

## Перенапряжаемые системы станочного оборудования

В.М.ЛЕСТУНОВ, проф.; А.В.ЛЫСЕНКО.

Кировоградский государственный технический университет

Расширение технологических возможностей гибких автоматических производств непосредственно связано с повышением требований к качеству выпускаемой продукции. Объединение черновых и чистовых технологических операций на многооперационных станках обострило противоречие «нагрузка – точность». Новый подход к разрешению этого противоречия основан на изменении традиционного распределения потоков мощности в приводе.

Модель нагружения исполнительного органа привода станка в условиях, допускающих изменение традиционного распределения нагрузки в приводе, можно представить в таком виде

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_1 W_1 + P_2 W_2,$$

где:  $\sum_{i=1}^n P_i$  – сумма сил сопротивления

перемещенного исполнительного органа привода станка по направлению одной из составляющих скорости движения формообразования;  $P_1, P_2$  – составляющие движущих сил в направлении рассматриваемого перемещения;  $W_1, W_2$  – передаточные функции по составляющему воздействию на исполнительный орган привода станка.

Такая структура привода позволяет при заданных режимах обработки создавать заданные условия функционирования по нагрузке исполнительных органов станков (направляющих, силовых головок, шпиндельных узлов и т.д.), в том числе с адаптивным и программным управлением, что расширяет технологические возможности привода станочных систем по точности и до-

пустимой степени концентрации технологических операций. Сравнительные испытания предлагаемого привода подачи пинольного типа показали, что его точностная надежность в 2 раза выше надежности традиционного привода.

На рис.1 показана *структурная схема*, обобщающая станочный привод традиционного направления и системы управления мощностью и нагрузкой.

Рассмотрим ряд конструкций, созданных на основе этой схемы.

Необходимость смены шпиндельных узлов возникает в многооперационных станках, когда в силу специфики требований к выполняемым технологическим операциям надо изменять жесткость, точность и виброустойчивость привода главного движения.

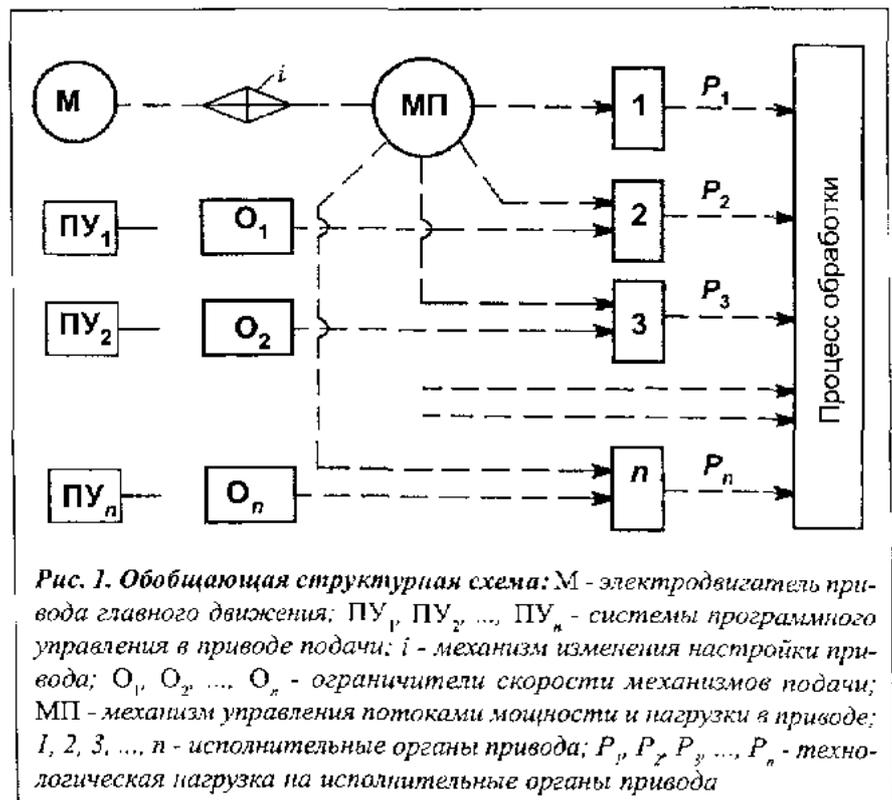


Рис. 1. Обобщающая структурная схема: М - электродвигатель привода главного движения; ПУ<sub>1</sub>, ПУ<sub>2</sub>, ..., ПУ<sub>n</sub> - системы программного управления в приводе подачи; i - механизм изменения настройки привода; O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, ..., O<sub>n</sub> - ограничители скорости механизмов подачи; МП - механизм управления потоками мощности и нагрузки в приводе; 1, 2, 3, ..., n - исполнительные органы привода; P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, ..., P<sub>n</sub> - технологическая нагрузка на исполнительные органы привода

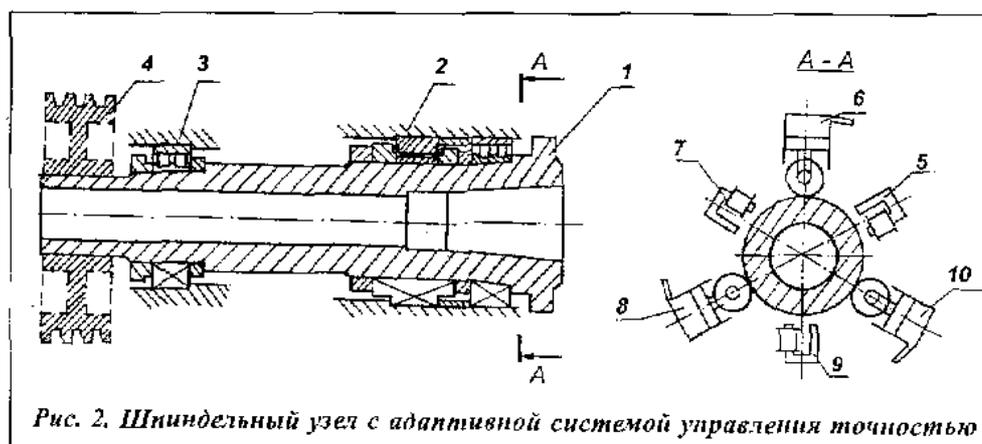


Рис. 2. Шпиндельный узел с адаптивной системой управления точностью

На рис. 2 показан шпиндельный узел с адаптивной системой управления точностью в радиальном направлении образования размера обработки. В процессе обработки заготовки, закрепленной на шпинделе 1 (установленном на подшипниках 2 и 3), вращение от привода сообщается через шкив 4. Технологическая нагрузка на шпиндель вызывает его упругую деформацию, что снижает точность. Для компенсации упругой деформации в сечении А — А на шпинделе установлены датчики 5, 7, 9, которые включены в замкнутую систему автоматического управления точностью. Эта система через исполнительные механизмы, реагируя на отклонения, воздействует на гидравлические силовые цилиндры 6, 8, 10, вызывая упругую деформацию шпинделя противоположно воздействию технологической нагрузки, повышает точность обработки.

Составляющие элементы переналаживаемого станочного привода обычно определяют его технологические возможности.

Сменный шпиндельный узел многоцелевого станка (рис. 3) решает проблему перехода от одной технологической операции к другой в широком диапазоне - от обработки резанием до обработки давлением. На рисунке показаны головка, настроенная на выполнение технологических операций (прошивание отверстий, дорнрование, запрессовка, штамповка и т.д.) с поступательным главным движением, и сменный узел, предварительно настроенный на выполнение технологической операции (сверление, рассверливание, зенкерование, развертывание отверстий и т.п.) с вращательным главным движением и с поступательным движением подачи.

Корпус 2 сменной головки для подачи инструмента установлен на стойке 17, по которой он может перемещаться с помощью обычного реечного механизма 18 и фиксироваться в нужном положении. Ведущий шкив 1 клиноременной передачи консольно закреплен на втулке 3, в отверстии которой выполнены шлицы для соединения с хвостовиком

шпинделя 4 (приводного вала). На шпинделе, установленном на подшипниках 6 в пиноли 5, закреплены ведущая полумуфта 10 фрикционной муфты и ведущее кольцо 13 шарикового вибратора. Ведомая полумуфта 9 фрикционной муфты расположена в отверстии пиноли и с помощью тарельчатой пружины поджата к штифтам 8, упирающимся в гайку 7, фиксируемую в осевом направлении контргайкой. Кольцо 13 прижато к неподвижному профильному кольцу 11 шарикового вибратора через шарики 12, заключенные в сепаратор. При включении приводного электродвигателя получают вращение ведомый шкив 1 клиноременной передачи и втулка 3, передающая вращение через шлицевое соединение шпинделю 4 головки. Подпружиненный в осевом направлении шпиндель, через закрепленное на нем кольцо 13, заставляет шарики 12 перекачиваться по сферической канавке с углублениями в кольце 11. В результате вращающийся шпиндель получает осевое колебательное движение, параметры которого определяются конструкцией шарикового вибратора.

Ведомая полумуфта 9 установлена в пиноли таким образом, что может соединяться с ведущей полумуфтой только при обратном ходе шпинделя. В результате этого пиноль, периодически проворачиваясь в корпусе, обеспечивает пульсирующее осевое перемещение связанному с ней рабочему инструменту. Осевое положение полумуфты 9 относительно пиноли может устанавливаться с помощью гайки. Изменение ее осевого положения изменяет время включения фрикционной муфты в процессе обратного хода шпинделя и угол поворота пиноли в корпусе, чем достигается регулирование величины осевого импульса

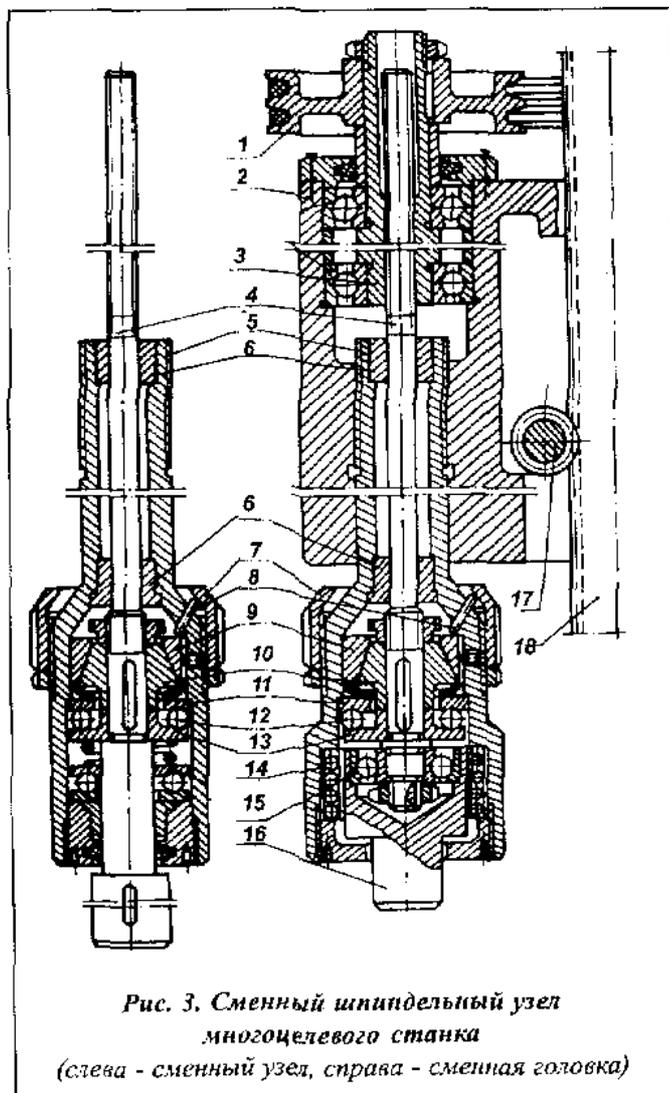


Рис. 3. Сменный шпиндельный узел многоцелевого станка (слева - сменный узел, справа - сменная головка)

очередного осевого перемещения пиноли. Таким образом, рабочий импульс головки совершается шариковым вибратором в период, когда пиноль не поворачивается в корпусе; периодическое осевое смещение пиноли происходит в момент, когда рабочий процесс прерывается.

В резьбовое отверстие пиноли завинчена гайка толкателя 14, упругая мембрана которого обеспечивает постоянный контакт шарика с вращающимся и совершающим осевые колебания шпинделем. В результате толкатель совершает колебательные осевые движения и периодически смещается вместе с пинолью в осевом направлении, обеспечивая выполнение необходимых технологических операций. Для направления толкателя при выполнении таких операций служит направляющая втулка 16, центрируемая по отверстию пиноли.

Режущий инструмент, закрепленный в инструментальном шпинделе 15, совершает главное вращательное движение и пульсирующее движение подачи, осуществляемое предварительно настраиваемым на заданную подачу импульсным механизмом. Для изменения технологической операции достаточно вывернуть пиноль 5 из корпуса и на ее место поставить предварительно настроенный сменный узел, предназначенный для выполнения нужной операции.

Многоскоростной электродвигатель, скорость вращения которого может регулироваться в заданном диапазоне, позволяет изменять скорость вращения шпинделя головки или инструментального шпинделя сменного узла в соответствии с выполняемой технологической операцией. Для возвращения толкателя или шпинделя с инструментом в исходное положение конечный переключатель путевого управления (не показан) реверсирует привод и импульсный механизм, периодически поворачивая пиноль, возвращает толкатель и инструмент в исходное положение, где конечный выключатель автоматически включает привод. Ручная подача пиноли осуществляется благодаря рифлению на ее наружной (цилиндрической) поверхности.

Привод станка, показанный на рис. 4, позволяет путем смены наладки изменять рабочую подачу, а также упростить ее механизм.

На суппорте 1 установлена каретка 9 с держателем 2 резца 3. Суппорт, расположенный на продольных направляющих станка, имеет возможность поперечного перемещения для радиальной установки резца относительно заготовки 4, закрепленной в патроне 5. Второй держатель 7 также имеет возможность независимого поперечного перемещения. Установленный в нем ролик 6 опирается на обрабатываемую поверхность детали 4. Суппорт соединен со штоком 8 гидро- или пневмоцилиндра. Пневмопривод необходим для сообщения суппорту движущей силы в направлении подачи, которая преодолевает составляющую силы резания и силу трения в направляющих и обеспечивает прижатие ролика к обрабатываемой поверхности. Высокая жесткость и виброустойчивость привода позволяют эффективно его использовать при обработке деталей на высокопроизводительных режимах в условиях серийного производства.

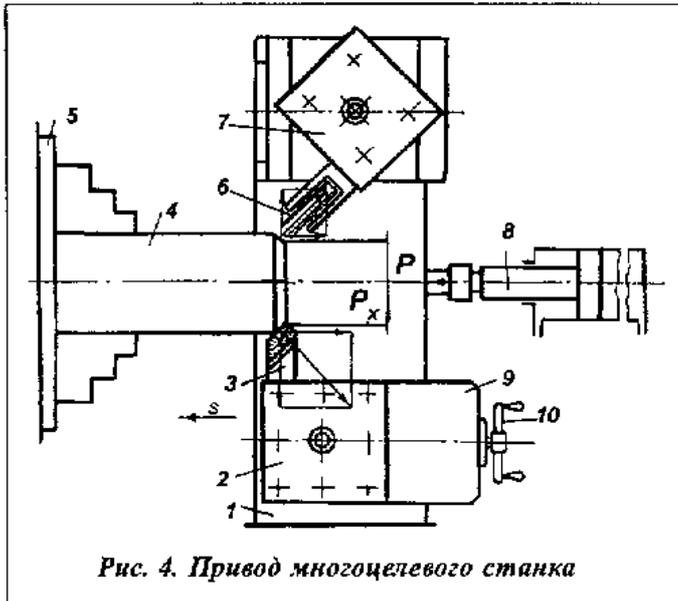


Рис. 4. Привод многоцелевого станка

Продольная подача суппорта бесступенчато регулируется с помощью винта (не показан), управляемого рукояткой 10. Перемещение каретки 9 с резцедержателем 2 относительно роликодержателя 7 в продольном направлении изменяет величину продольной подачи. Для повышения жесткости привода и обрабатываемой детали опорный ролик 6 установлен с противоположной стороны резца.

На рис. 5 изображена конструкция силовой головки. На ее корпусе 10 посредством поперечных направляющих 6 крепится каретка 5 с пинолью 3, наружная поверхность которой представляет собой реечное колесо 2 с круговой рейкой. Реечное колесо соединено с рейкой 8, установленной с возможностью перемещения в корпусе головки и снабженной электромагнитной тормозной муфтой 1. Реечное колесо с круговой рейкой и рейка 8 связаны с реечной шестерней 9, ось которой параллельна оси рейки 8. Круговая рейка с реечной шестерней представляют собой элементы соответственно поперечного и продольного приводов перемещения пиноли.

В пиноли 3 на подшипниках установлен шпиндель 4, кинематически связанный с винтом 15 не-

самотормозящейся винтовой передачи. На шпонке 16 приводного винта 15 вала 13 главного движения установлена втулка 12, соединяемая электромагнитной муфтой 17 с кареткой 5. Электродвигатель 14 через соединительную муфту кинематически связан с валом 13, который, в свою очередь, через несамотормозящуюся винтовую передачу гайка – винт соединен с винтом 15, соединенным через шпонку с втулками 12 и 18. Втулка 12 электромагнитной муфтой 17 соединена с корпусом каретки, а втулка 18 с помощью электромагнитной муфты 11 – с пинолью 3.

При вращении электродвигателя вращается шпиндель 4 с инструментом. Муфты 11 и 17 снимают мощность с двигателя 14 на осуществление продольной и поперечной подачи. Включение муфты 17 вызывает нагрузку по крутящему моменту в винтовой передаче вал 13 – винт 15, а осевая сила  $P$  при этом направлена на преодоление технологической нагрузки и сил сопротивления осевому перемещению пиноли. Когда выключена тормозная муфта 1, пиноль осуществляет быстрый подвод. В свою очередь, муфта 7 ограничивает движения поперечной подачи. При включении муфты 1) начинает вращаться пиноль 3, но этого еще недостаточно для осуществления поперечной подачи – необходимо затормозить рейку 8, т.е. включить муфту 7. Скорость поступательных

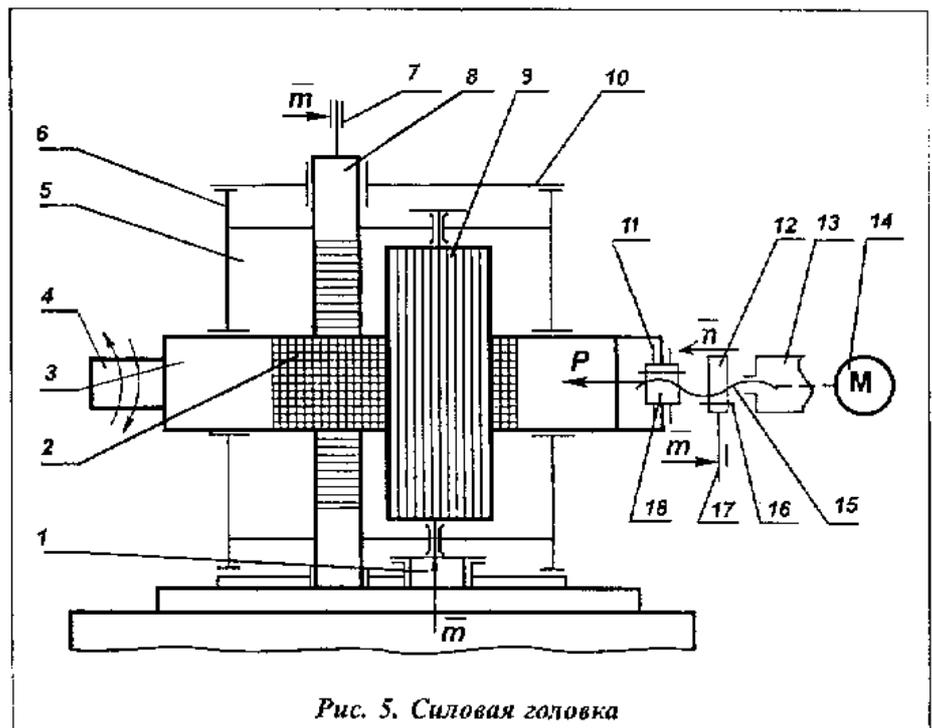


Рис. 5. Силовая головка

движений подачи в продольном и поперечном направлениях изменяется с изменением длительности дискретного включения муфт 1 и 7.

Силовая головка может осуществлять следующие движения: быстрый подвод и отвод инструмента в горизонтальной плоскости при включении муфт 7, 17 и отключении муфт 1, 11; быстрый подвод и отвод инструмента в вертикальной плоскости при включении муфт 1, 11 и отключении муфт 7, 17; рабочую подачу инструмента в горизонтальной плоскости при включении муфт 7, 17 и отключении муфт 1, 11; рабочую подачу инструмента в вертикальной плоскости при включении муфт 1, 11 и отключении муфт 7, 17.

Конструкция **двухкоординатного стола** обеспечивает при отключении и включении соответствующих муфт перемещение стола или только в продольном направлении, или только в поперечном, или как в продольном, так и в поперечном направлениях со скоростями, обусловленными частотой вращения двигателя и передаточными отношениями червячных передач. В приводе используется механизм взаимно перпендикулярных перемещений, позволяющий значительно уменьшить его высоту, что повышает устойчивость конструкции.

Механизм взаимно перпендикулярных перемещений стола выполнен в виде последовательно установленных червячных передач, червяки которых связаны с ведущим валом. Одно червячное колесо соединено муфтой с ведущим барабаном ленточного устройства поперечного перемещения, а другое - с барабаном, который лентой связан с тремя барабанами, охватывающими устройство поперечного перемещения, причем указанная лента соединена соответственно с продольной и поперечными каретками. Барабаны механизма продольных перемещений расположены прямоугольником, что обеспечивает прямолинейность перемещения, исключая перекосяк, и повышает точность позиционирования при уменьшении габаритов.

Повышение производительности обработки обеспечивает **резьбонарезная головка**, позволяющая исключить реверсирование привода главного движения. Это достигается тем, что в привод главного движения введена несамотормозящаяся винтовая пара, винт которой связан с механизмом подачи, а гайка - со шпинделем. Винт расположен

таким образом, что его ось проходит через точку контакта ролика с кулачком. При этом усилия в винтовой паре и в кулачковом механизме уравновешиваются, обеспечивая разгрузку направляющих пиноли. Возрастающий момент на шпинделе приводит к срабатыванию предохранительной муфты. Одновременно прекращаются движение подачи и вращение инструмента.

Силовая головка может найти применение в резьбонарезных станках и автоматических линиях.

Повышения качества обработки и производительности хонингования можно достигнуть, если в качестве рабочих элементов использовать установленные на оси ролики, а в зону обработки непрерывно подавать металлосодержащую среду, нагретую до 50 - 60 °С. Обрабатываемую заготовку закрепляют на столе станка. Хонинговальная головка набрана из восьми секторов с осями и закреплена в шпинделе станка, которому сообщаются вращение и возвратно-поступательное движение. В процессе обработки свободно установленные на осях ролики прижимаются к обрабатываемой поверхности гильзы и, обкатываясь в процессе формообразования, формируют цилиндрическую поверхность. В результате обработки получается поверхность высокой степени шероховатости.

Необходимость нагрева технологической среды вызвана тем, что в контактной паре ролик - цилиндрическая поверхность в указанном диапазоне температур образуется износостойкая пленка. Нанесение такой пленки на рабочую поверхность деталей машин, в частности цилиндров ДВС, повышает их износостойкость и снижает трение. В процессе обработки в зону хонингования подается технологическая среда следующего состава (масс.%):

хлористая медь	5
двуххлористое олово	1
формалин	15
мочевина, мочевиноформальдегидная смола	1
нитрит натрия	0,2
глицерин	77

Конструкция **силовой головки** с электромагнитной муфтой скольжения, закрепленной на корпусе, и упорным подшипником, размещенным между выступом шпинделя и торцом пиноли (сепаратор упорного подшипника жестко соединен с яко-

рем электромагнитной муфты), отличается простотой привода и компактностью.

При включенной муфте, благодаря значительно меньшему трению качения в подшипнике по сравнению с трением в резьбе пиноли, вращение шпинделя не сопровождается его осевым перемещением. При этом сепаратор подшипника притормаживается. Так как трение скольжения шариков подшипника по беговым дорожкам его колец превышает трение в резьбе пиноли, последняя выворачивается из стакана корпуса, что ведет к осевой подаче пиноли и шпинделя. Подача реверсируется изменением направления вращения шпинделя.

На рис.6 представлена схема *электрохимической винтовой силовой головки*. Головка содержит электродвигатель 18 привода главного движения; перегрузочное устройство, представляющее собой подпружиненную шариковинтовую передачу, состоящую из гайки 17, винта 16, пружины 15; шлицевой вал 19, выходной вал 20. Регулируемый привод серии ПМС подачи головки включает в себя асинхронный двигатель 1, муфту скольжения 2 и центробежный регулятор скорости 14, обеспечивающий необходимые обороты привода подачи в соответствии со скоростью, предварительно настраиваемой с помощью нониуса 11 и винта 12. Регулятор 14, соединенный с втулкой 13, получает вращение через клиноременную передачу 9 - 10 от винта 8 привода подачи.

От электродвигателя 18 вращение передается гайке 17, выполненной в виде трех круговых канавок сферического профиля, в которых расположены шарики, перекачивающиеся по винтовым канавкам сферического профиля винта 16. Однако этому движению препятствует пружина 15, предварительно сжатая стержнем 21. При передаче крутящего момента, не превышающего установленной величины, осевая сила в шариковинтовой передаче не превышает силы предварительного натяжения пружины, и стержень 21 вместе с винтом 16 не смещается по оси.

От электродвигателя 1 через муфту скольжения 2 приводится во вращение вал 5, соединенный с валом, несущим гайку 22, выполненную за одно целое с шестерней 23. Вращение вала 24 может передавать одна из зубчатых передач 4 - 28, 6 - 26 или 7 - 25. Разность угловых скоростей винта 8 и гайки 22 вызывает осевое перемещение винта 8, а вместе с ним и корпуса силовой головки. При включении фрикционной муфты 27 влево угловая скорость вращения гайки 22 значительно превышает скорость вращения винта 8. В результате винт, а вместе с ним и силовая головка быстро подводят инструмент к обрабатываемой детали.

При включении фрикционной муфты 27 вправо вращение вала 24 передается через шестерни 6 - 26. В этом случае скорость вращения гайки 22 лишь незначительно превышает скорость вращения винта 8, и силовая головка перемещается вперед со скоростью рабочей подачи, определяемой настройкой центробежного регулятора 14 и нониусом 11. В нейтральном положении фрикционной муфты 27 вращение вала 24 передается через шестерни 7 - 25. Скорость вращения гайки 22 значительно меньше скорости вращения винта, и головка быстро возвращается в исходное положение. Управление циклом силовой головки осуществляется системой путевых переключателей. После возвращения ее в исходное положение выключается муфта скольжения 2, включаются тормозная муфта 3 и муфта 27 (вправо). Силовая

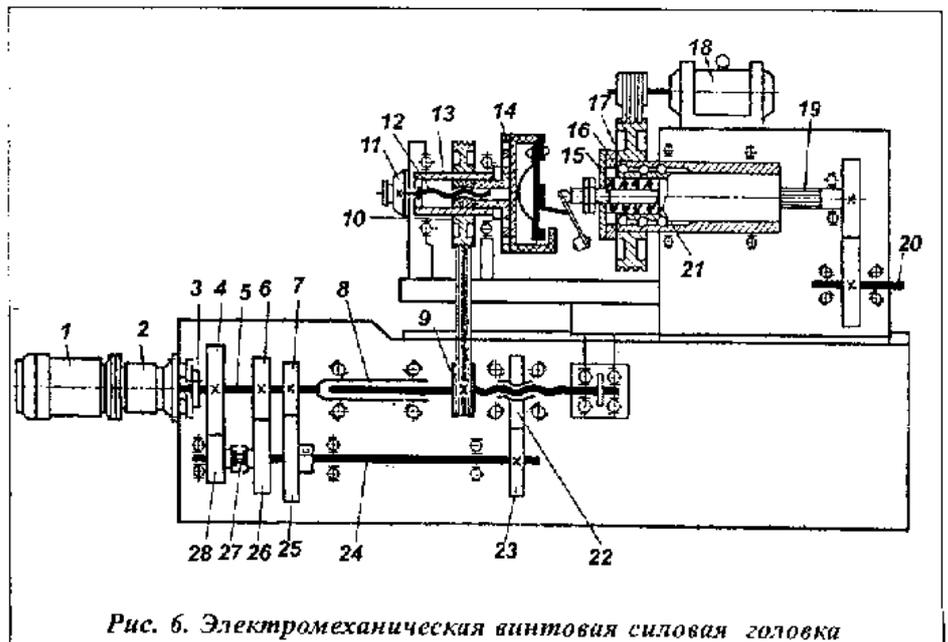


Рис. 6. Электрохимическая винтовая силовая головка

головка останавливается в исходном положении. Для начала следующего цикла движений выключается тормозная муфта 3, включаются муфта скольжения 2 и муфта 27 (влево).

При крутящем моменте в приводе главного движения, большем установленного предела, осевая сила в шариковинтовой передаче 17 - 15 превышает силу предварительного натяжения пружины, и стержень 21 получает осевое перемещение влево. При этом он нажимает на упор центробежного регулятора 14, который через муфту скольжения 2 снижает скорость вращения ведущего вала 5 привода подачи. Скорость рабочей подачи уменьшается и одновременно снижается нагрузка в приводе главного движения. Пружина 15 возвращает стержень 21 в исходное положение, а скорость рабочей подачи с помощью центробежного регулятора 14 устанавливается в соответствии с предварительной настройкой. В случае, когда уменьшение скорости рабочей подачи не ведет к значительному снижению нагрузки (затупление инструмента), стержень 21 не возвращается в исходное положение, и центробежный регулятор обеспечивает работу с меньшей скоростью рабочей подачи и с постоянным крутящим моментом нагрузки.

На рис.7 изображены *привод металлорежущего станка и схема путевого управления муфтой*. В корпусе 1 расположена пиноль 2, соединенная с ним резьбой. В пинולי на подшипниках смонтирован шпиндель 3, на котором закреплен ротор 7, установленный в пинולי 2 электромагнитной муфты скольжения 6. На пинולי на подшипнике свободно сидит кольцо 4, в котором расположен токосъемник 5, установленный в цепи питания катушки электромагнитной муфты 6. Кольцо 4 подвижной штангой 9 соединено с корпусом 1 и реостатом 10, установленным в цепи питания катушки 11 муфты 6. С помощью шлицевой передачи шпиндель соединен с приводной втулкой 8.

При включении привода шпиндель с инструментом получают вращение от втулки 8. Для движения пинולי 2 необходимо включить цепь питания катушки 11 электромагнитной муфты 6. Ротор 7, взаимодействуя с электромагнитным полем катушки 11, сообщает крутящий момент пинולי, которая вывинчивается из корпуса и перемещается вместе со шпинделем в направлении обрабатываемой детали. Механизм осуществляет движение подво-

да. В процессе обработки осевая нагрузка на шпиндель увеличивается, и для ее преодоления необходимо увеличить передаваемый муфтой крутящий момент. Это достигается изменением сопротивления реостата 10 по заданному закону в функции пути пиноли. Возвращение пиноли в исходное положение осуществляется реверсом привода главного движения. Для остановки пиноли в исходном положении цепь питания катушки 11 выключается.

Рассмотрим конструкцию *шпиндельного узла металлорежущего станка*. Вращательное движение шпинделю с инструментом (например со сверлом) передается через приводную втулку, установленную на радиально-упорных роликоподшипниках. Шпиндель через упорные подшипники соединен со штоком стабилизатора, содержащего дроссели и обратный клапан. Один дроссель настраивается на получение заданной скорости перемещения поршня. Шток стабилизатора в процессе рабочего хода перемещается со скоростью, не превышающей заданную скорость рабочей подачи. Поэтому гидросистема стабилизации воспринимает нагрузку только в случае неравенства

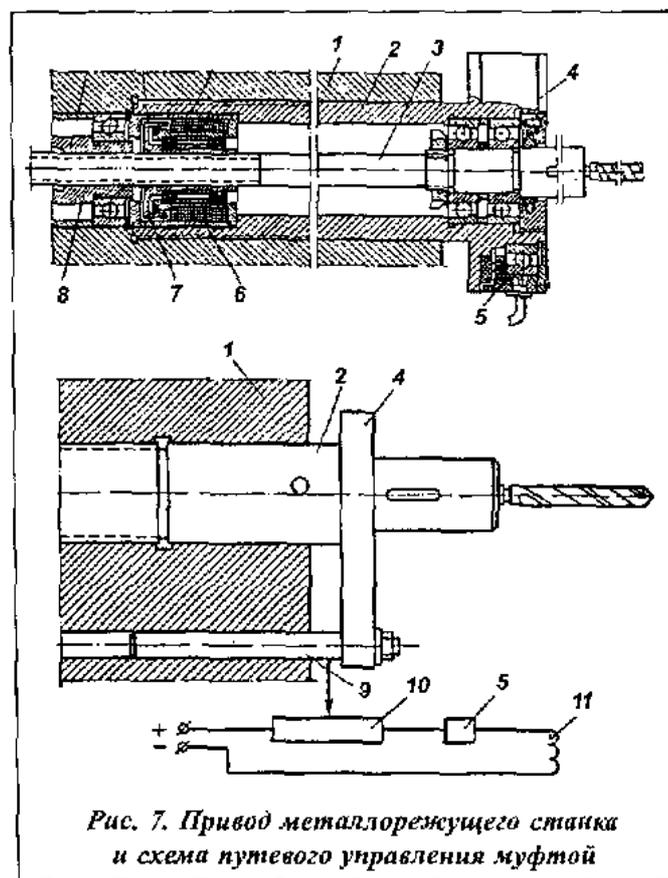


Рис. 7. Привод металлорежущего станка и схема путевого управления муфтой

сил, действующих в осевом направлении на весь шпиндельный узел (сила, возникающая в винтовой передаче, например, больше суммы осевого усилия резания и сил трения в звеньях узла). Когда же осевая составляющая в винтовой передаче меньше суммы осевого усилия резания и сил трения, механизм не обеспечивает заданной скорости рабочей подачи; скорость рабочей подачи уменьшается, что позволяет вести обработку с осевой нагрузкой, не превышающей заданную, а также обеспечить работу по жестким упорам.

После окончания обработки система путевой автоматики реверсирует привод, и шпиндель возвращается в исходное положение. Скорость обратного хода шпинделя регулируется вторым дросселем (при необходимости быстрого подвода шпинделя этот дроссель должен быть переключаемым). Соотношение составляющих технологической нагрузки при данной настройке является величиной постоянной. Вместе с тем, при изменении технологической операции или диаметра инструмента винт шпинделя необходимо менять в целях получения стабильной подачи при максимальной нагрузке гидросистемы.

В упрощенной конструкции устройства для автоматической подналадки инструмента токарного станка винт поперечной подачи инструментального суппорта выполнен из материала, обладающего магнестрикционными свойствами. На винт надет катушка, изменение питания которой по программе приводит к изменению длины винта и, как следствие, к изменению взаимного положения инструмента и обрабатываемой детали в соответствии с заданной программой, составляемой по исходным параметрам детали, станка и инструмента.

На рис. 8 приведена конструктивная схема устройства для настройки технологической системы станка.

При обработке детали 1 составляющие силы резания  $P_z$  и  $P_y$  воздействуют на резец 2 в направлениях, указанных стрелка-

ми. Резцедержатель 5, установленный в корпусе 6 на роликах 4, удерживается от осевого смещения при действии составляющей  $P_y$  плунжером 9, к которому он поджимается пружиной 3, упирающейся в крышку 18. При действии составляющей  $P_z$  резцедержатель опирается на плиту 11, один конец которой через призмы 12 и ролик 13 опирается на корпус 6. Второй конец плиты опирается на плунжер 14 и под действием составляющей  $P_z$  создает давление в системе сообщающихся цилиндров, заполненных шариками 10. В результате плунжер нажимает на резцедержатель силой  $P$ , направленной навстречу составляющей  $P_y$ . При их равенстве сила  $P$  компенсирует составляющую  $P_y$  и при неизменном соотношении  $P_z$  и  $P_y$  делает систему не чувствительной к воздействию составляющей  $P_y$ , определяющей размер обработки. Для равенства силы  $P$  и составляющей  $P_y$  диаметры плунжеров подобраны таким образом, что соотношение площадей их сечений равно отношению сил  $P_z$  и  $P_y$ . Для настройки системы при изменении геометрии инструмента, обрабатываемой детали и т.п. (в случаях, когда меняется соотношение составляющих  $P_z$  и  $P_y$ ) установлены переходные втулки 8 и 16, которые с помощью винтов 7 и 17 могут закрепляться на корпусе или, упираясь в буртик плунжеров 9 и 14, соединяться

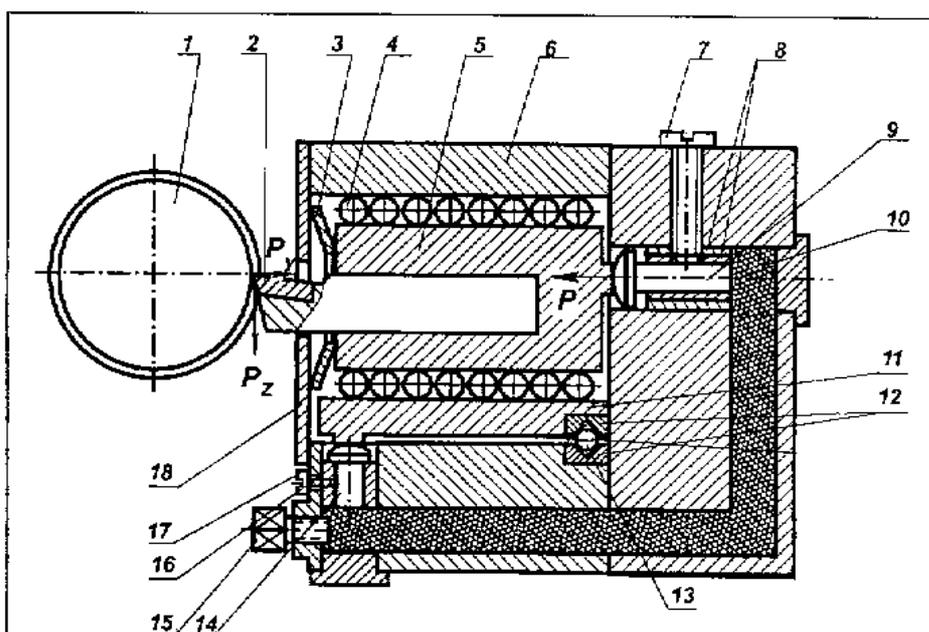


Рис. 8. Устройство для настройки технологической системы станка

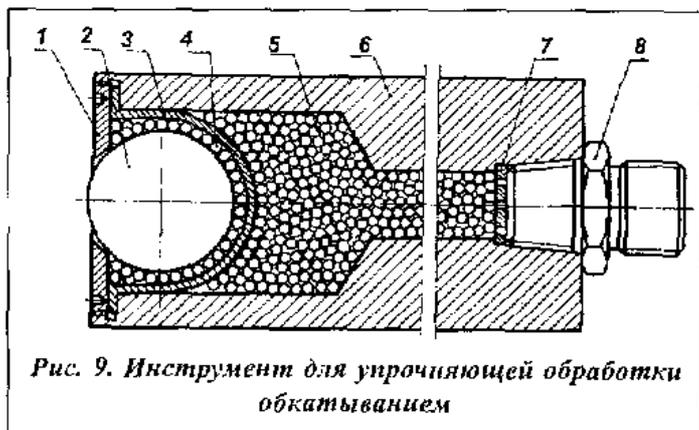


Рис. 9. Инструмент для упрочняющей обработки обкатыванием

лиندрическое отверстие переходит во внутреннюю сферическую поверхность одинакового радиуса с отверстием. Деформирующий шар 4 находится внутри отверстия на шариках 5 меньшего диаметра, заполняющих полость между деформирующим шаром, отверстиями корпуса и крышкой 2, удерживающей шары от выпадения.

Для обработки детали 1, например на токарном станке, с измерением усилия деформации корпус 3 обкатника закрепляют в упругой державке 6 винтом. Через стержень 7 корпус обкатника связан с индикатором 8, измеряющим усилие. В данной конструкции деформирующий шар может самоустанавливаться и исключать трение скольжения в опоре независимо от величины продольной подачи. Усилие деформации передается на опорные шарики 5 и распределяется между ними неравномерно: наиболее нагруженные шарики находятся по линии действия силы  $P$  в вершине сферической поверхности отверстия корпуса 3, наименее нагруженные – у перехода от внутренней полусферы к цилиндрической поверхности отверстия корпуса. В вершине полусферы находится опорный шарик, передающий максимальное усилие от деформирующего шара на корпус обкатника.

Теоретический анализ конструкции инструмента в соответствии с известной методикой расчета шарикоподшипников на статическую прочность позволил получить выражение для определения усилия  $P_0$  на наиболее нагруженный

с плунжерами. Это обеспечивает изменение соотношения диаметров плунжеров при изменившихся условиях обработки. Предварительное давление в системе создается с помощью винта 15.

Конструкция инструмента для упрочняющей обработки обкатыванием приведена на рис. 9. Корпус 6 инструмента закрепляют, например, в резцедержателе токарного станка. Упругая сферическая оболочка 3 отделяет полость с шариками 5, установленными с предварительным натяжением, от шариков 4, циркулирующих в замкнутом объеме, на которые опирается деформирующий шарик 2. Корпус закрыт крышкой 1. От попадания в систему, создающую в полости гидростатическое давление, шарики удерживаются сеткой 7, закрепленной штуцером 8.

Из теории обработки металлов давлением с помощью обкатывающих шариков известно, что размер обрабатываемой детали и степень шероховатости поверхности являются функциями усилия деформации. Поэтому, изменяя гидростатическое давление в полости, управляют размером обработки или качеством обрабатываемой поверхности в функции различных параметров. Давлением в полости определяется усилие деформации при обкатывании. Инструмент можно использовать при обработке на токарных, строгальных и других станках.

В качестве инструмента для отделочно-упрочняющей обработки деталей применяют шариковую опору (рис.10). В ее корпусе 3 ци-

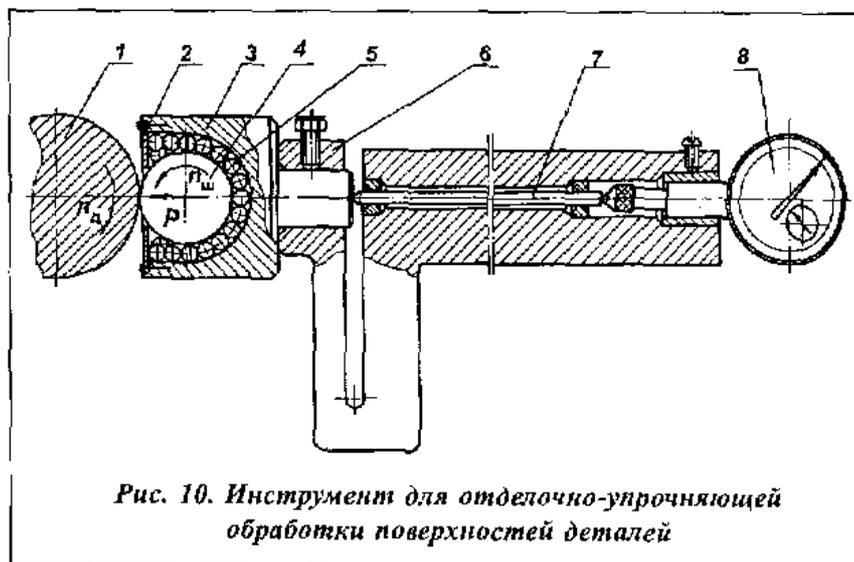


Рис. 10. Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей

шарик в зависимости от соотношения радиусов опорного и деформирующего шаров  $R_1/R_2 = k$ :

$$P_0 = \frac{P}{1 + \pi \frac{k+1}{k} \sum_{i=1}^m \sin \frac{i \cdot 2k}{k+1} \cdot \cos^{5/2} \frac{i \cdot 2k}{k+1}}$$

где  $m = \frac{\pi \cdot k + 1}{4 \cdot k}$  – количество слоев опорных шариков, расположенных в полости между деформирующим шаром и полусферой отверстия корпуса.

Количество опорных шариков, находящихся под нагрузкой в полусфере отверстия корпуса, определялось по формуле

$$N = 1 + \pi \frac{k+1}{k} \sum_{i=1}^m \sin \frac{i \cdot 2k}{k+1} = 1 + \pi \frac{k+1}{k} \cdot \sin \frac{k(m+1)}{k+1} \sin \frac{k \cdot m}{k+1} \operatorname{cosec} \frac{k}{k+1}$$

По полученным выражениям построены графики зависимости количества нагруженных шариков  $N$  и усилия  $P_0$  на наиболее нагруженный шарик от соотношения размеров опорных и деформирующего шариков ( $R_1/R_2$ ). Из графиков было видно, что нагрузка  $P_0$  на наиболее нагруженный шарик, а следовательно, и контактные напряжения уменьшаются вследствие увеличения числа  $N$  и распределения усилия обкатывания на большее количество нагруженных шариков.

Для экспериментальных исследований влияния режимов обкатывания на шероховатость обкатанной поверхности был изготовлен обкатник с размерами шаров: опорных  $R_1 = 2,775$  мм, деформирующего  $R_2 = 15,875$  мм. Эксперименты проводили на предварительно обточенных цилиндрических образцах диаметром 70 мм из стали 45 и алюминиевого сплава АЛ10В.

Пример обработанного образца приведен на рис.11, где четко просматриваются два обработанных участка.

По результатам экспериментов построены графики зависимости степени шероховатости обкатанной поверхности от режимов обработки и величины исходной шероховатости поверхности заготовки. На рис.12,а представлен график зависимости полученной степени шероховатости поверхности заготовок, обработанных обкатыванием, от их начальной шероховатости.

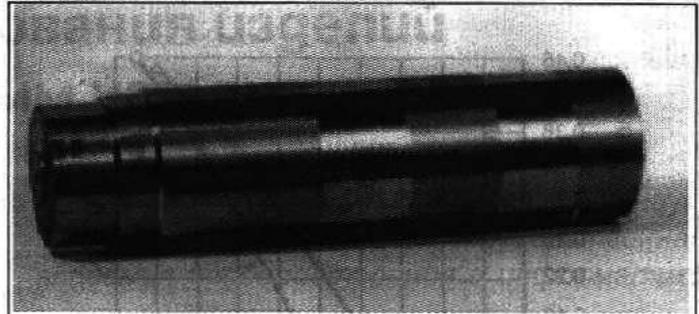
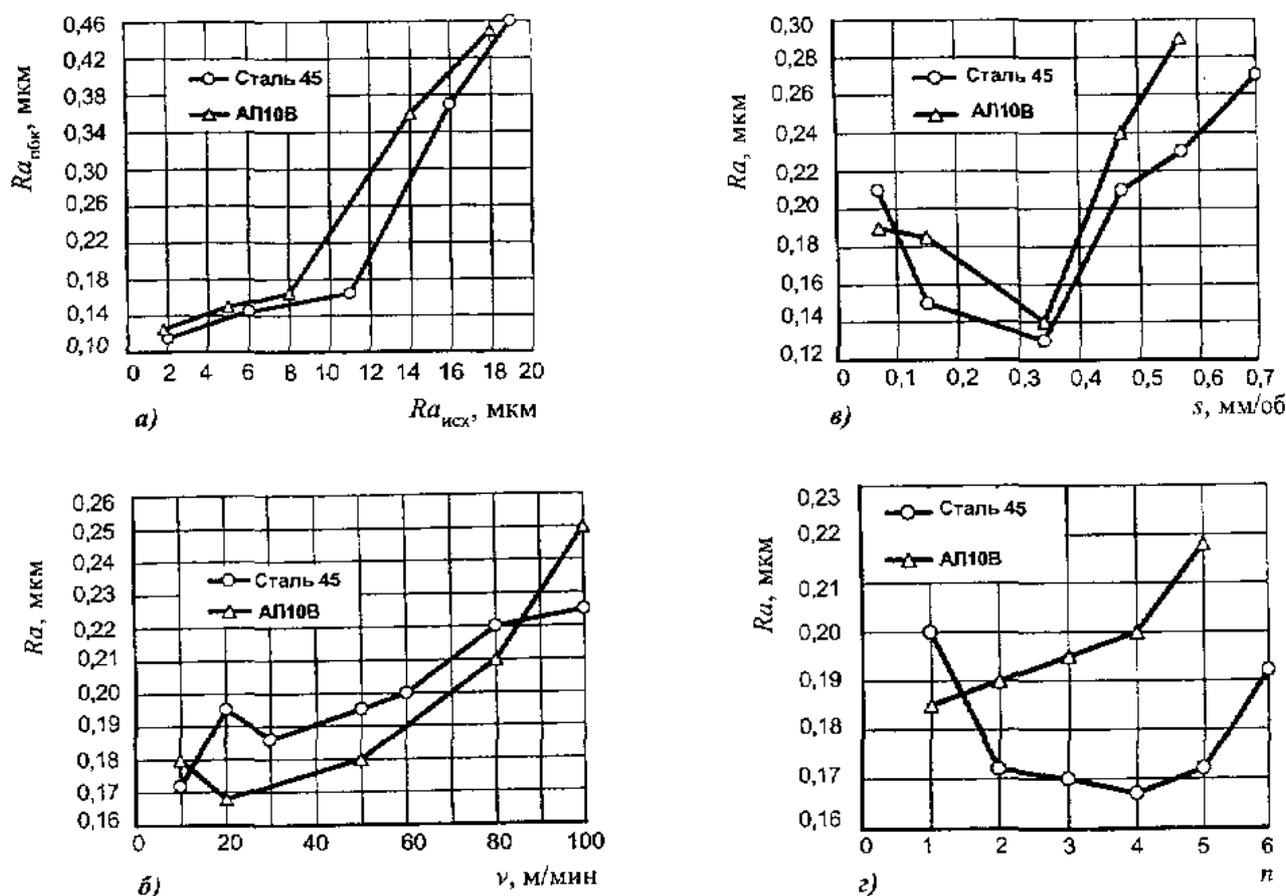


Рис. 11. Обработанный образец из стали 45

При исходной степени шероховатости заготовки  $Ra = 1,6 \dots 3,2$  мкм в результате обкатывания с усилием  $P = 2000$  Н, подаче  $s = 0,84$  мм/об, скорости обкатывания  $v = 50$  м/мин за один проход шариковым обкатником достигается степень шероховатости поверхности  $Ra = 0,1 \dots 0,2$  мкм при глубине упрочненного слоя металла до 0,3 мм. Усилие обкатывания  $P = 2000$  Н является оптимальным для данного обкатника, так как дальнейшее увеличение усилия обкатывания приводит к ухудшению степени шероховатости обработанной поверхности из-за перенаклепа поверхностного слоя металла. Как для стали, так и для алюминия, увеличение исходной шероховатости обкатываемой детали до значения  $Ra = 6$  мкм приводит к незначительному увеличению шероховатости обкатанной поверхности. Поэтому в зависимости от требований к ее шероховатости необходима предварительная обработка исходной поверхности с получением шероховатости в определенных пределах.

На рис.12,б и в представлены графики зависимости степени шероховатости поверхности, полученной в результате обкатывания, от режимов обработки – скорости и подачи. Большая величина шероховатости обкатанной поверхности заготовок из стали и алюминия при подаче  $s = 0,34$  мм/об объясняется тем, что каждая точка обрабатываемой поверхности несколько раз попадает в зону пластической деформации, вследствие чего первоначально полученный микропрофиль поверхности изменяется, что приводит к увеличению шероховатости. С увеличением скорости обкатывания шероховатость поверхности заготовок и из стали, и из алюминия увеличивается, но в зависимости от требований к качеству поверхности можно рекомендовать обкатывание со скоростью до 100 м/мин.



**Рис. 12.** Зависимость степени шероховатости обкатанной поверхности от режимов обкатывания и величины исходной шероховатости поверхности заготовки: *а* - от начальной шероховатости поверхности; *б* - от скорости обкатывания; *в* - от величины подачи; *г* - от количества проходов

На рис.12,г представлен график зависимости полученной шероховатости поверхности обработанных заготовок от количества проходов. Повторные проходы ( $n = 2 \dots 4$ ) шариковым обкатником для стали 45 лишь незначительно уменьшают шероховатость поверхности, а при пяти и более проходах приводят к ее увеличению вследствие перенаклепа. Для алюминиевого сплава АЛ10В повторные проходы с усилием обкатывания  $P = 2000$  Н увеличивают шероховатость поверхности до видимого шелушения. Это объясняется низкими пластическими свойствами алюминиевого сплава и перенаклепом поверхностного слоя металла образца.

Проведенные эксперименты показали, что применение шарикового обкатника данной конструкции для отделочно-упрочняющей обработки обеспечивает высокую степень шероховатости поверх-

ности. Упрочнение поверхности способствует улучшению таких эксплуатационных свойств деталей машин, как усталостная прочность, износостойкость, жесткость контактирующих поверхностей, что в совокупности повышает эффективность эксплуатации деталей машин. Сравнительно большая подача обеспечивает качение шариков в опоре независимо от режимов обработки, а это значительно повышает стойкость инструмента и расширяет область его возможного использования.

Простота конструкции и эксплуатации обкатника позволит широко его использовать для отделочно-упрочняющей обработки не только наружных, но и внутренних поверхностей с любой траекторией относительного движения детали и инструмента, в том числе и при вибрационной обработке.

На большинство рассмотренных конструкций получены авторские свидетельства.