструктивных параметров оборудования. По полученным данным строят профиль образующей, определяя криволинейную Δy_{\max} и прямолинейную y_{\max} составляющие нецилиндричности (см. рис. 20,б). Зная длину детали и обрабатываемой поверхности, с помощью уравнения (6) рассчитывают параметры настройки станка:

$$\alpha = y_{\max}/l_{\text{обр}} - \beta l_{\text{обр}}/2l; \quad \beta = 2\Delta y_{\max}l/l_{\text{обр}}^2.$$

По значениям α и β определяют величины настроечных перемещений микрометрических винтов узла опорного шпинделя (см. рис. 21): $b_1 = \alpha l + \beta a$; $b_2 = \alpha l + \beta(L + a)$. Экспериментальные исследования процесса механизированной доводки наружных цилиндрических координированных поверхностей показали, что технологическая неточность компенсируется в случае одновременного изменения обоих параметров настройки. Для работы в производственных условиях построена номограмма для определения α и β без аналитических расчетов.

Специализированные цапфодоводочные станки имеют бесступенчатое регулирование частоты вращения детали в пределах 20—3000 об/мин и двойных ходов ее в пределах 12—160 в минуту. Это позволяет вести доводку при максимальной относительной скорости 3,5 м/с. Мощность электродвигателей приводов 230 Вт. Цена деления лимбов микрометрических винтов подачи инструмента и регулирования положения опорного шпинделя 5 мкм. Для доводки применяют притиры с углом охвата цилиндрической поверхности детали 60°. Притиры из чугуна позволяют получить микрорельеф, хорошо удерживающий смазку, притиры из меди — рельеф с развитой опорной поверхностью. Предельно достигаемая точность обработки на станке (точность размеров и формы с задан-

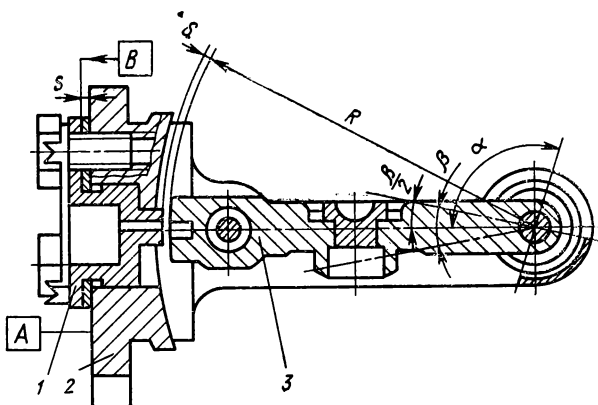


Рис. 22. Узел маятника:
1 — пята; 2 — корпус; 3 — рычаг

ным характером отклонений, а также точность координирования) до 1 мкм.

Доводка сопрягаемых цилиндрических поверхностей. Среди прецизионных пар топливных агрегатов есть пары, детали которых не вошли в таблицы классификации. Это детали типа рычаг и пята узла маятника (рис. 22). Их исполнительные поверхности и функции в узле имеют ряд специфических особенностей. Прежде всего, это участки цилиндрических поверхностей с ограниченными размерами и площадью. Поверхности пересечены каналами с образованием отсечных кромок. Рычаг и пята строго ориентированы в узле маятника и работают с зазором δ между исполнительными поверхностями, величина которого определяет гидравлическую характеристику узла. Зазор δ регулируют изменением толщины S прокладок между пятой 1 и корпусом 2 маятника. Жесткие требования предъявляются к осевому и особенно к радиальному зазору рычага.

Ручная доводка рычага и пяты строится на совместной притирке исполнительных поверхностей до полного прилегания их друг к другу с последующей установкой зазора. Гидравлические характеристики таких поверхностей нестабильны из-за образования выступающих ленточек на поверхности рычага в результате контакта с пятой конструктивно меньших размеров, а также отклонения от цилиндричности рычага, превышающего часто величину рабочего зазора. Попытка механизиро-

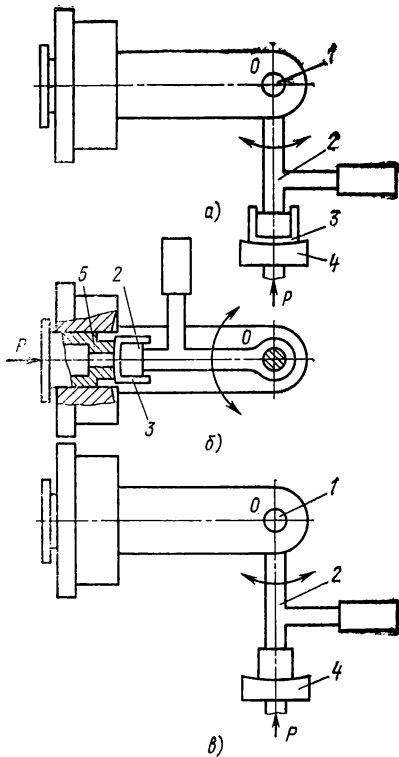


Рис. 23. Доводка сопрягаемых поверхностей пяты и рычага:

а — доводка притира пяты; *б* — доводка пяты; *в* — доводка рычага; 1 — ось; 2 — рычаг; 3 — притир пяты; 4 — притир; 5 — пята

ванной отдельной доводки деталей не дала положительного результата из-за погрешностей установки деталей на станке и погрешностей их взаимного расположения при сборке в узле.

В основу схемы положено сочетание признаков ориентированного и свободного притиров, отдельная доводка поверхностей и последовательный перенос точности от одного звена к другому (рис. 23). Используя возможность качания рычага 2 относительно оси 1 маятника на первом этапе доводится притир 3, закрепленный со стороны

исполнительной поверхности рычага (рис. 23, *а*). Притир 4 совершает возвратно-поступательное движение в плоскости, перпендикулярной плоскости качания. Между притирами 3 и 4 поддерживают непрерывное силовое замыкание. Доведенным притиром 3, не снимая его с рычага, обрабатывают исполнительную поверхность пяты 5 путем качания рычага (рис. 23, *б*). Пята размещается в гнезде корпуса маятника, являющемся для нее конструкторской базой. При удалении припуска на пята действует сила P , а в режиме «выхаживание» $P=0$. Если припуск велик и нарушается геометрическая форма притира 3, то ее периодически исправляют притиром 4. Это позволяет путем последовательного приближения получить точную форму поверхности пяты, координированную относительно оси качания рычага. На последнем этапе доводится исполнительная поверхность рычага притиром 4 (рис. 23, *в*). При этом притир 3 удален, а

рычаг качается относительно притира с перебегом в обе стороны на $\frac{1}{3} b$ (см. рис. 22). Аналогичный перебег имеет место и в направлении возвратно-поступательного перемещения притира. Это позволяет обеспечить высокую точность формы поверхности рычага. После доводки выставляется рабочий зазор путем установки доведенных мерных плоских шайб толщиной S . Такая схема позволяет получать точные сопрягаемые цилиндрические поверхности, координированные относительно оси рычага и с радиусом поверхности пяты, больше радиуса рычага. Гидравлическая характеристика доведенных на станке узлов маятника стабильна и сохраняет стабильность в широком диапазоне зазоров. При ручной совместной доводке стабильность достигалась только при минимальных зазорах, что увеличивало опасность отказа узла при эксплуатации.

Переход на машинную доводку потребовал повышения технологичности узла маятника. Особенность размещения взаимодействующих звеньев определяет максимальный угол поворота маятника в узле (не менее 95°). Отклонение от перпендикулярности опорной базы B относительно посадочного диаметра пяты и опорной базы A относительно посадочного отверстия корпуса маятника не должно превышать 0,01 мм (см. рис. 22). Радиальный зазор между базовыми цилиндрическими поверхностями пяты и корпуса маятника не должен превышать 5 мкм. В конструкции узла должны быть предусмотрены элементы для закрепления притира 3 на рычаге. Мерные шайбы должны быть разбиты на размерные группы в интервале 0,5—1,4 мм с шагом 5 мкм и иметь отклонение от параллельности торцов не более 5 мкм. Рычаг и пята, поступающие на доводку, должны иметь шероховатость обрабатываемых поверхностей не более $Ra = 1,25$ мкм, точность формы — не менее 0,03 мм и припуск 0,04—0,06 мм.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОВОДОЧНЫХ СТАНКОВ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Основные этапы разработки доводочных станков. Выбор способа и схемы доводки поверхности начинают с анализа конструкции детали и признаков прецизионной поверхности (табл. 1—3).

Определение геометрических, кинематических и технологических параметров схемы. На этом этапе технолог определяет геометрические параметры звеньев: соотношение размеров инструмента и обрабатываемой поверхности, наличие и характер расположения опор шпинделей. Задают направления движений звеньев и соотношение их скоростей. Предварительно назначают основные условия и технологические параметры процесса.

Анализ и расчет схемы доводки с точки зрения обеспечения точности основных параметров поверхности. В предыдущих разделах были рассмотрены особенности этого этапа. Для сферических и плоских координированных поверхностей в схеме доводки должно быть предусмотрено оптимальное сочетание признаков ориентированного и свободного притиров (см. табл. 1; 2). Для плоских некоординированных поверхностей с заданным характером макро- и микрогеометрии в схеме свободно притира могут быть применены оригинальные способы управления геометрией инструмента и доводимых деталей. В схеме доводки наружных цилиндрических координированных поверхностей предусмотрена взаимная компенсация технологических и конструкторских погрешностей оборудования, позволяющая достичь заданного характера отклонения от цилиндричности. Для доводки сопрягаемых цилиндрических поверхностей разработана схема последовательной доводки свободным и ориентированным притиром при переносе точности с одного звена на другое.

Выбор способов управления геометрическими параметрами поверхности. К этому этапу относятся аналитические расчеты точности взаимного расположения взаимодействующих звеньев; определение расстояний между опорами и вылета шпинделей; расчет ожидаемых погрешностей формы, размера и координирования поверхностей. На основании расчетов технолог определяет требования к устройствам настройки и регулировки звеньев доводочных станков.

Разработка конструкции и изготовление станка. На этом этапе можно воспользоваться конструкциями и теми рекомендациями, которые приведены выше. Выбор и расчет приводов станков осуществляют на основании положений, принятых в станкостроении. Следует отметить одну особенность. В электрических схемах управления приводом большинства доводочных станков при-

менены тиристорные преобразователи, позволяющие поддерживать стабильность оборотов шпинделей независимо от изменения условий доводки. Изготовление станков может быть осуществлено силами инструментального цеха предприятия.

Исследование и отработка точностных параметров станков. Этот этап осуществляют, как правило, в технологической лаборатории техниками под руководством инженера, ведущего проект станка. Вначале производят наладку станка, устраняя конструкторские и производственные ошибки. Этапы наладки для некоторых видов доводочного оборудования изложены в предыдущих разделах. Определяют работоспособность и чувствительность механизмов и устройств управления точностью доведенных поверхностей. На опытных деталях проверяют все диапазоны регулирования, фиксируя достигаемую точность и окончательно дорабатывают конструкцию оснастки, уделяя особое внимание быстросменной или переналаживаемой оснастке и оснастке для групповой обработки.

Отработка технологических режимов и условий доводки. Этот этап, как и предыдущий, выполняют в технологической лаборатории предприятия на опытных партиях деталей. Используют рекомендации, приведенные в технической литературе, и накопленный опыт предприятия. Учитывая многофакторность процесса доводки, для поиска оптимальных режимов применяют известные методы планирования экспериментов, что позволяет сократить продолжительность этапа. С этой же целью на предприятии разработаны стенд и методика испытаний абразивных паст, с помощью которых можно определить оптимальные условия применения паст при доводке различных материалов [1].

Внедрение оборудования и оснастки в производство. На налаженном и настроенном доводочном станке в лаборатории обрабатывают несколько партий производственных деталей. Прецизионные поверхности проверяют в ОТК цеха и в центральной измерительной лаборатории предприятия. На детали партии оформляют паспорт. В определенных случаях проверяют эксплуатационные качества поверхностей. По полученным результатам принимают окончательное решение о внедрении и передаче станка в производство. Для эксплуатации и ремонта выпускают инструкцию, которая содержит следующие све-

дения: назначение станка, шифры основных его узлов и оснастки, перечень элементов управления, порядок работы, контроль доведенных поверхностей, точностные параметры и условия их обеспечения, уход за станком, вопросы техники безопасности.

Рассмотренные этапы и их последовательность отработаны и многократно проверены в мелкосерийном производстве прецизионных деталей топливных агрегатов.

Условия и режимы доводки прецизионных поверхностей. В мелкосерийном многономенклатурном производстве прецизионных деталей топливной аппаратуры применяют различные материалы: стали с высоким содержанием карбидов; жаростойкие, кислотоупорные и другие специальные стали; бронзы различных марок; алюминиевые, титановые и другие сплавы с различными покрытиями (хромирование, никелирование, анодирование). Специфика производства не всегда позволяет придерживаться классической последовательности финишных операций, т. е. применять доводку непосредственно после шлифования поверхностей.

Например, высококарбидные и специальные стали при шлифовании в закаленном состоянии склонны к образованию прижогов, микротрещин и других дефектов, не допустимых в эксплуатации. Поэтому шлифованию предшествует термическая обработка, после которой детали сразу поступают на доводку. Равномерность по толщине цементированных, азотированных, цианированных и анодированных слоев деталей требует применения доводочных операций до и после термической обработки. Для некоторых деталей с прецизионными поверхностями шлифование не применяют, и на доводку они поступают после обработки лезвийным инструментом. Перечисленные особенности приводят к тому, что на финишную обработку прецизионные поверхности деталей поступают с значительными отклонениями по макро- и микрогеометрии и большими колебаниями припуска.

Мелкосерийное производство требует соблюдения определенных условий механизированной доводки поверхностей. Оператор замеряет деталь с целью определения припуска на доводку в различных зонах. Измеряют также базовые поверхности для подбора элементов крепления детали. По данным замеров настраивают станок на обработку и устанавливают деталь в приспособление. Выполнив доводку, измеряют деталь, не снимая ее со

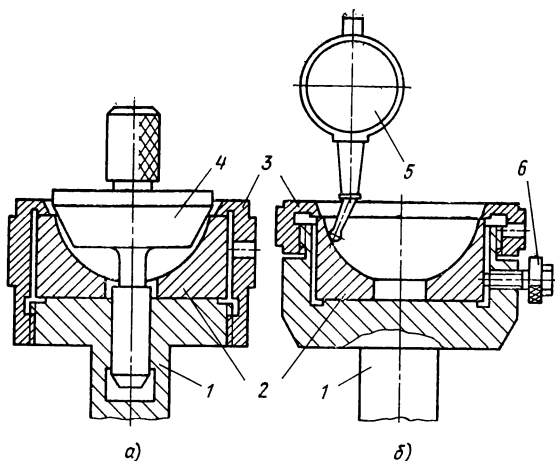


Рис. 24. Установка деталей на доводочном станке по калибру (а) и индикатору (б):

1 — корпус приспособления; 2 — деталь; 3 — прижимная гайка; 4 — калибр; 5 — индикаторная головка; 6 — винт

станка, и в случае необходимости производят повторные наработку и обработку. Для следующей детали последовательность операций повторяют.

Важное значение имеет установка деталей на шпинделе доводочной головки. При конструировании приспособлений учитывают необходимость центрирования детали, плотность прилегания к технологическим базам, отсутствие деформаций при закреплении, наличие свободного доступа для контроля доведенной поверхности. Центрирование одних деталей осуществляют по обрабатываемой поверхности с помощью установочного калибра (рис. 24,а). После закрепления детали калибр 4 удаляют, а базовое отверстие в корпусе приспособления закрывают пробкой. Центрирование можно осуществлять и микрометрическими винтами 6, руководствуясь показаниями индикатора 5 (рис. 24,б). В обоих случаях схема закрепления выбрана с приложением зажимного усилия к торцу деталей. Этим исключают деформацию обрабатываемой сферической поверхности. Для повышения точности координирования базовые поверхности шпинделей и приспособлений доводят непосредственно на станке. В конструкциях приспособлений широко применяют цанговые устройства закрепления деталей, обеспе-

6. Выбор зернистости доводочных паст и материалов притиров

Материал детали	Вид обработки	1-й вариант		2-й вариант	
		Зернистость пасты	Материал притира	Зернистость пасты	Материал притира
Высококарбидные стали	Предварительная	АСМ 20/14 АСМ 14/10	Перлитный чугун	АСМ 14/10	Сталь 10, Перлитный чугун
	Окончательная	АСМ7/5 АСМ5/3			Медь М0, М1, Винипласт ВН
Низкокарбидные стали	Предварительная	24АМ28 24АМ14		24АМ20	Перлитный чугун Винипласт ВН
	Окончательная	24АМ10 24АМ5			
Цветные металлы	Предварительная	24АМ14 24АМ10	Перлитный чугун, Медь М1, М0	24АМ10	Перлитный чугун, Стекло
	Окончательная	24АМ7 24АМ5			Текстолит, Пластмасса «Редонт»

чивающие центрирование и поджим деталей к базам, а также их быстросменность.

Большая номенклатура прецизионных деталей, разнообразие марок конструкционных материалов, различные требования к макро- и микрогеометрии доведенных поверхностей требуют технологических исследований для выбора паст, материалов притиров и режимов доводки для каждой конкретной детали. Поэтому рекомендации по доводочным инструментам могут быть даны только в обобщенном виде (табл. 6, 7). В табл. 6 предлагаются два варианта выбора инструментов: доводка на чугунных притирах с уменьшением зернистости абразива в пасте и доводка пастой одной зернистости со сменой материалов притиров. В первом варианте учитываются затраты вспомогательного времени на мойку рабочей зоны стан-

7. Составы доводочных паст, %

Материал деталей	Тип абразива	Зернистость абразива	Абразив	Парафин	Стеарин	Олеиновая кислота	Церезин	Керосин
Стали, сплавы и цветные металлы	24А	M28	65	10	10	—	2	13
		M28, M14, M10, M7, M5	48	12	12	—	3	25
Стали: низкокарбидные	24А	M20, M14	40	—	20	40	—	—
		M10, M7, M5, M2, M3	20	—	20	60	—	—
высококарбидные	АС	M28/20, M20/14, M14/7, M7/5, M5/3	5	—	40	55	—	—
		M28/20	8	25	35	25	7	—

ка при смене зернистости пасты, что не всегда приемлемо при малых объемах партий деталей. Во втором варианте необходим набор притиров из различных материалов, их быстросменность и изменение режимов доводки. Кроме указанных материалов притиров для доводки отдельных деталей применяют легированные стали, алюминий, различные пластмассы, дерево.

В государственных и отраслевых стандартах, в справочниках и технической литературе достаточно обширен перечень рекомендуемых составов доводочных паст. В мелкосерийном производстве оператор выполняет пять и более доводочных операций, поэтому большая номенклатура паст неприемлема. Кроме того, приходится учитывать побочные влияния неабразивной части пасты на конструкционные материалы. В связи с этим номенклатура составов паст ограничена в производстве деталей топливных агрегатов. Стендовые испытания паст [1] выявили режимы наибольшей производительности и наименьшей шероховатости при доводке различных материалов (табл. 8). Как правило, они не совпадают, а переход от одного к другому связан с изменением числа

8. Режимы доводки пастами

Материал детали	Зернистость пасты	Режим наибольшей производительности			Режим наименьшей шероховатости		
		Материал притира	Скорость, м/с	Давление, МПа	Материал притира	Скорость, м/с	Давление, МПа
Высококарбидные стали	АСМ20/14	Перлитный чугун	0,4	0,2	Медь М0,М1	0,4	0,3
	АСМ14/10			0,3			0,6
	АСМ7/5			0,6			0,2
	АСМ5/3						
Низкокарбидные стали	24АМ28	Перлитный чугун	0,4	0,3	Медь М0,М1	0,6	0,2
	24АМ14			0,6			0,3
	24АМ10						—
	24АМ5						0,6
Алюминиевые сплавы	24АМ14	Медь М0,М1	0,2	0,3	Пластмасса «Родонт»	0,4	0,3
	24АМ7			0,6			0,6
Медные сплавы	24АМ14	Перлитный чугун	0,4	0,6	Текстолит	0,2	0,3
	24АМ7						0,6

оборотов шпинделей, давления и материала притира. Согласно приведенным данным относительная скорость инструмента и детали 0,1—0,6 м/с, давление 0,2—0,6 МПа, а при интенсификации исправления макрогеометрии поверхности скорость может достигать 1,5 м/с, давление — 0,8 МПа и более. Технологические условия доводки некоторых деталей топливных агрегатов приведены в табл. 9.

Контроль доведенных поверхностей. Прецизионные поверхности деталей топливных агрегатов контролируют с помощью стандартных приборов (табл. 10). Иногда возникает необходимость в применении приборов, разработанных в других отраслях, и в исключительных слу-

9. Технологические данные для доводки прецизионных деталей

Деталь	Материал детали и твердость	Предварительная доводка		Окончательная доводка		
		Припуск, мм	Время, мин	Припуск, мм	Время, мин	R _a , мкм
Иголка	P9Ф5 HRC 56—60	—	—	0,02	2	0,16
Кольцо торцового уплотнения	Бронза ВБ-23	0,08	2	0,04	4	0,64
Крышка торцового уплотнения	12ХН3А HRC 56—62	0,04	2	0,01	2	0,08
Плунжер насоса	12ХМ HRC 58—64	0,04	4	0,01	4	0,04
Втулка торцового уплотнения	ЭИ347Ш HRC > 55	—	—	0,02	4	0,08
Шестерня насоса	20Х3МВФШ HRC 60—64	—	—	0,02	4	0,08
Плунжер насоса	12ХМ HRC 58—64	0,02	4	0,005	5	0,04
Золотник	45Х14Н14В2М HV > 700	—	—	0,03	6	0,08
Золотник	95Х18 HRC > 56	0,05	10	0,01	10	0,16
Шестерня насоса	20Х3МВФШ HRC 60—64	0,02	8	0,005	8	0,03— 0,08

Примечание. Эскизы деталей см. табл. 1—3.

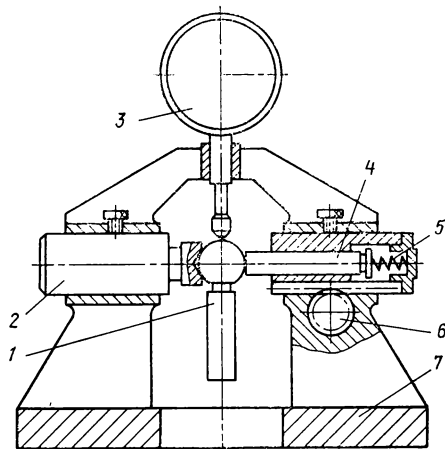
чаях в разработке специальных приборов. Так, для контроля формы внутренних цилиндрических поверхностей удобно пользоваться прибором, разработанным ЦНИТА. Однако, обладая высокой точностью, прибор имеет шкалу с ограниченным диапазоном измерений. Для его применения в мелкосерийном производстве необходим набор сменных измерительных головок.

10. Приборы и способы контроля параметров прецизионных поверхностей

Поверхность	Погрешность формы		Погрешность координирования	Погрешность размера	Параметры шероховатости
Сфера: выпуклая (больше полу- сферы)	Индикаторный прибор (см. рис. 25)		Микроскоп БМИ-1	Рычажная скоба СР-25; сферометр (см. рис. 26, а)	По эталону
	выпуклая и вог- нутая (меньше полу- сферы)	Калибр, по краске		Сферометр (см. рис. 26, 27)	
Плоская открытая и закрытая	Калибр, по краске; пластина интерференционная ПИ-60Н		Оптиметр вертикаль- ный ИКВ; рычажная скоба СР-25; микроскоп БМИ-1	Оптиметр вертикаль- ный ИКВ; рычажная скоба СР-25; длиномер ИЗВ-21	Микроинтерферо- метр МИИ-4; профилограф; профилометр А11 мод. 201Д
Цилиндр: внутренний	Продольная	Поперечная Кругломер КД-290	Оптиметр горизон- тальный ИКГ-3; микроскоп БМИ-1	Ротаметр 320, 1:400; нутромер 0,001; ка- либр; прибор ЦНИТА 8243; рычажная ско- ба СР-25	По эталону
	Ротаметр 320, 1:1000; прибор ЦНИТА 8243				
наружный	Рычажная скоба СР-25; оптиметр вертикальный ИКВ		Оптиметр вертикальный ИКВ		

Рис. 25. Прибор для контроля отклонений от сферичности:

1 — деталь; 2 — неподвижный упор; 3 — индикатор; 4 — подвижный упор; 5 — пружина; 6 — механизм перемещения упора; 7 — корпус



В производстве деталей с прецизионными координированными сферическими поверхностями возникла проблема оперативного измерения формы, радиуса и положения центра сферы, часто осуществляемого непосредственно на сферодоводочном станке. Она была решена разработкой приборов-сферометров различной конструкции и модификации. Для контроля отклонений от сферичности поверхностей больше полусферы применяют прибор (рис. 25), в котором установка детали 1 между неподвижным 2 и подвижным 4 упорами обеспечивает постоянство положения центра сферы относительно измерительного наконечника индикатора 3. При повороте детали вокруг центра сферы отклонения индикатора соответствуют отклонению от сферичности, попутно фиксируют погрешность формы. Сила пружины 5 должна быть достаточной для удерживания детали и в то же время минимальной, чтобы базовые поверхности упоров 2 и 4 не оставляли следов на сферической поверхности.

Радиус и положение центра сферических поверхностей, меньших полусферы, контролируют сферометрами другой конструкции (рис. 26). Прибор для контроля радиуса (рис. 26,а) настраивают по эталону с заданным радиусом сферы R , а прибор для контроля положения центра (рис. 26,б) — по эталону с заданными размерами m и R . Фактические отклонения контролируемой поверхности:

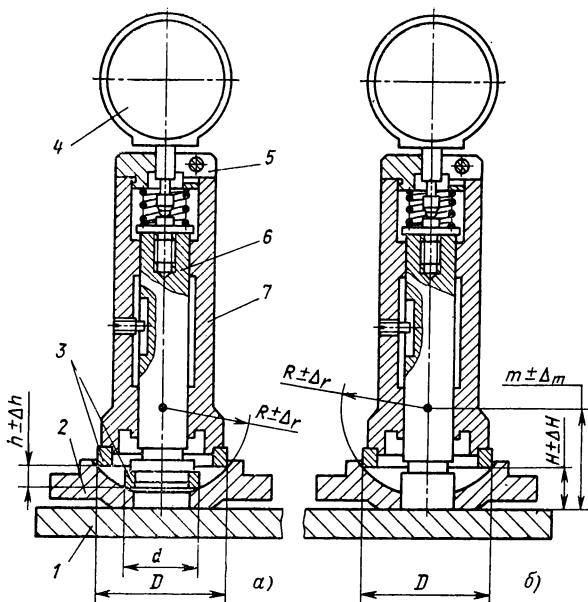


Рис. 26. Сферометры для контроля радиуса (а) и положения центра (б) сферических поверхностей

1 — подставка; 2 — деталь; 3 — измерительные кольца; 4 — индикатор; 5 — цапга; 6 — шток; 7 — корпус

$$\Delta_r = \kappa_1 \Delta h; \quad (7)$$

$$\Delta m = \Delta H + \kappa_2 \Delta_r, \quad (8)$$

$$\text{где } \kappa_1 = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{1 - (D/2R)^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 - (d/2R)^2}}};$$

$$\kappa_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - (D/2R)^2}};$$

Δ_r — отклонение радиуса от эталона; Δ_m — отклонение координирующего размера от эталона; Δh , ΔH — показания индикатора; R — радиус измеряемой сферы; D и d — диаметры рабочих кромок измерительных колец.

С целью оперативной обработки результатов измерений составляют таблицы или номограммы, где численно

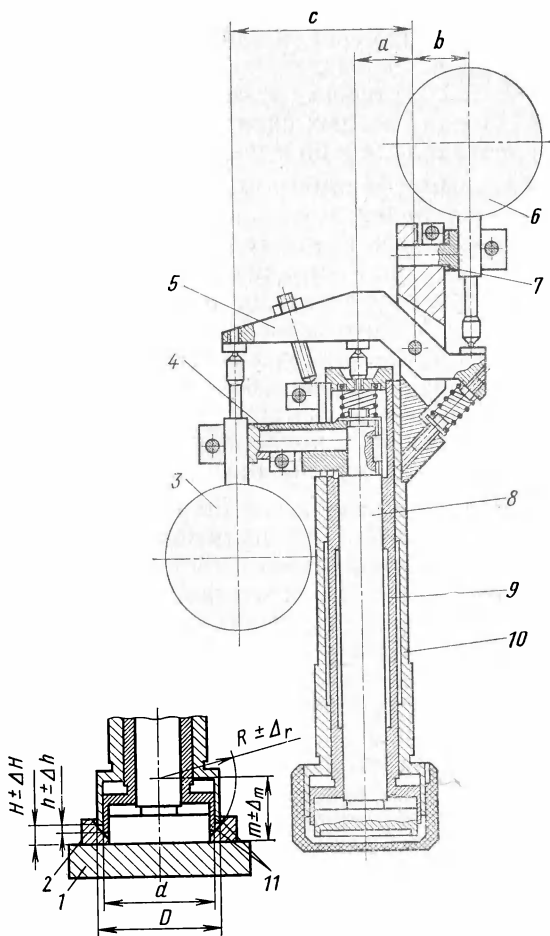


Рис. 27. Универсальный сферометр:

1 — подставка; 2 — деталь; 3 — индикатор контроля положения центра сферы; 4 — кольцо регулировочное; 5 — рычаг; 6 — индикатор контроля радиуса сферы; 7 — кольцо регулировочное; 8 — шток; 9 — подвижная втулка; 10 — корпус; 11 — измерительные кромки

определены значения κ_1 и κ_2 , которыми можно определить Δ_r и Δ_m в зависимости от Δh и ΔH . Для удобства расчетов и тарирования шкалы индикатора коэффициент κ_1 должен быть целым числом. Это достигается соответствующим подбором диаметров D и d измерительных колец. Для повышения точности измерений следует стремиться

к максимально возможной разности между этими диаметрами. Точность измерений зависит также от остроты, параллельности и шероховатости рабочих кромок измерительных колец. Кольца изготавливают из сталей (*HRC* 62—64) или твердых сплавов, а кромки совместно доводят первоначально и по мере притупления.

Универсальным сферометром (рис. 27) можно измерять отклонения радиуса и положения центра сферы. Его также настраивают по эталону. Подбором регулировочных колец 4 и 7 уточняют соотношение $h/a = \kappa_1$ и $c/a = \kappa_2$. В этом случае индикаторы непосредственно показывают Δ_r и Δ_m , что позволяет обойтись без таблиц и номограмм, не приводить κ_1 к целому числу, упростить выбор D и d и изготовление измерительных колец. Сферометры рассмотренных конструкций представляют собой специализированные приборы и предназначены для контроля параметров вполне определенной детали.

Достигнутые геометрические параметры прецизионных поверхностей не свидетельствуют об их высоких эксплуатационных показателях. Большинство деталей топливных агрегатов подвергают контролю по эксплуатационным параметрам в условиях, близких к эксплуатации. Торцовые уплотнения и пары жиклер—клапан проверяют на герметичность, золотниковые пары — на утечку и соответствие гидравлическим характеристикам. Детали и пары, работающие при контактных нагрузках, трении качения или скольжения, подвергают выборочным стендовым испытаниям с целью определения динамики изнашивания и ресурса.

Эффективность механизации доводочных операций. Многолетняя работа в области механизации доводочных операций позволила создать теоретические основы, разработать инженерные методики расчета станков, сформулировать основные принципы их конструирования, разработать унифицированные узлы и внедрить их в мелкосерийном многономенклатурном производстве деталей топливных агрегатов. Практически решен вопрос механизации доводки сферических и плоских поверхностей, разработано и внедрено оборудование для наиболее сложных наружных цилиндрических поверхностей, ведется работа в области механизации доводки внутренних цилиндрических поверхностей.

На специализированных станках в производственных условиях обрабатывают один или несколько типоразме-

ров деталей. Наладка основных узлов их неизменна, а установка деталей других типоразмеров обеспечивается быстросменными приспособлениями. В мелкосерийном производстве станки могут быть не полностью загружены. Однако срок окупаемости их не превышает 0,5—2 лет. Это объясняется тем, что высвобождаются рабочие-доводчики высокой квалификации, а станок может обслуживать оператор, длительность обучения которого не превышает 2—3 месяцев. Специализированное доводочное оборудование имеет небольшие габаритные размеры, невысокую металлоемкость, низкую потребляемую мощность.

Для повышения эффективности механизации целесообразно создание механизированных доводочных участков, на которых сконцентрировано 10—15 станков различных типов, обслуживаемых двумя, тремя операторами и одним наладчиком. Опытный оператор может обслуживать несколько доводочных станков, работающих по полуавтоматическому циклу. Организация участка, изолированного от других производственных помещений, отвечает также требованиям гигиены доводочных операций. Кроме доводочных на участке осуществляются контрольные операции поступающих и обработанных деталей.

Представляет интерес бригадная форма организации работы на доводочном участке. Бригада в составе двух-трех операторов, наладчика, контролера, разнорабочего отвечает не за отдельные операции доводки, а за число и качество прецизионных деталей, сданных на сборку. Так как на участке выполняют преимущественно окончательные операции, то контролер осуществляет тщательный входной контроль деталей, поступающих на доводку, не пропуская брак по предшествующим операциям. Наладчик обслуживает все станки участка, переналаживая их в зависимости от типоразмеров деталей и осуществляя настройку на заданную точность. Разнорабочий выполняет промывку деталей, удаляя абразив, пасту, загрязнения с поверхностей и в труднодоступных местах. При необходимости члены бригады подменяют друг друга. При бригадной организации труда становится целесообразным хранение технологической оснастки к станкам непосредственно на участке, что обеспечивает оперативность ее замены.

Специализированные доводочные станки и унифицированные головки по конструкции не отличаются от

стандартного металлорежущего оборудования. Их техническое обслуживание осуществляют в соответствии с общезаводским планом ремонта с циклом между капитальными ремонтами 5—6 лет. В регламентных работах по обслуживанию особое внимание уделяется осмотру лабиринтных уплотнений, кожухов и щитков, предохраняющих прецизионные детали от загрязнения и повышенного изнашивания. Ежедневно осуществляют мойку рабочей зоны станков и смазку трущихся пар. Для наиболее ответственных деталей (пинолей шпинделей, подвижных пинолей) предусмотрены ремонтные комплекты.

В заключение следует отметить перспективные направления в области механизации доводочных операций в мелкосерийном производстве деталей топливных агрегатов. Прежде всего это централизованный выпуск унифицированных доводочных головок и широкое внедрение их на предприятиях отрасли. Необходима разработка унифицированного оборудования для доводки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей. Следует расширять исследования в области создания инструментов и отработки режимов доводки связанным абразивом, чтобы добиться замены абразивных паст. Подготовлены условия для автоматизации доводочного оборудования. Следует вести разработки в области машинного проектирования технологических процессов и операций доводки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гриднев В. Н., Анисимов Э. В., Рамм А. З. Методика испытания абразивных паст. — В сб.: Абразивы. М.: НИИМАШ, 1976, № 8, с. 7—10.
2. Доводка прецизионных деталей машин / Под ред. Г. М. Ипполитова. М.: Машиностроение, 1978. 255 с.
3. Нестеренко Л. М., Гриднев В. Н., Рамм А. З. Абразивно-алмазная обработка сопрягаемых поверхностей, обеспечивающих герметичность. Тезисы докладов семинара «Экономичность и точность абразивно-алмазной обработки». М.: МДНТП, 1971, с. 116—122.
4. Нестеренко Л. М., Гриднев В. Н., Рамм А. З. Доводка плоских поверхностей с использованием специального инструмента. — В сб.: Технология производства, научная организация труда и управления. М.: НИИМАШ, 1973, № 6.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Детали с прецизионными поверхностями и схемы доводки	4
Механизация доводки сферических и плоских поверхностей	16
Механизация доводки деталей с особыми требованиями к прецизионным поверхностям	40
Опыт эксплуатации доводочных станков в мелкосерийном производстве	55
Список литературы	71

ИБ № 3618

Владимир Николаевич Гриднев

Анатолий Зеликович Рамм

МЕХАНИЗАЦИЯ ДОВОДКИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Редактор *Ю. И. Подскребко*

Художественный редактор *И. К. Капралова*

Технический редактор *А. И. Захарова*

Корректор *А. А. Снастина*

Обложка художника *В. Ю. Эленбаума*

Сдано в набор 04.05.83. Подписано в печать 19.08.83. Т-16747. Формат 84×108^{1/32}. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,78. Усл. кр.-отт. 4,1. Уч.-изд. л. 3,71. Тираж 7000 экз. Заказ 520. Цена 20 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машиностроение»,
107076, Москва, Стромынский пер., 4

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома при Государственном
комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, 103051, Цветной бульвар, 26