



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» (ДГТУ)**

# **ЛЕКЦИИ**

по дисциплине

**«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ФИНИШНОЙ  
ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН»**

**для магистрантов**

**направления 15.04.05 «Конструкторско-технологическое  
обеспечение машиностроительных производств»**

**программа «Технологическое обеспечение качества изделий  
машиностроения»**

Ростов-на-Дону

ДГТУ

2021

УДК 621.01

Составитель ст. препод. Колганова Е.Н.

Лекции по дисциплине «Технологические процессы финишной обработки деталей машин» для магистрантов 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» программа «Технологическое обеспечение качества машиностроения». – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т. 2021. – 102 с.

Предназначены для магистрантов направления 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

УДК 621.01

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Донского государственного технического университета

Ответственный за выпуск  
зав. кафедрой «Технология машиностроения»  
д-р техн. наук, профессор Тамаркин М.А.

---

В печать 27.09.2021 г.  
Формат 60х84/16. Объём 2,5 усл.п.л.  
Тираж 30 экз. Заказ № 700

---

Издательский центр ДГТУ  
Адрес университета и полиграфического предприятия  
344000, г.Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный  
технический университет, 2021

# 1. ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ

## 1.1. ВИБРАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА

Наиболее распространённым методом обработки свободными абразивами является вибрационная обработка, которая в зависимости от характера применяемой рабочей жидкости представляет собой механический или химико-механический процесс съёма мельчайших частиц металла или его окислов с обрабатываемой поверхности, а также сглаживания микронеровностей путём их пластического деформирования частицами рабочей среды, совершающими в процессе работы колебательные движения.

Обрабатываемые детали загружаются в рабочую камеру, заполненную рабочей средой требуемой характеристики. Рабочая камера, установленная на упругой подвеске, может колебаться в различных направлениях. Она приводится в движение инерционным вибратором с частотой до 50 Гц и амплитудой от 0,5 до 8 мм. В процессе обработки детали и частицы рабочей среды перемещаются, совершая два вида движений: колебания и медленное вращение всей массы загрузки (циркуляционное движение). От стенок рабочей камеры вибрация передаётся прилегающим слоям рабочей среды, которые сообщают её следующим слоям и т. д.

На рис. 2 представлена рабочая зона тороидальной виброполировальной установки. В процессе обработки детали занимают различные

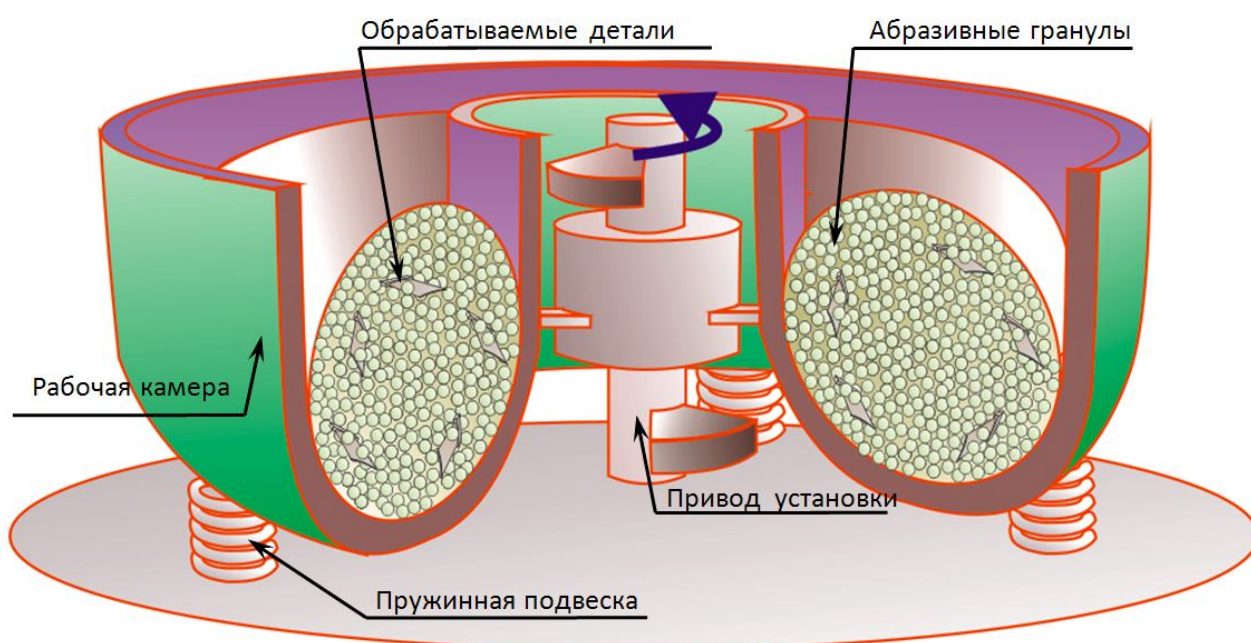


Рис. 2. Рабочая зона тороидальной виброполировальной установки

положения в рабочей среде, что обеспечивает достаточно равномерную обработку всех поверхностей. Постоянно колеблющаяся масса абразивных гранул удерживает обрабатываемые детали во взвешенном состоянии, исключая грубые забоины и повреждения. Это позволяет обрабатывать детали малой жёсткости. В результате циркуляции обработка происходит во всех зонах рабочей камеры. Наиболее эффективно обработка происходит около дна камеры, где давление рабочей среды выше.

Большинство операций вибрационной обработки производятся с непрерывной или периодической подачей технологической жидкости, которая обеспечивает удаление продуктов износа (частиц металла и абразива) с поверхностей деталей и частиц рабочей среды, смачивает детали и среду, помогает их разделению и равномерному распределению деталей в рабочей среде, способствует охлаждению обрабатываемых деталей. Конструкции вибрационных станков позволяют применять различные сочетания твердых, жидких и смешанных компонентов рабочих сред. Это создаёт условия протекания химических и электрохимических процессов. Вибрационная обработка происходит в условиях относительно высокой активности обрабатываемой поверхности вследствие её очищенности от окислов и загрязнений и применения соответствующих технологических жидкостей.

Объем рабочей камеры может изменяться от  $0,1 \text{ дм}^3$  до нескольких кубометров, что позволяет производить обработку различных по размерам деталей (от игл клапанов до панелей крыла самолёта). Рабочие камеры отличаются не только по объему, но и по форме. На рис. 3, 4, 5 и 6 представлены виброполировальные установки различной формы.

На рис. 3 показана тороидальная виброполировальная установка. Она является наиболее универсальной и может применяться в производстве различной серийности от мелкосерийного до крупносерийного. За одной установкой может быть закреплено большое количество деталей с различным временем, требующимся для обработки. Ограничивающим фактором являются габариты установки и абразивные гранулы, загруженные в неё. Детали должны свободно помещаться в рабочую камеру, а гранулы – свободно входить во все радиусы деталей и не застревать в отверстиях, если они есть в детали.

На рис. 4 показана лотковая виброполировальная установка. Она предназначена для обработки крупногабаритных деталей (панели крыла самолёта и др.).





Рис. 3. Тороидальная виброполировальная установка

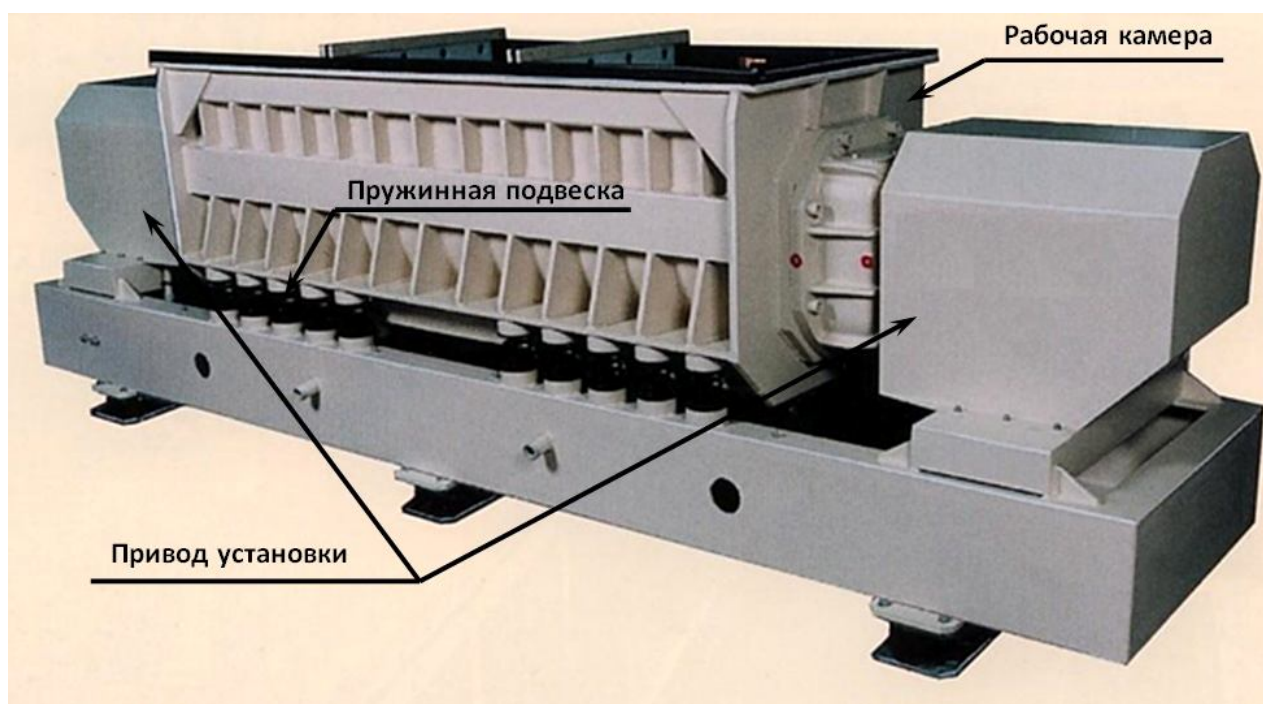


Рис. 4. Лотковая виброполировальная установка

На рис. 5 показана спиральная виброполировальная установка. Такие установки целесообразно применять при крупносерийном и массовом производстве или при наличии большого количества однотипных деталей. В такой установке детали обрабатываются проходя по спиральному каналу похожему на улитку, а затем попадают на сепарационную решетку. Абразивные гранулы проваливаются через решетку, а детали остаются на ней. Время обработки у всех деталей, обрабатываемых на этой установке должно быть одинаковым. В такой установке обрабатываются небольшие детали, величиной до 10 см.

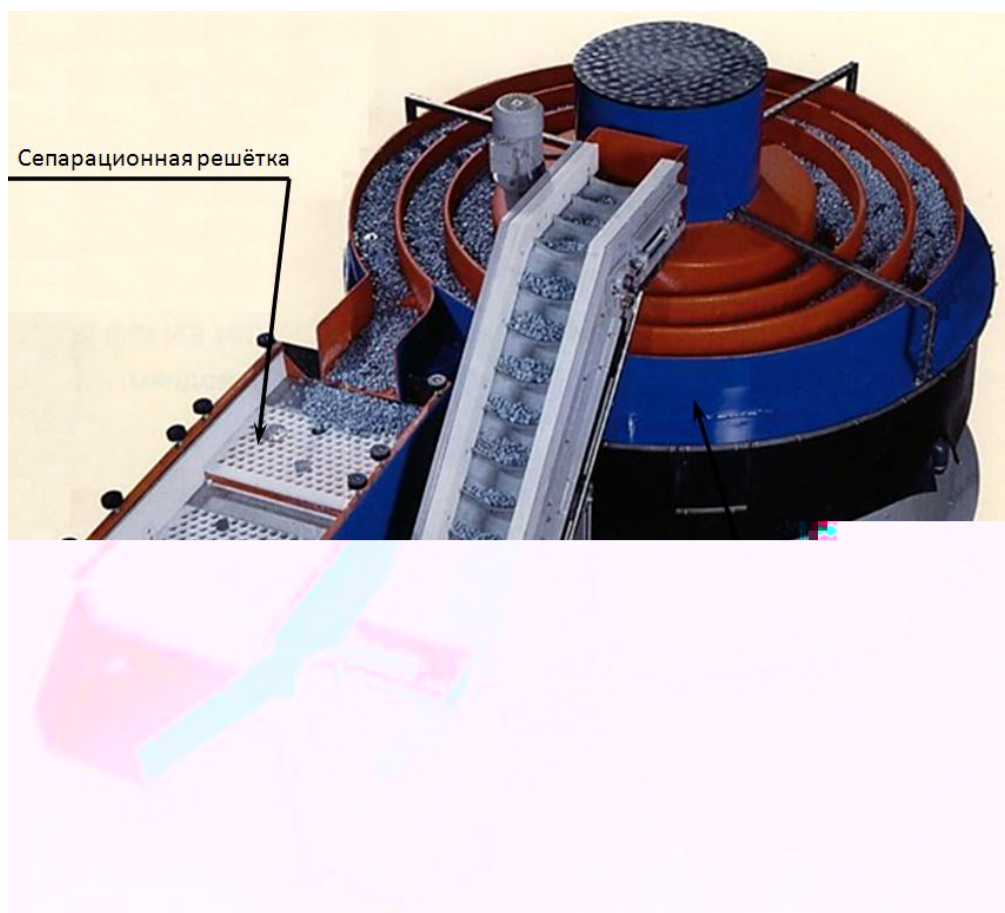


Рис. 5. Спиральная виброполировальная установка

При необходимости проведения в условиях крупносерийного или массового производства виброполировальной обработки более габаритных деталей следует использовать виброполировальную установку, показанную на рис. 6. В качестве рабочей камеры в данном случае применяется лотковая установка.

В процессе обработки создаются хорошие условия для удаления стружки и шлама, свободно проникающих между частицами рабочей среды и уносимых технологической жидкостью через перфорированные люки в бак-отстойник.

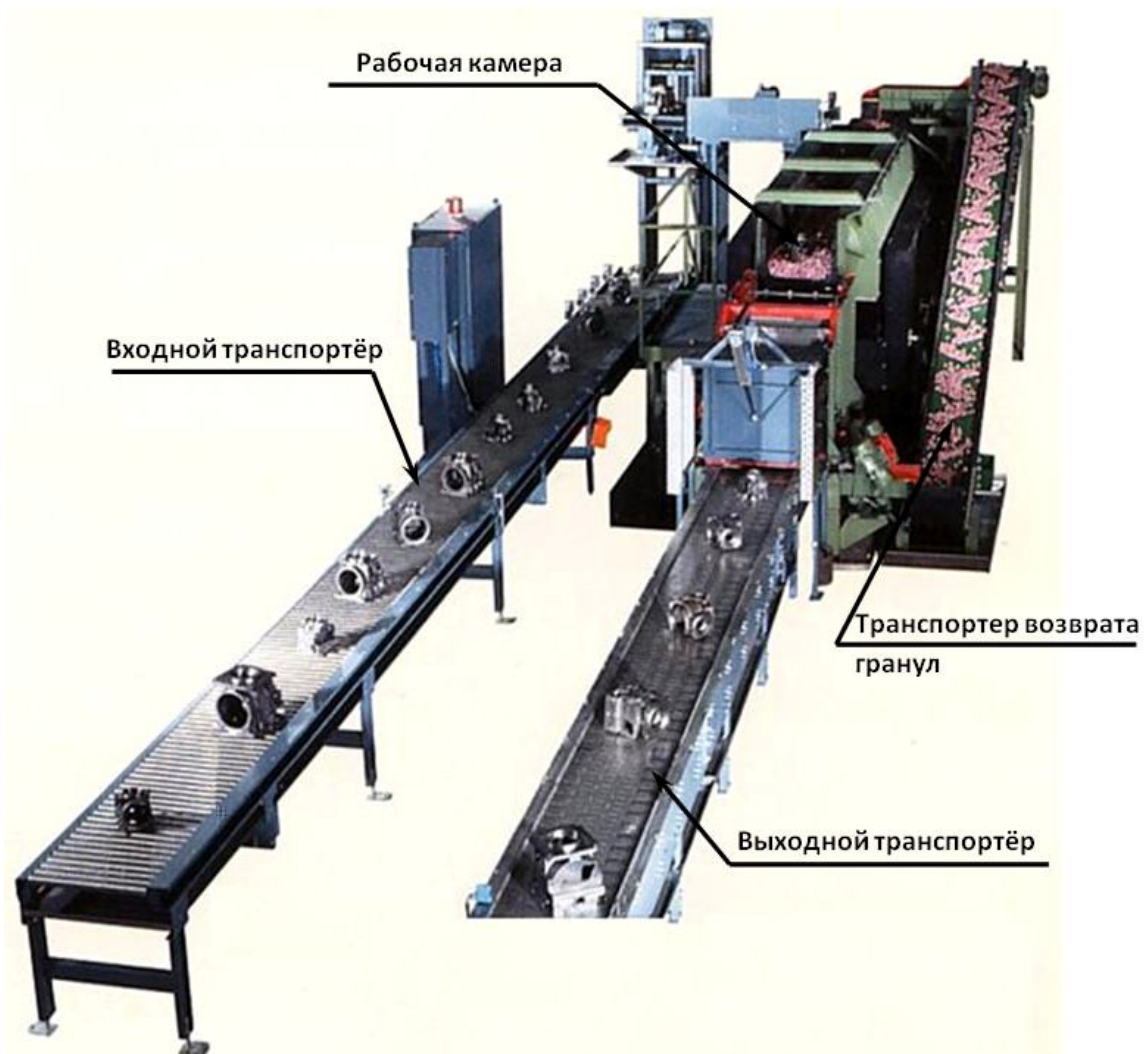


Рис. 6. Виброполировальная установка для обработки крупногабаритных деталей

Основными технологическими факторами являются амплитуда и частота колебаний, характеристики рабочей среды, материала деталей и время обработки.

Особенностью виброабразивной обработки является одновременная обработка большого количества деталей без закрепления, возможность обработки деталей различных размеров и малой жёсткости. Особым случаем является обработка в виброполировальных установках закрепленных деталей (рис. 7). Такая технология применяется при необходимости обработки внутренних каналов или отверстий, но следует помнить, что абразивные гранулы не должны в них застревать. В процессе обработки деталь удерживается приспособлением на одном месте, а поток абразивных гранул обтекает её снаружи и внутри.

Наиболее интенсивно съём материала происходит на кромках обрабатываемых деталей, как это показано на рис. 8. Первые 10 ч обработки действует соотношение  $\Delta_R / \Delta_P = 10$ .





Рис. 7. Тороидальная виброполировальная установка с закреплением обрабатываемых деталей

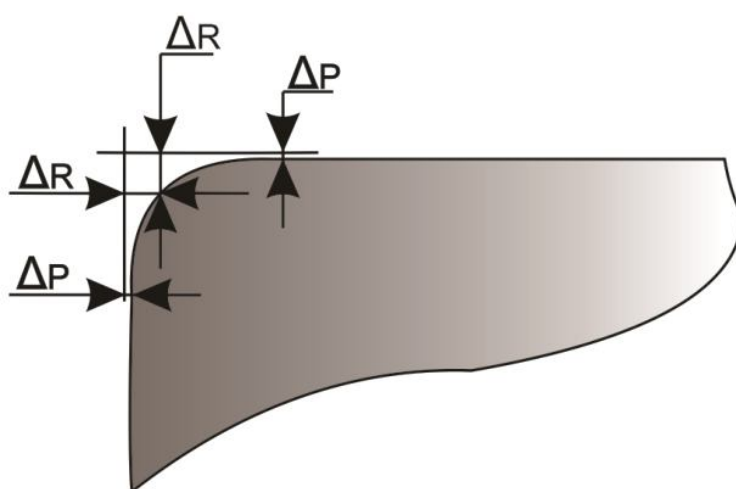


Рис. 8. Схема скругления кромки при виброполировальной обработке

## 1.2. ЦЕНТРОБЕЖНО-РОТАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА

Способ объёмной центробежно-ротационной обработки заключается в том, что гранулированная обрабатывающая среда и детали приводятся во вращательное движение вокруг вертикальной оси таким образом, что приобретают форму тора, в котором частицы движутся по спиральным траекториям. Тороидально-винтовой поток обеспечивается конструкцией рабочей камеры станка, состоящей из неподвижной обечайки и примыкающего к ней вращающегося ротора, имеющего в наиболее распространённом варианте форму тарелки. На рис. 9 показана рабочая зона центробежно-ротационной установки, а на рис. 10 показана работающая установка.

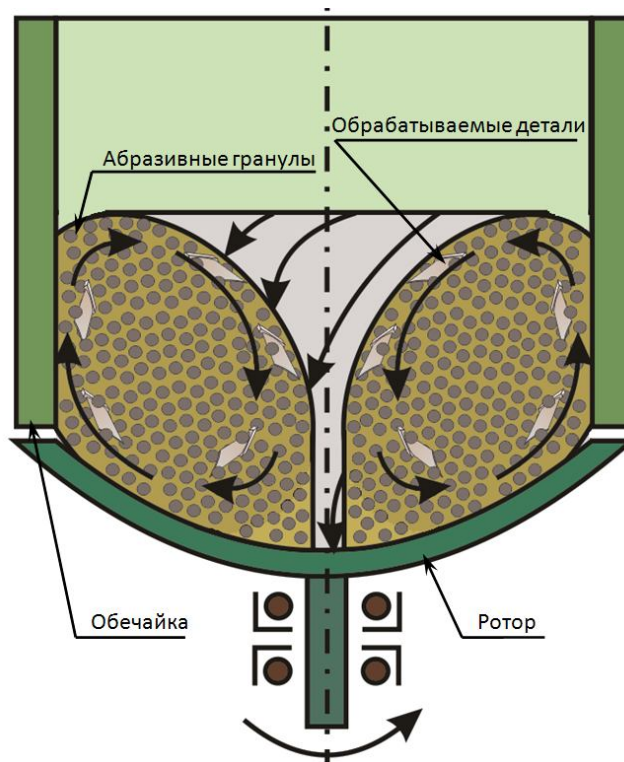


Рис. 9. Рабочая зона центробежно-ротационной установки



Рис. 10. Центробежно-ротационная установка

Обрабатываемые детали загружаются в рабочую камеру «внавал» и перемещаются вместе с рабочей средой. Съем металла осуществляется за счёт относительного перемещения и взаимодействия абразивных гранул и деталей, смачиваемых жидкостью, непрерывно подаваемой в рабочую камеру. Таким образом, могут обрабатываться детали различной геометрической формы, имеющие достаточную жесткость, чтобы не деформиро-

ваться в тороидально-винтовом потоке. Центробежно-ротационная обработка также является «безразмерной» и позволяет получить высокую интенсивность обработки за счёт больших скоростей перемещения компонентов тороидально-винтового потока. Свободное перемещение и циркуляция деталей в потоке способствует их равномерной обработке. Технологическая жидкость обеспечивает удаление стружки и шлама с поверхности деталей и частиц рабочей среды, смачивает их, способствует охлаждению обрабатываемых деталей.

Интенсивность центробежно-ротационной обработки зависит от скорости вращения ротора и продолжительности обработки, характеристики и размеров частиц рабочей среды, объёма рабочей камеры, механических свойств материала обрабатываемой детали и т. п.

Конструкция станков для центробежно-ротационной обработки также позволяет применять сочетания различных твёрдых и жидких компонентов, создавая условия для протекания химических и электрохимических процессов.

Особенности центробежно-ротационной обработки заключаются в высокой интенсивности обработки, повышенном износе рабочей среды, одновременной обработке партии деталей, обработке деталей небольших размеров, возможности деформации деталей малой жёсткости.

Как при вибрационной обработке, так и при центробежно-ротационной в качестве рабочей среды применяются абразивные гранулы, которые отличаются по форме, размеру и зернистости абразива входящего в их состав. На рис. 11 и 12 представлены примеры абразивных гранул. При центробежно-ротационной обработке соотношение  $\Delta_R/\Delta_P = 10$  действует первые 4 ч обработки.



Рис. 11. Абразивные гранулы, производимые в России



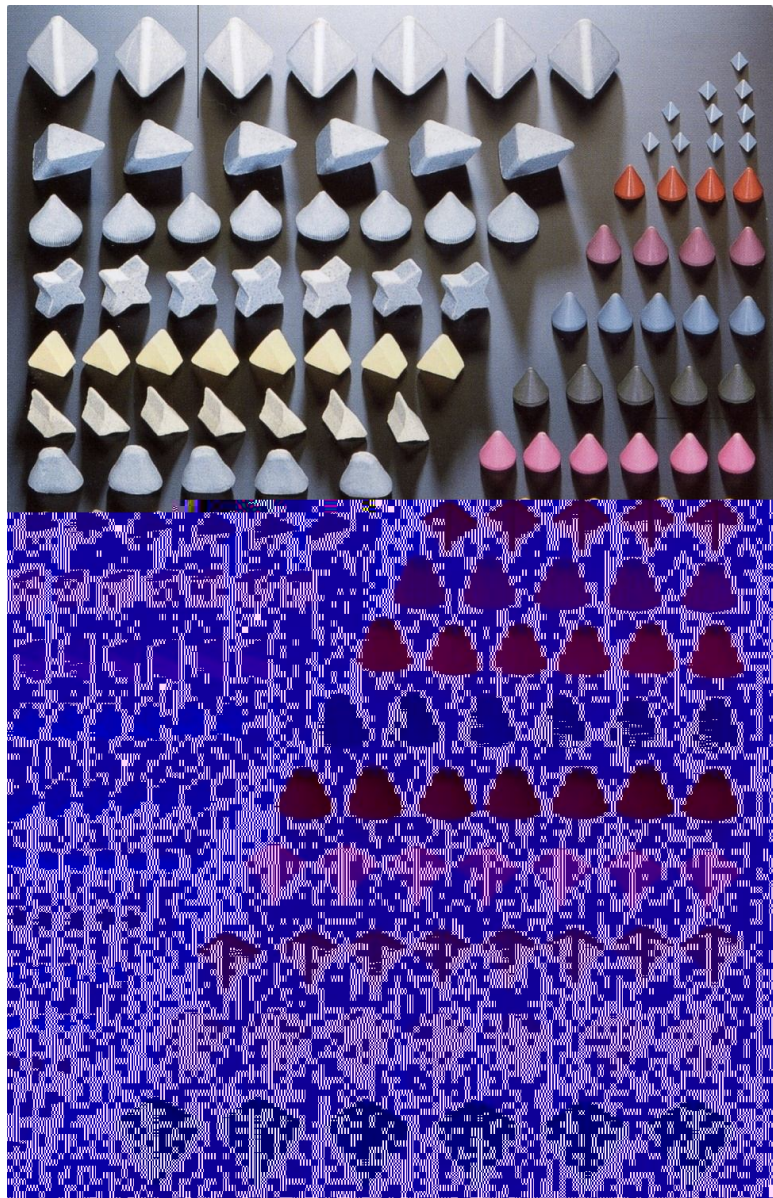


Рис. 12. Абразивные гранулы фирмы RÖSLER

### 1.3. СТРУЙНО-АБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА

Способ струйно-абразивной обработки заключается в использовании эффекта удара частиц обрабатывающего материала об обрабатываемую поверхность. Физическая картина процесса аналогична изнашиванию материалов, находящихся под действием потока частиц. При этом, кроме съёма металла с поверхности, наблюдается её упрочнение и изменение микрогеометрии, а в тонких поверхностных слоях возникают напряжения сжатия.

При этом методе обработки могут применяться различные рабочие материалы. Рабочие установки различаются по конструкции, степени автоматизации (рис. 13) и принципу разгона рабочей среды (рис. 14).



Рис. 13. Разделение струйных камер по степени автоматизации



Рис. 14. Разделение струйных камер по принципу разгона рабочей среды

Принципиальная схема струйной обработки приведена ниже на рис. 15. Частицы абразивного материала поступают в струйный аппарат, где посредством энергии сжатого воздуха разгоняются до скорости 100 – 200 м/с и распыляются соплом в виде струи. Последняя направляется на деталь и обрабатывает ее, соударяясь с поверхностью. Основными технологическими факторами, влияющими на результаты обработки, являются: давление сжатого воздуха, вид абразивного материала и его зернистость, угол атаки струи, длина струи, время обработки.

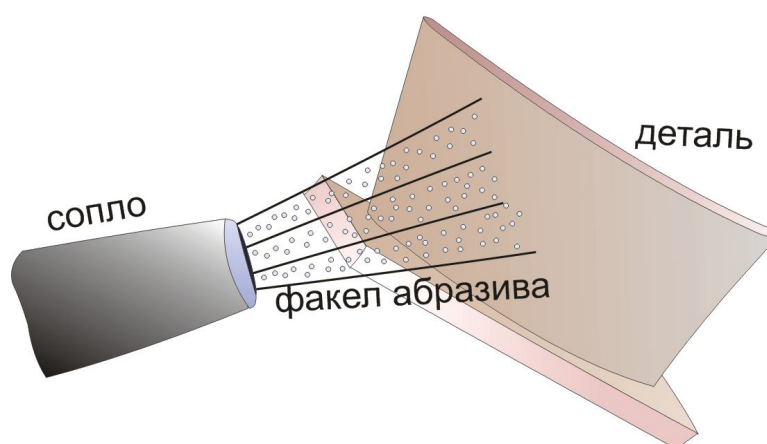


Рис. 15. Схема струйно-абразивной обработки



На эффективность процесса влияет также и конструкция струйного аппарата. Производительность струйной обработки и качество обработанной поверхности зависит от вышеуказанных факторов, а также от исходного состояния обрабатываемой поверхности (микрогеометрии, механических характеристик). Обработка также является «безразмерной».

Особенности струйной обработки: выполняется обработка одной или нескольких закреплённых деталей, необходимость перемещения сопла вдоль детали, обработка деталей различных размеров, необходимость устройства для сбора и возврата в струйный аппарат абразивных частиц.

Струйная обработка свободным абразивом позволяет:

- удалять окалину;
- скруглять кромки;
- удалять заусенцы.

Положительными сторонами струйной обработки являются высокая интенсивность и универсальность. Отрицательными сторонами этого вида обработки являются наличие съёма материала и необходимость защищать оператора от абразивной пыли.

В авиастроении и других областях машиностроения применение свободного абразива часто ограничивается недопустимостью наличия съёма материала и эффекта шаржирования элементов абразивных зёрен в обрабатываемый материал. Так является абсолютно недопустимым шаржирование абразивных частиц в деталь маслосистем авиационных двигателей. В таких случаях целесообразным становится применение в качестве рабочих частиц фруктовой косточки или микродробь (рис. 16 и 17).

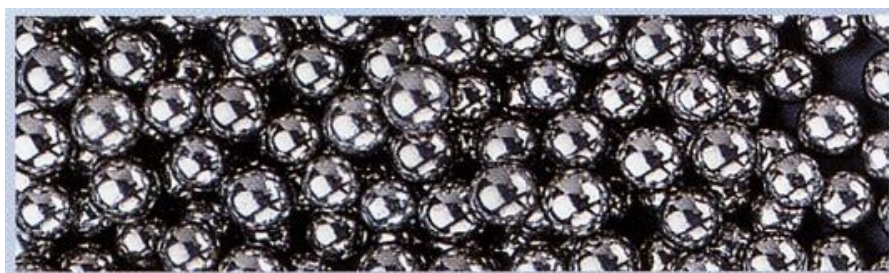


Рис. 16. Металлическая дробь, применяемая для струйной обработки



Рис. 17. Стеклоанная дробь, применяемая для струйной обработки

Эффект шаржирования при этих видах обдувки присутствует, но значительно меньше, чем при обдувке абразивом. Внедрившиеся частицы в этом случае не больше 1 мкм. Материал микродроби в данном случае должен быть химически пассивен к материалу обрабатываемой детали, должна быть исключена реакция окисления. Микродробь изготавливается из различных материалов (сталь, чугун, никель, стекло и др.)

Защитить оператора от абразивной пыли, образующейся при работе струйной установки, помогает обязательное применение вытяжной вентиляции. Также существенно сокращается количество пыли при применении увлажнённой струйной обработки вместо сухой.

Максимально исключает побочные эффекты обдувка льдом, показанная на рис. 18. После обдувки все внедрившиеся в материал частицы льда тают и остаётся только чистая поверхность. Недостатком этого метода является высокая стоимость изготовления льда.

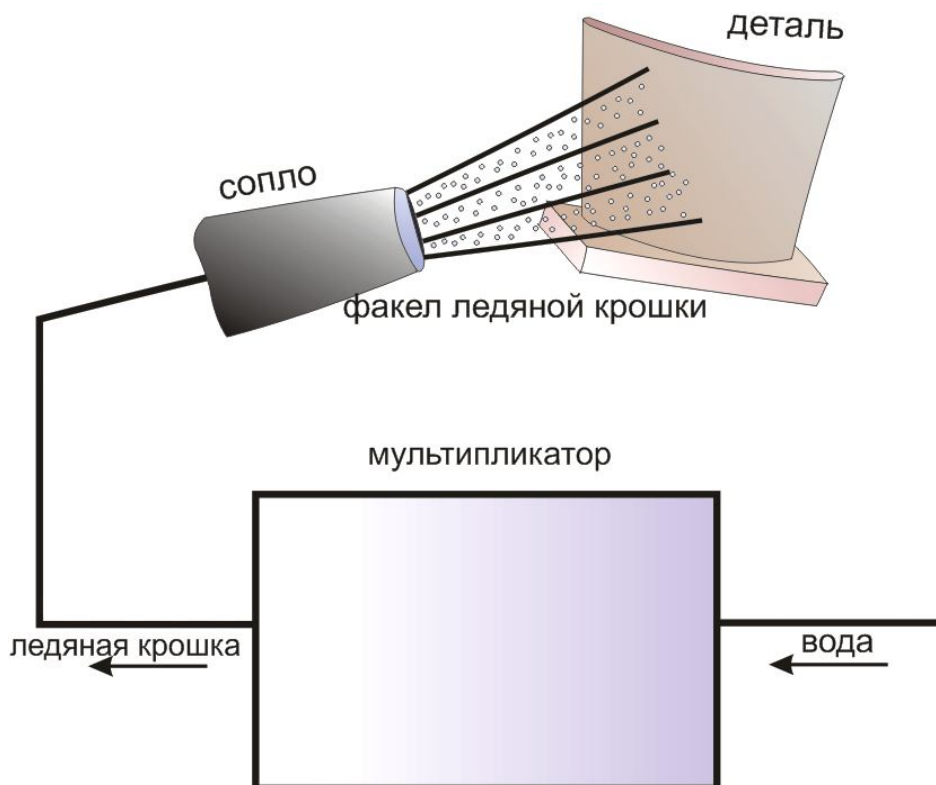


Рис. 18. Схема обдувки ледяной крошкой

На рис. 19 показана ручная струйная камера для сухой струйной обдувки. Однако в этой камере нельзя применять абразивный материал. Такая компоновка струйных камер встречается наиболее часто. При незначительной модернизации камеру можно сделать гидроструйной, что даст возможность использовать свободный абразив.



Рис. 19. Ручная струйная камера

На рис. 20 показана обитаемая струйная камера для струйной сухой обдувки крупногабаритных деталей. Существуют камеры, в которые помещаются самолеты, где с них свободным абразивом снимают краску перед перекрашиванием. Оператор в такой камере полностью защищён от воздействия свободного абразива и других применяемых при обдувке материалов. Он имеет автономный дыхательный аппарат.



Рис. 20. Обитаемая струйная камера



На рис. 21, 22 и 23 иллюстрируется беспыльная сухая струйная обработка. Основой для этого метода обработки является сопло особой конструкции. В таком сопле после соударения с деталью рабочие частицы и пыль отсасываются обратно в накопитель. В этом случае можно обрабатывать практически любые крупногабаритные детали. Так на рис. 22 показана зачистка сварного шва в судостроении.

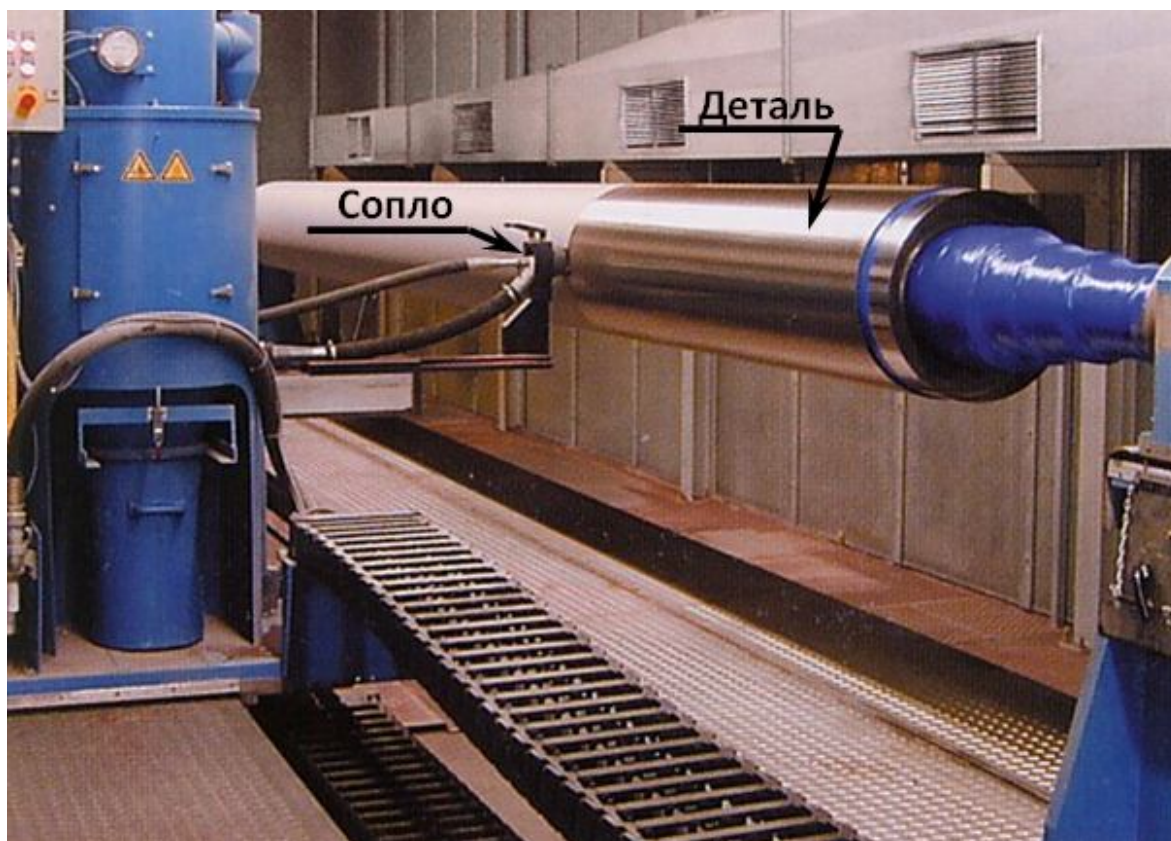


Рис. 21. Автоматическая беспыльная струйная обработка



Рис. 22. Ручная беспыльная струйная обработка



Рис. 23. Сопло для безпыльной струйной обработки

На рис. 24 и 25 показана автоматическая струйная камера. В такой камере можно вести только сухую обдувку, но т. к. камера автоматизирована и рабочие сопла перемещаются роботом по программе, то опасность для оператора со стороны абразивной пыли отсутствует.

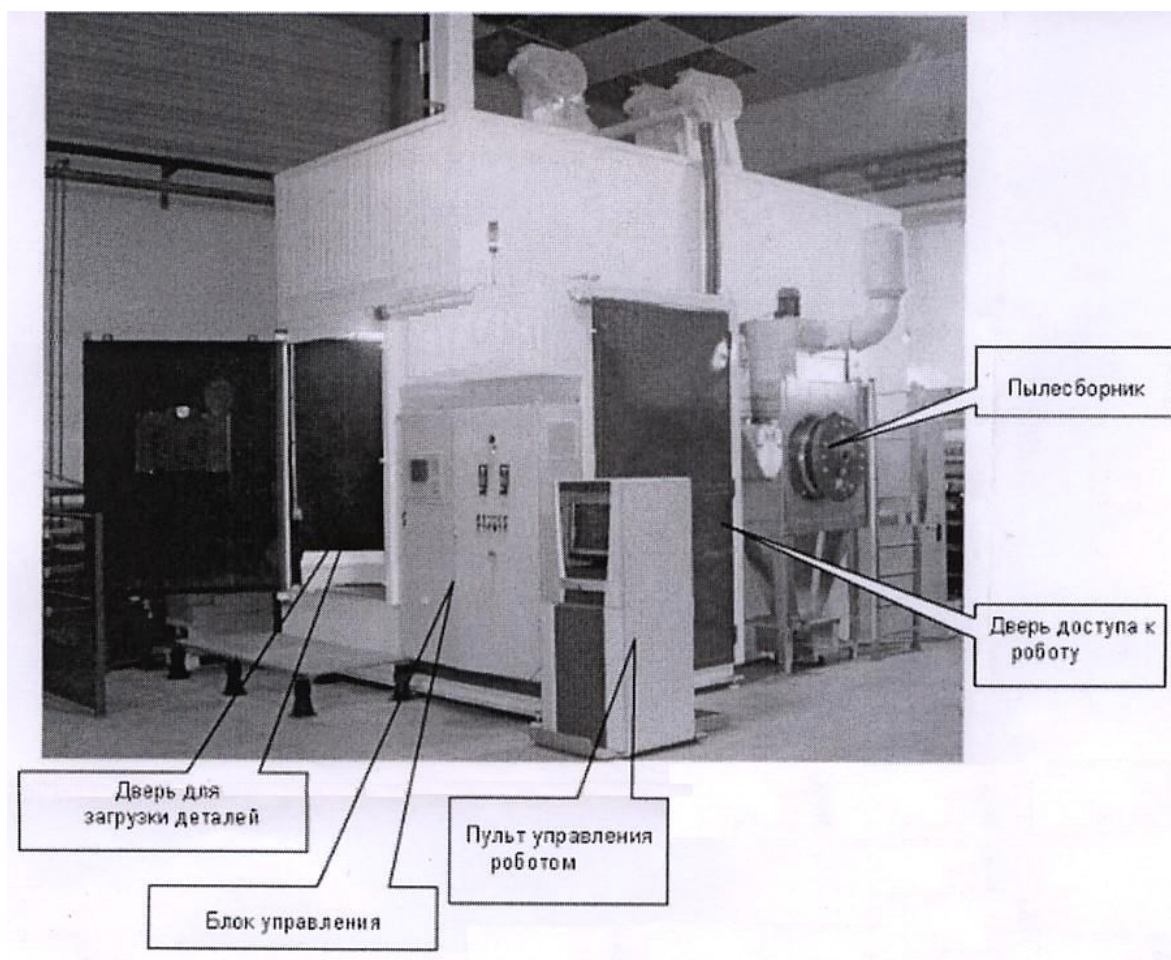


Рис. 24. Автоматическая струйная камера



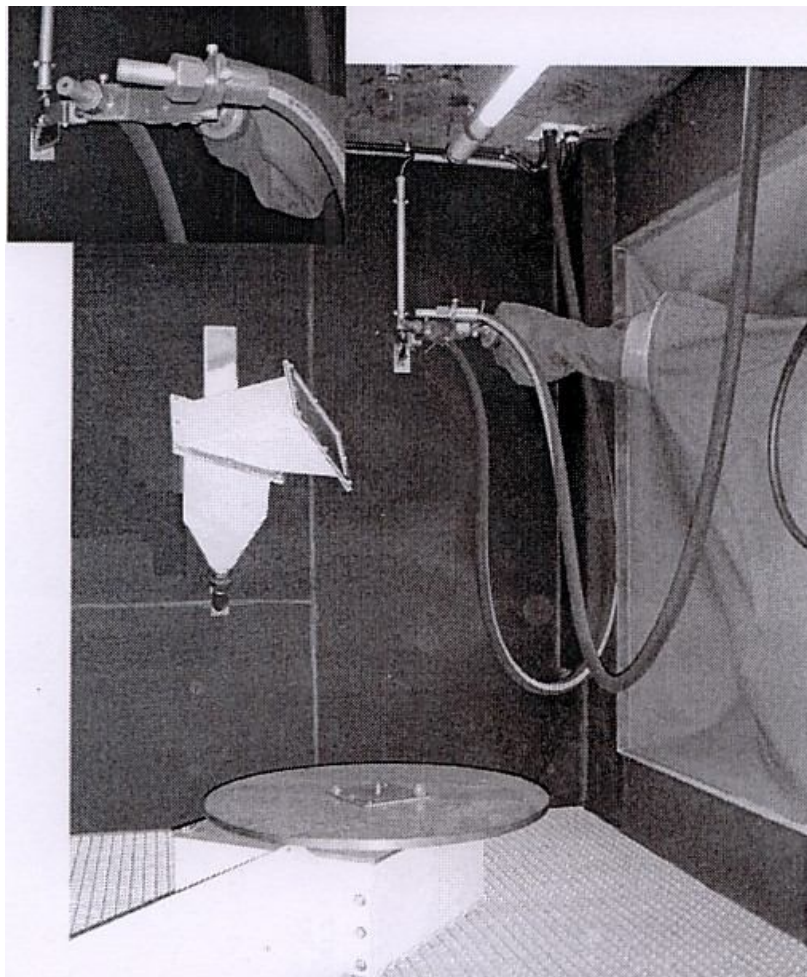


Рис. 25. Рабочая зона автоматической струйной камеры

#### 1.4. ДРОБЕМЕТНАЯ ОБРАБОТКА

Дробемётная обработка похожа на дробеструйную обработку, но в этом случае используется другой способ разгона рабочей среды. Дробь разгоняется дробемётными крыльчатками под действием центробежной силы.

В качестве рабочей среды в таких установках применяется только сухая дробь, т. к. использование абразивных материалов приведёт к быстрому износу крыльчаток.

Все дробемётные установки являются автоматическими. Их целесообразно применять для снятия окалины или скругления острых кромок на небольших, простой формы деталях.

На рис. 26 и 27 показаны наиболее часто встречающиеся компоновки дробемётных установок, которые используются для автоматизации слесарных операций.

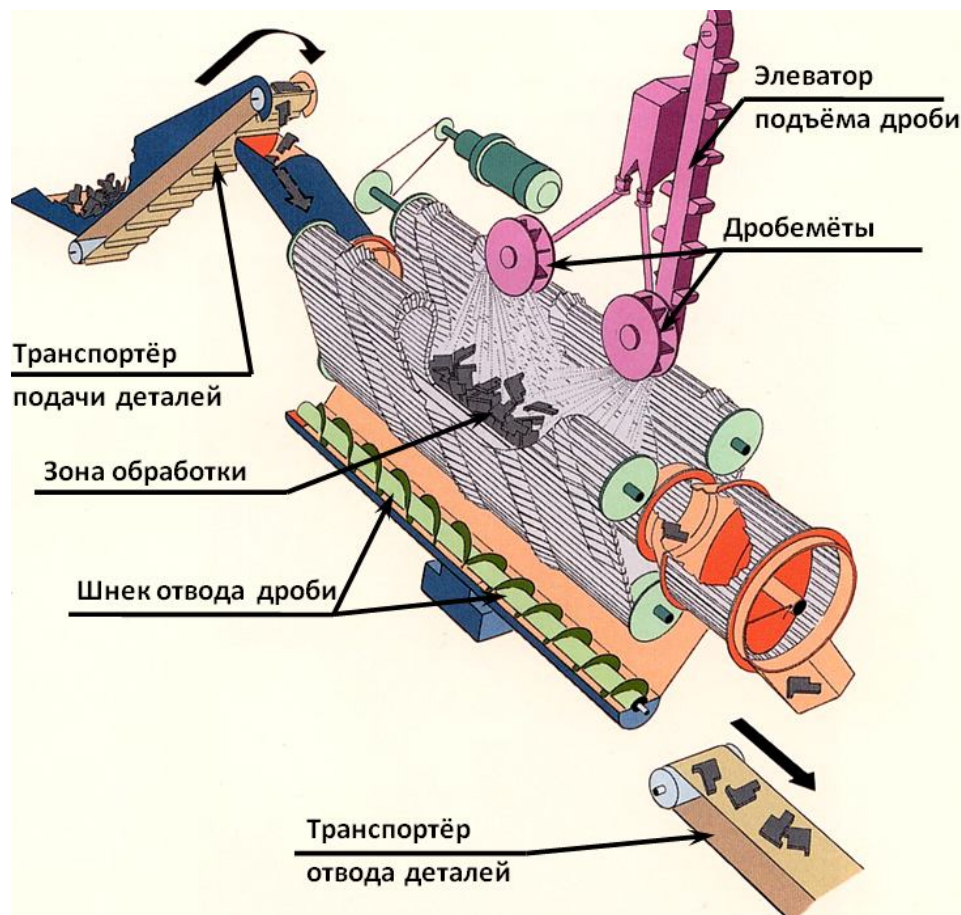


Рис. 26. Схема проходной дробемётной установки для снятия окалины и заусенцев



Рис. 27. Схема непроходной дробемётной установки для снятия окалины и заусенцев

На рис. 28 приведена дробемётная установка, предназначенная для обработки крупногабаритных деталей. Такую установку целесообразно изготавливать или покупать при наличии большого объема слесарных ра-



бот при производстве крупногабаритных деталей и серийном их изготовлении.



Рис. 28. Дробемётная установка для обработки крупногабаритных деталей

## 1.5. ТУРБОАБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА

Способ турбоабразивной обработки основан на использовании техники псевдооживления сыпучих материалов и заключается в создании абразивного кипящего (псевдооживленного) слоя, в который помещают обрабатываемую деталь, задавая, в зависимости от её формы, различные виды движения. На рис. 29 представлена принципиальная схема турбоабразивной обработки.



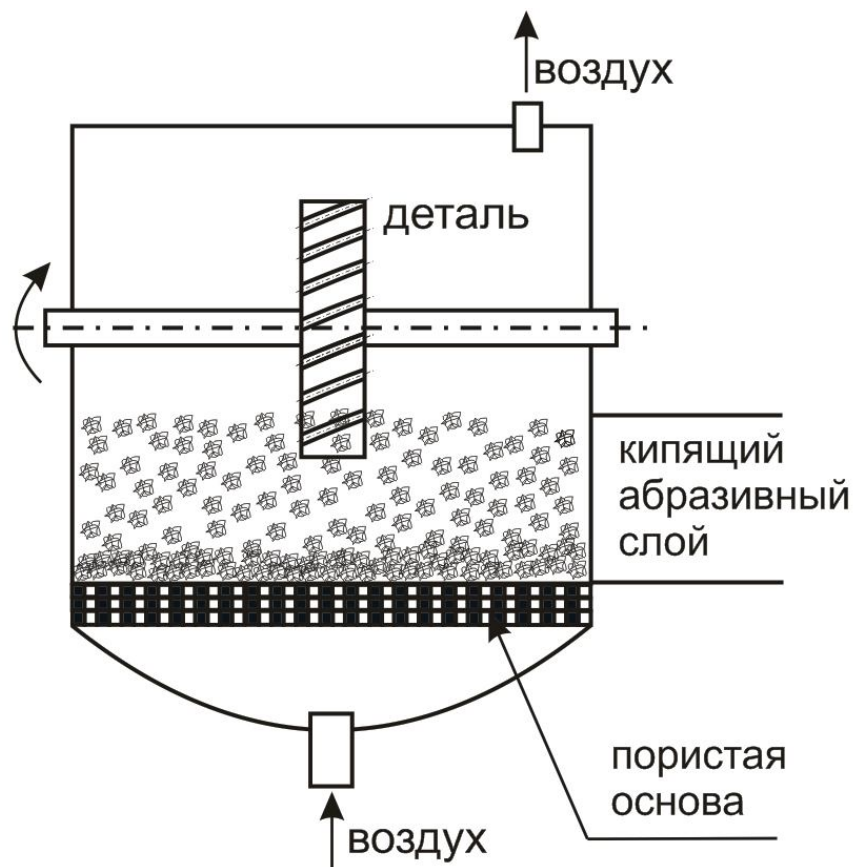


Рис. 29. Схема турбоабразивной установки

Кипящий слой абразива создаётся следующим образом: в ёмкость цилиндрической или прямоугольной формы, дном которой служит специальная газораспределительная решетка, насыпают слой абразивного зерна, затем через распределительную решетку подают снизу вверх поток воздуха. При увеличении скорости воздушного потока частицы начинают совершать пульсационные перемещения в вертикальном и горизонтальном направлениях, интенсивно перемешиваясь вследствие турбулентности воздушного потока. При столкновении частицы получают вращение, которое является причиной возникновения поперечной силы, перемещающей зерно перпендикулярно направлению воздушного потока и являющейся источником хаотического движения частиц в кипящем слое. Критическая скорость псевдоожижения, при которой слой переходит во взвешенное состояние, является важной характеристикой кипящего слоя. В такой кипящий слой абразивных зёрен можно поместить деталь любой конфигурации и при соударении зёрен с поверхностью детали съём металла будет происходить путём микрорезания или усталостного разрушения. Малые скорости зёрен в кипящем слое (примерно  $0,1 - 1$  м/с) и малые силы соударения обуславливают низкотемпературный характер процесса, а большое число соударений зёрен с каждым участком поверхности детали – получение однородного микрорельефа поверхности. Однако при не-

подвижной детали, погруженной в кипящий слой, производительность обработки весьма мала и такой процесс экономически неэффективен.

Значительное повышение производительности достигается путём сообщения детали вращательного или колебательного движения, причем колебательное движение менее эффективно, т. к. его скорость ограничена инерционными силами (15 – 20 м/мин).

Основными факторами, влияющими на производительность турбоабразивной обработки, являются скорость вращения детали, скорость воздушного потока, вид и зернистость абразивной среды, механические свойства материала детали. Обработанная поверхность после турбоабразивной обработки имеет кратерообразный микрорельеф, состоящий из большого количества коротких царапин, которые создают матовую поверхность.

Поскольку достаточно жёсткого, имеющего определённую форму, инструмента при турбоабразивной обработке нет, то точность размеров и формы деталей не может быть повышена направленным образом. Однако, учитывая сравнительно малые размеры снимаемых слоёв металла, можно предположить (и эксперименты это подтверждают), что существенных точностных погрешностей при этом виде обработки не возникает. Следует иметь в виду обязательное скругление острых кромок детали при турбоабразивной обработке, что в ряде случаев может рассматриваться как положительный фактор.

Особенности турбоабразивной обработки – выполняется обработка одной или нескольких деталей, необходимо закреплять и вращать детали, обрабатываются детали небольших размеров, необходимо предотвращать унос в атмосферу абразивных частиц.

## 1.6. ОБРАБОТКА СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ, УПЛОТНЁННЫМ ИНЕРЦИОННЫМИ СИЛАМИ

Метод обработки свободным абразивом, уплотнённым инерционными силами, представляет собой процесс, в котором обработка происходит в результате контактного взаимодействия обрабатываемой поверхности с уплотнённым под действием инерционных сил слоем свободного абразива при их относительном перемещении.

На рис. 30 показана схема процесса обработки деталей свободным абразивом, уплотнённым инерционными силами.

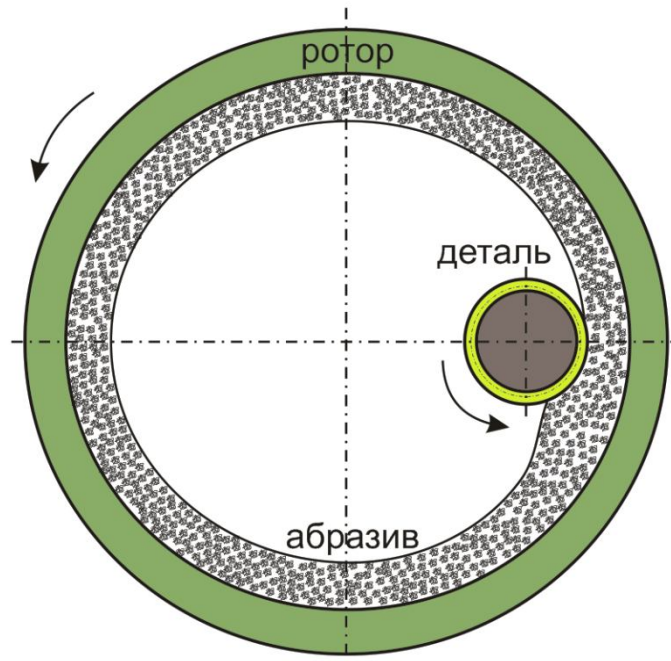


Рис. 30. Схема обработки свободным абразивом уплотнённым инерционными силами

Как показано на рисунке, свободный абразив уплотняется во вращающемся барабане. Под действием инерционных сил абразивная суспензия прижимается к внутренней поверхности барабана, и образует кольцо, которое в установившемся режиме будет синхронно вращаться вместе с барабаном. Такое кольцо сохраняет форму при вращении, а степень уплотнения частиц будет определяться угловой скоростью вращения барабана. При этом межзёрненное пространство в уплотнённом абразивном кольце будет заполнено жидкостью суспензии.

Поскольку твёрдые частицы уплотнённого вращающегося слоя абразива обладают кинетической энергией, то при введении в этот слой детали, её поверхность будет испытывать динамическое воздействие массы абразивных частиц. При ударе о поверхность и скольжении по ней абразивные частицы будут снимать мельчайшие частицы металла и производить обработку поверхности. Если деталь с наружной поверхностью вращения, то для обеспечения нормальной обработки всей поверхности, детали необходимо сообщать вращение вокруг собственной оси.

Уплотнённый абразивный слой обладает определённой упругостью (податливостью) и плотно облегает поверхность, погруженной в него детали, точно копируя форму её профиля. При этом обеспечивается практически однородное давление на все участки профильной поверхности и происходит их одновременная обработка. При обработке внутренних поверхностей вращения, оказалось возможным производить формирование уплотнённого абразивного слоя внутри полости детали.

Весьма перспективным является решение проблемы для обработки как внутренних, так и наружных поверхностей деталей одновременно. Сложнопрофильные поверхности плоских деталей могут обрабатываться данным методом, если направить суспензию с уплотнённым слоем свободного абразива на обрабатываемую поверхность.

Данный метод обеспечивает органическое сочетание процесса обработки, смазки и охлаждения, осуществляющихся одновременно и неразрывно. Технологическая жидкость находится в зоне обработки под постоянным центробежным давлением, что обеспечивает эффективное проникновение её во все микропоры и микротрещины в поверхностях обрабатываемых деталей. Возможность циркуляции технологической жидкости обеспечивает эффективный отвод тепла и делает процесс обработки низкотемпературным.

Метод обеспечивает возможность регулирования в больших пределах процесса абразивного воздействия на обрабатываемую поверхность за счёт изменения режимов обработки.

По своим качественным характеристикам метод относится к тонким «безразмерным» методам финишной обработки деталей, а наиболее эффективное применение находит при окончательной обработке сложнопрофильных поверхностей деталей.

Основными технологическими факторами, влияющими на результаты процесса обработки, является скорость вращения системы и контейнера, продолжительность обработки, зернистость абразива и наличие дополнительных осциллирующих движений детали.

Особенности обработки свободным абразивом, уплотненным инерционными силами: обработка одной или нескольких деталей, необходимость закрепления и вращения детали, обработка в основном тел вращения, малая интенсивность обработки, необходимость герметизации устройства, обработка деталей небольших размеров.

## 1.7. ТЕРМОИМПУЛЬСНОЕ СНЯТИЕ ЗАУСЕНЦЕВ

Первые сведения о термоэнергетическом методе снятия заусенцев появились в 1980 г. Сущность процесса заключается в том, что подлежащие обработке детали помещаются в герметично закрываемую камеру, куда подаётся смесь кислорода и природного газа или смесь других продуктов горения, таких как кислород и водород и т. п. Подаваемая в камеру смесь воспламеняется и происходит экзотермическая реакция с темпера-

турой в камере 350 – 400 °С. Принципиальная схема работы такой установки показана на рис. 31.

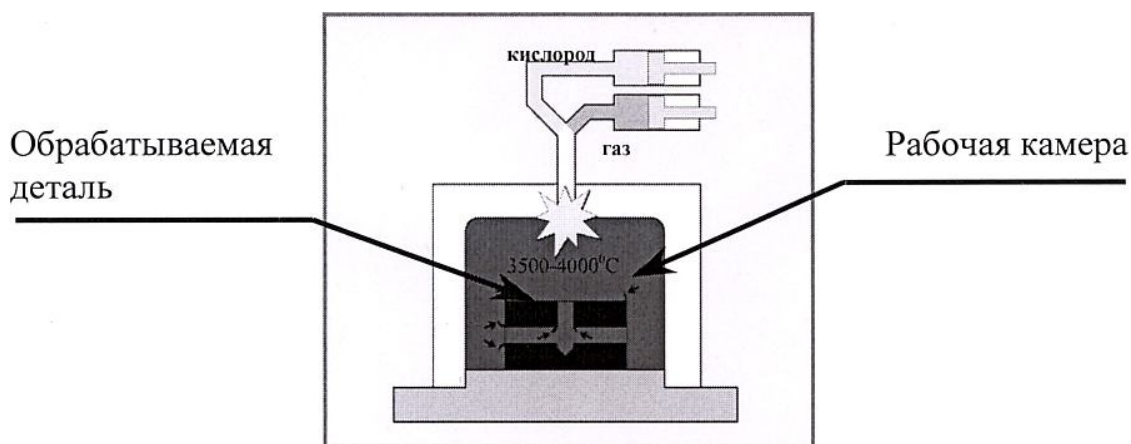


Рис. 31. Принципиальная схема работы установки для термоимпульсного удаления заусенцев

Выделившаяся при этом тепловая энергия воспринимается стенками камеры, поверхностями детали и кромками с заусенцами. Процесс сгорания заусенцев, которые, обладая малой массой, сгорают в избытке кислорода, показан на рис. 32. В качестве примера на рис. 33 показана схема и внешний вид современной термоимпульсной установки.

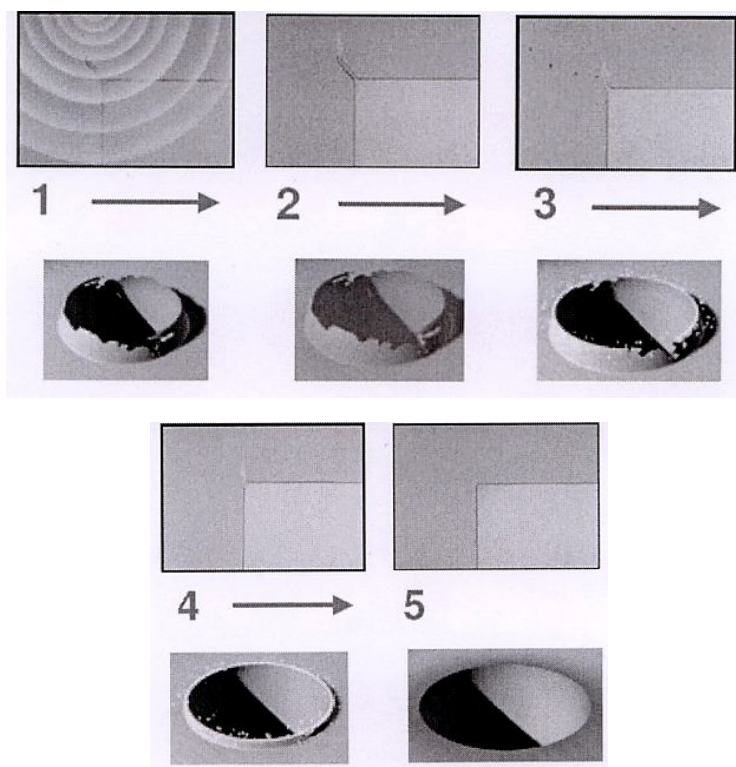


Рис. 32. Фазы процесса термоимпульсной обработки:

- 1 – заполнение рабочей камеры газовой смесью;
- 2 – воспламенение газовой смеси; 3 – сгорание заусенцев;
- 4 – обгорание острой кромки; 5 – окончание термоимпульсной обработки



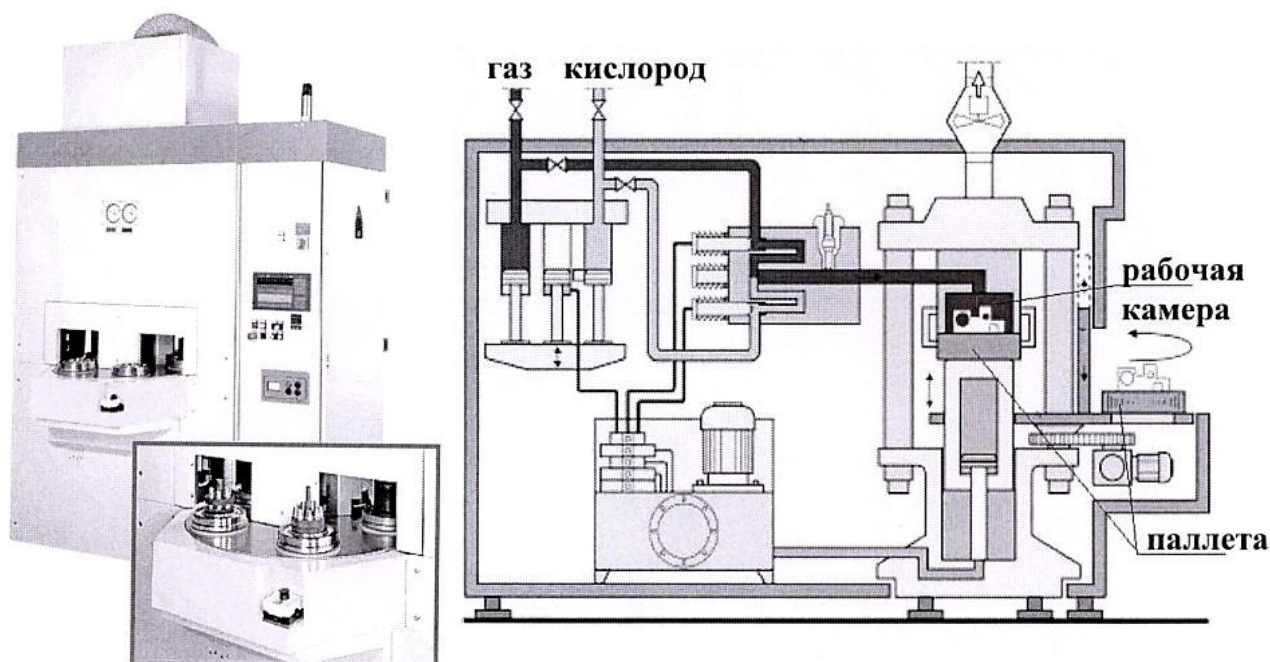


Рис. 33. Схема и внешний вид современной термоимпульсной установки

На некоторых деталях, например контровка турбинных лопаток при исследовании поверхностного слоя в зоне термоэнергетического удаления заусенцев, обнаружена изменённая зона глубиной 0,15 мм. На других деталях в зоне притуплённых кромок после снятия заусенцев термоэнергетическим методом наблюдается местная закалка металла. Почти все детали покрываются бурыми пятнами в виде окалины, копоти газов и осевших паров сгораемых газов.

Детали из титановых сплавов не обрабатываются, т. к. у них сгорают не только заусенцы, но и оплавляются кромки.

На всех предприятиях, имеющих термоэнергетические установки, имеются специальные гальванические линии, где детали освещаются в растворах кислот, щелочей и промываются тёплой и холодной водой.

Положительным моментом данного метода является его высокая производительность, отсутствие специальной оснастки и инструмента, возможность обработки деталей любой сложной формы. Отрицательным моментом является наличие специального гальванического участка для осветления деталей.

Целесообразно применять этот метод автоматизации снятия заусенцев при крупносерийном и массовом производстве или при большой номенклатуре деталей изготавливаемых из одного и того же материала, или из материалов с близкими физическими характеристиками.

## 1.8. ЭКСТРУЗИОННОЕ ШЛИФОВАНИЕ

Первые сведения об экструзионном методе снятия заусенцев появились в 1960 г., а до этого времени применялись исключительно твёрдые абразивные материалы. В 1961 г. в США появились первые гидроабразивы в виде эмульсий и в виде абразивной пасты. Непрерывно продолжавшиеся исследовательские работы дали огромное количество самых разнообразных составов, в настоящее время гидроабразивы стали самым распространённым полирующим материалом.

Абразивные массы (пасты) нашли применение и получили распространение в новом способе финишной обработки, заключающемся в перепрессовании абразивной пасты в разных направлениях вдоль внутренних и наружных обрабатываемых поверхностей и граней. Этот способ получил несколько названий в ФРГ и в США: жидкостное хонингование под давлением (Extruder-Honen), процесс обработки динамическим обтеканием абразивной пасты (Dyafflow-Process), процесс абразивной отделки. На рис. 34 показана принципиальная схема экструзионной обработки и пример современной её реализации.

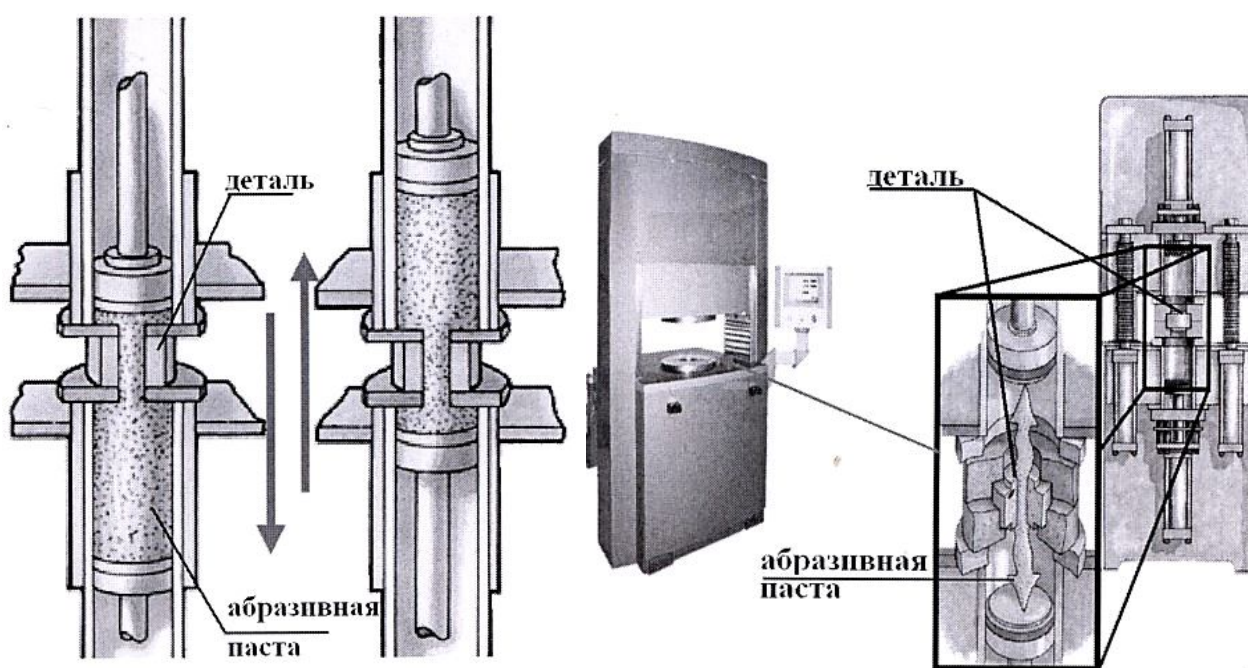


Рис. 34. Схема экструзионной обработки и современная её реализация

Эффективность этого способа зависит от физико-механических свойств пасты и зернистости абразива, от вязкости абразивной пасты, а также от технических характеристик оборудования и рабочих вспомогательных приспособлений.

Указанный метод применяется для широкой номенклатуры деталей, начиная с очень сложных, для которых эффективное шлифование другими методами почти невозможно, и кончая деталями массового производства, которые должны быть обработаны при очень высокой производительности в пределах жёстких допусков. При этом достигается шероховатость поверхности  $Ra = 0,16 \dots 0,08$  и точность обработки  $\pm 0,005$  мм. На рис. 35 приведены примеры деталей, обработанных методом экструзионной обработки.

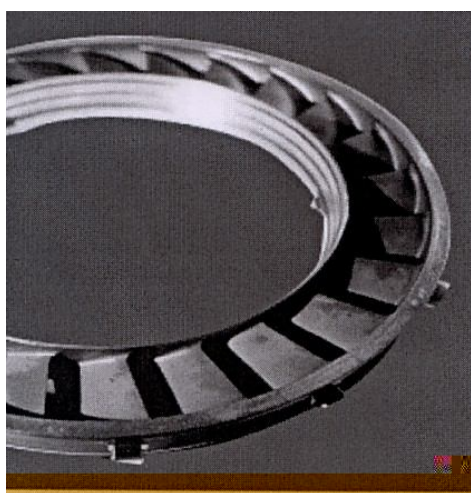
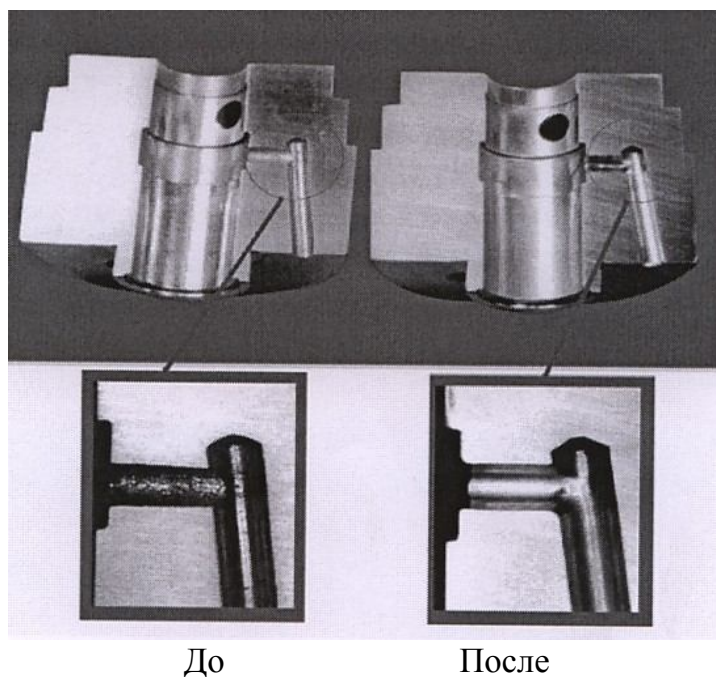


Рис. 35. Примеры деталей обработанных методом экструзионной обработки



## 2. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И СОВМЕЩЕННЫЕ МЕТОДЫ СНЯТИЯ ЗАУСЕНЕЦ И СКРУГЛЕНИЯ ОСТРЫХ КРОМОК ДЕТАЛЕЙ

### 2.1. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Основой успешного применения метода электрохимической обработки для механизации трудоемких операций по удалению заусенцев и скруглению острых кромок является особое свойство анодного растворения металлов, позволяющее производить обработку на гарантированном меняющемся зазоре без износа инструмента (катода) с локальной повышенной скоростью растворения наиболее выступающих участков поверхностей и концентрацией силовых линий электрического поля на заостренных участках, приводящее к закруглению острых кромок.

Процесс электрохимической обработки по производительности определяется законами электрического растворения.

1. Количество растворяемого на аноде материала пропорционально пропущенному через раствор электролита количеству электричества.

2. При пропускании одинакового количества электричества, количество растворенного материала пропорционально химическому (электрохимическому) эквиваленту  $C_V$ .

Закон анодного растворения может быть записан в следующем виде:

$$Q = \eta \cdot C_V \cdot J \cdot t,$$

где  $Q$  – общее количество растворенного материала, г или мм<sup>3</sup>;  $\eta$  – коэффициент выхода по току;  $C_V$  – электрический эквивалент обрабатываемого материала;  $J$  – сила протекающего через обрабатываемый участок тока, А;  $t$  – время протекания тока, мин.

Электрический эквивалент  $C_V$  – это величина растворенного материала в граммах или мм<sup>3</sup> при пропускании 1 А электричества в течение определенного промежутка времени, задается в  $\frac{\text{г}}{\text{А час}}$  или  $\frac{\text{мм}^3}{\text{А мин}}$ . Наиболее удобной для дальнейших технологических расчетов является величина объемного электрического эквивалента в  $\frac{\text{мм}^3}{\text{А мин}}$ , т. к. с её помощью,

используя величину плотности тока  $j$ , равную величине силы тока, отне-

сенной к единице площади ( $j = J / S$ ),  $\frac{A}{\text{мм}^2}$ , находят линейную скорость анодного растворения.

$$v_{\text{ЭХО}} = \eta \cdot C_V \cdot j, \text{ мм/мин.}$$

Средняя плотность тока  $j$ , которая определяется по общему протекающему току и общей действующей площади, не характеризует локальную скорость растворения выступающих частей (заусенцев). Из параметров процесса определяют местную (локальную) плотность тока по формуле:

$$j_i = \frac{U}{\rho \cdot a}, \frac{A}{\text{мм}^2},$$

где  $U$  – устанавливаемое рабочее напряжение, Вт;  $\rho$  – удельное сопротивление электролита, Ом/мм;  $a$  – местный рабочий зазор, мм.

По данной плотности тока рассчитывается скорость анодного растворения и при подвижном электроде (катоде) – скорость его движения, т. е. скорость рабочей подачи.

При снятии заусенцев и скруглении острых кромок процесс электрохимической обработки протекает при неподвижном электроде на установленном начальном зазоре  $a$ , который увеличивается до максимального в конце обработки. Это существенно затрудняет теоретическую оценку скорости растворения поверхности и время обработки, которое, как правило, определяется экспериментально.

Для непрерывного протекания процесса активного растворения материала на поверхности и исключения пассивации при полном прекращении процесса необходимо через межэлектродный промежуток прокачивать электролит под давлением с определенной номинальной скоростью для обеспечения процесса распассивации обрабатываемой поверхности и уноса гидроокисей обрабатываемых материалов и образующихся газов (водорода и кислорода).

Шлак, образующийся при ЭХО, представляет собой соединения в виде гидроокисей  $\text{Me}(\text{OH})_n$  различных металлов, входящих в состав обрабатываемых материалов, которые нерастворимы в воде и выпадают в виде осадка. Теоретически состав электролита не меняется, происходит только электролиз воды с выделением водорода и кислорода. Так как водород образует взрывоопасную смесь при определенных концентрациях, то необходимо знать его количественное выделение при проведении конкретных

операций с применением процесса электрохимической обработки. Расчет выполняется по формуле:

$$V_0 = C_V \cdot J \cdot t, \text{ л/мин},$$

где  $V_0$  – объем выделяемого водорода в литрах при температуре  $0^\circ\text{C}$ ;  $C_V$  – электрохимический эквивалент водорода,  $C_V = 0,007 \text{ л/А мин}$ ;  $J$  – протекающий ток, А;  $t$  – время обработки, мин.

Объем выделяющегося водорода при реальной температуре электролита ( $t^\circ\text{C}$ ) находят по формуле:

$$V_t = V_0 \frac{273 + t}{273}, \text{ л/мин}.$$

Соединение водорода с воздухом при определенных концентрациях взрывоопасно и, в зависимости от возможности его накопления в ограниченных пространствах, необходимо применять отсосную вентиляцию достаточной мощности. Обрабатываемость разных материалов зависит от электрохимических эквивалентов входящих в их состав элементов.

Табличные значения электрических эквивалентов элементов приводятся в справочных пособиях, и по ним рассчитываются суммарные эквиваленты сплавов. В табл. 1 приводятся ориентировочные значения электрохимических эквивалентов некоторых классов обрабатываемых материалов.

Таблица 1

Обрабатываемый материал	Весовой, $\frac{\text{г}}{\text{А час}}$	Объемный, $\frac{\text{мм}^3}{\text{А мин}}$
Штамповые стали	0,8 – 1	1,67 – 2,08
Марганцовистые стали	0,6 – 0,7	1,34 – 1,50
Жаропрочные сплавы	0,7 – 1	1,5 – 2,08
Сплавы титана	0,5 – 0,6	1,67 – 1,83
Твердые сплавы	0,5 – 0,7	0,50 – 0,67

Устройство для механизации снятия заусенец и скругления острых кромок с применением процесса ЭХО представляет собой специальную установку, включающую следующие элементы:

– рабочее приспособление для установки конкретной детали с обеспечением рабочих начальных зазоров между катодом приспособления и участками обрабатываемых поверхностей, подводом электролита с герме-

тизацией поверхностей, изоляцией необрабатываемых поверхностей с подсоединением минусового и плюсового проводов;

- устройство для прокачки под давлением и сбора электролита;
- источник технологического постоянного тока, обеспечивающий регулирование напряжения 10 – 30 В и силу тока в зависимости от площади контакта и мощности тока, количества одновременно обрабатываемых деталей и т. д.;

- вытяжное вентиляционное устройство.

В качестве электролитов при обработке применяют растворы нейтральных солей концентрацией 10 – 20 %. Чаще всего используется электролит на основе поваренной соли  $\text{NaCl}$ , азотнокислого калия и натрия  $\text{KNO}_3$  с активизирующими  $\text{NaF}$  и антикоррозионными добавками  $\text{NaNO}_2$ .

Удельное сопротивление раствора  $\text{NaCl}$  составляет величину  $60 \text{ Ом} \cdot \text{мм}$ , 15 %-го раствора  $\text{KNO}_3$  –  $100 \text{ Ом} \cdot \text{мм}$ .

## 2.2. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СНЯТИЯ ЗАУСЕНЕЦ И СКРУГЛЕНИЯ ОСТРЫХ КРОМОК НА ПОВЕРХНОСТЯХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Наиболее эффективным является применение электрохимического метода для обработки внутренних полостей и труднодоступных мест различных деталей, например на пересечении отверстий, где другие методы или неприменимы, или их применение связано с повышенной трудоемкостью без гарантии качества.

На рис. 36 приведена схема удаления заусенца в любом, в том числе,

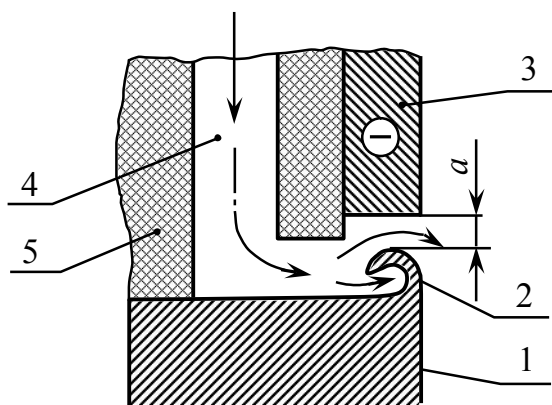


Рис. 36. Принципиальная схема удаления заусенца

труднодоступном месте. Около предполагаемого места удаления материала (заусенец или острая кромка) располагается изолированный с помощью изоляционных покрытий 5 катод 3 необходимой формы, составляющей через рабочий зазор, заполненный протекающим электролитом, с обрабатываемой деталью, являющуюся анодом, электрическую ячейку со своими начальными и устанавливающимися в процессе обра-

ботки параметрами. При наличии крупных заусенцев начальный зазор  $a$  должен гарантировать отсутствие касания катода и анода, которое может вызвать повреждение катода.

Увеличение рабочего зазора и уменьшение плотности тока в процессе обработки может повлиять, в зависимости от обрабатываемого материала, на качество закругляемых поверхностей. В отдельных случаях может быть предусмотрена корректировка рабочего зазора до оптимального за счет дозированного перемещения катода в конце обработки.

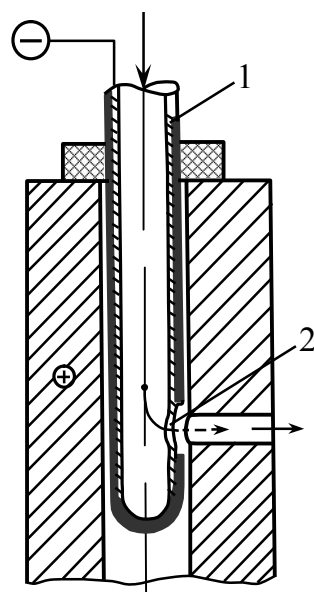


Рис. 37. Схема обработки кромок двух пересекающихся отверстий

На рис. 37 приведена схема скругления острых кромок пересекающихся отверстий в труднодоступном месте. Электрод 1, выполненный в виде трубки с завальцованным концом, покрытым изоляционным составом, вводится в одно из перекрещивающихся отверстий с координированным положением оголенной части 2 электрода (катода), обеспечивающим поток электролита и электрохимическое растворение кромок пересекаемого отверстия. Полнота обработки острых кромок регулируется только временем протекания электрического тока.

На рис. 38 приведена схема снятия заусенцев и скругления острых кромок одновременно нескольких отверстий пересекающихся с основным магистральным отверстием. Изолированный электрод в местах обработки освобожден от изоляционного покрытия.

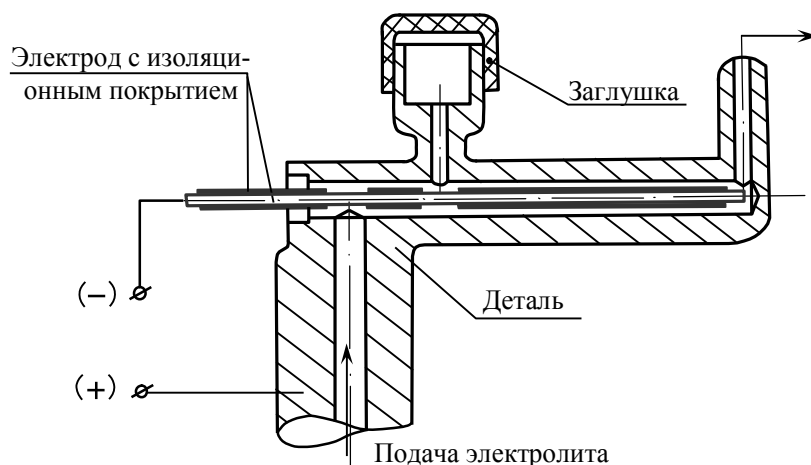


Рис. 38. Схема снятия заусенцев и скругления острых кромок

Закругление острых кромок производится при следующем режиме:

- рабочее напряжение  $U = 10 \text{ В}$ ;
- рабочий ток  $J = 20 \dots 25 \text{ А}$ ;
- электролит  $10 - 11 \% \text{ р-р } \text{NaNO}_3$ ;
- время обработки  $1 - 1,5 \text{ мин.}$

Обработка поверхностей в закрытых полостях деталей чаще всего производится с установкой деталей в специальные приспособления. В случае, представленном на рис. 38, возможна обработка с применением переносной установки с ручным приспособлением в виде пистолета с электродом, настроенным по длинным размерам согласно расположению обрабатываемых отверстий и подключенным к минусовому проводу источника питания. На рис. 39 приведен подобный пистолет.



Рис. 39. Ручное устройство (пистолет) для снятия заусенцев и скругления острых кромок в труднодоступных местах

Обработка внутренних пересечений отверстий производится в следующей последовательности: электрод пистолета вводится в отверстие до упора, нажатием курка включается подача электролита и рабочего напряжения. Во включенном положении электрод удерживается в отверстии на протяжении установленного времени ( $1 - 1,5 \text{ мин.}$ ).

Закругление острых кромок труднодоступных отверстий с применением специальных приспособлений возможно по следующим схемам:

- центрирование и крепление детали производится на неподвижной части приспособления с встроенными электродами;
- при скоординированной однократной установке детали обрабатываются все отверстия, расположенные по окружности детали.

На рис. 40 приведена схема обработки шести отверстий диаметром 2 мм на детали «Насадок задний» ГТД. Деталь устанавливается на пластину – токоподвод 6, базируется по поверхностям изолированного электро-

додержателя 4, ориентируется по фиксатору 5 и прижимается прижимом 7 с изолирующей прокладкой. Обработка при напряжении  $U = 13 \dots 15$  В и рабочем токе 50 – 60 А производится в течение 30 – 40 с с подачей раствора электролита (18 – 20 % раствор  $\text{NaNO}_3$ ) под давлением 0,1 – 0,2 мПа.

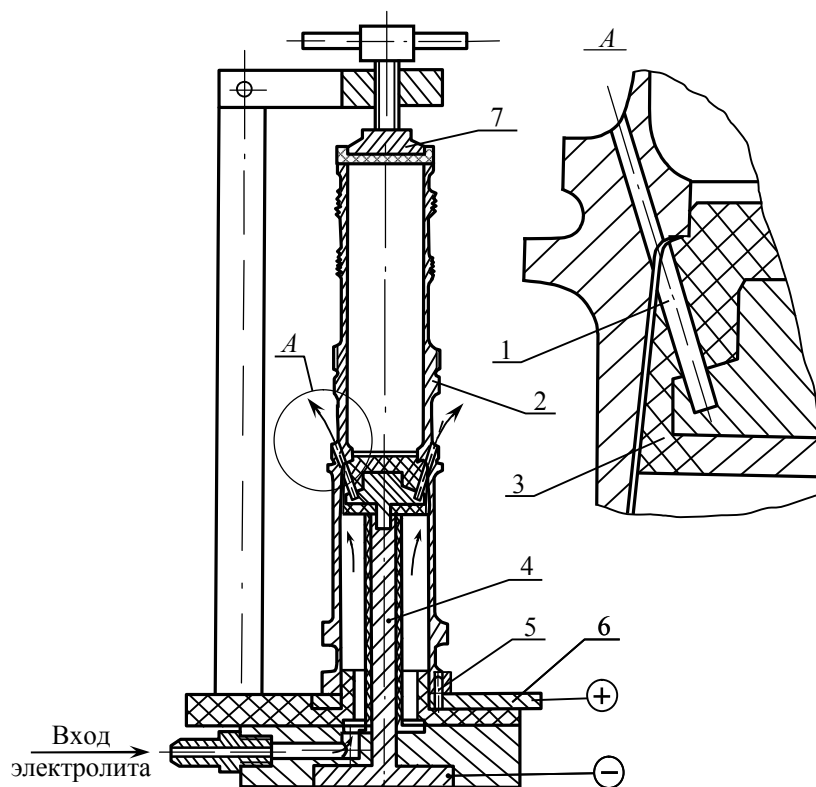


Рис. 40. Схема скругления шести отверстий диаметром 2 мм и общий вид приспособления: 1 – электрод; 2 – деталь; 3 – изоляция; 4 – электрододержатель; 5 – фиксатор; 6 – токоподвод; 7 – прижим

Обработка единичного отверстия производится подвижным электродом, имеющим канал для одновременного подвода электролита с центрированием по обрабатываемому отверстию. Периодическое деление при большом количестве отверстий обеспечивается делительным устройством с последующим закреплением детали.

На рис. 41 представлена схема скругления острых кромок закрытых отверстий у детали «Лабиринт двойной».

Обработка ряда упорядоченно расположенных отверстий, закрытых с одной стороны для прямого воздействия вращающимся инструментом, производится методом электрохимической обработки одновременно всех отверстий пластинами-электродами, покрытыми электроизоляционным слоем со вскрытыми участками против предполагаемых обрабатываемых

отверстий. Деталь закрепляется стационарно, электрод-пластина вводится в рабочую полость с совмещением вскрытых участков на электроде и обрабатываемых отверстий.

В данной схеме (рис. 42) подвод электролита производится с обратной стороны обрабатываемых отверстий посредством специальной загерметизированной камеры приспособления, что иногда представляет некоторые конструктивные затруднения.

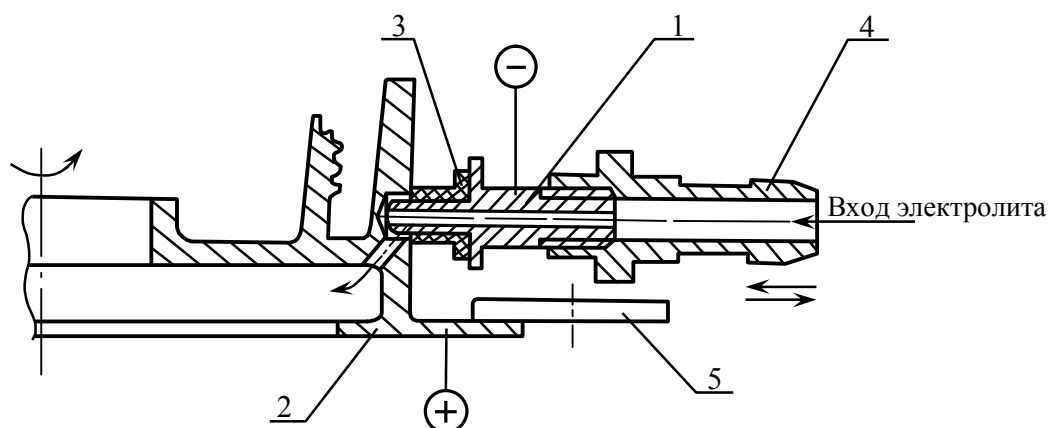


Рис. 41. Схема скругления острых кромок в месте пересечения отверстий детали «Лабиринт двойной»: 1 – электрод – инструмент; 2 – деталь; 3 – изоляционная втулка; 4 – штуцер подвода электролита; 5 – прижим детали

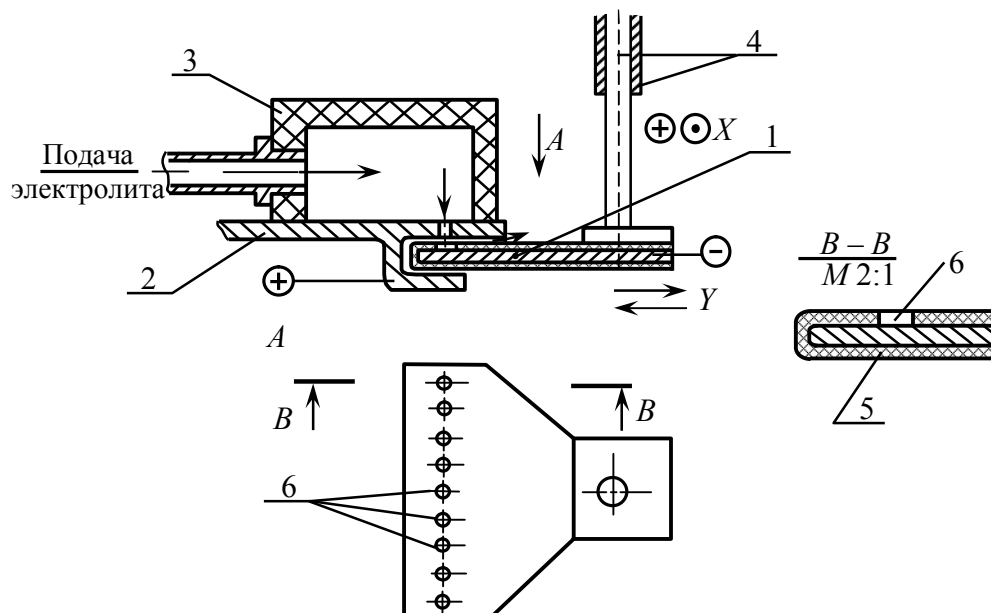


Рис. 42. Принципиальная схема скругления острых кромок закрытых отверстий, обработанных методом электрохимической обработки: 1 – электрод-инструмент; 2 – обрабатываемая заготовка; 3 – камера приспособления; 4 – шпиндель станка; 5 – изоляционное покрытие; 6 – места съема изоляционного покрытия

В ряде случаев высококачественные и эффективные скругления острых кромок единичных элементов деталей (пазов, отверстий и т. д.) дос-



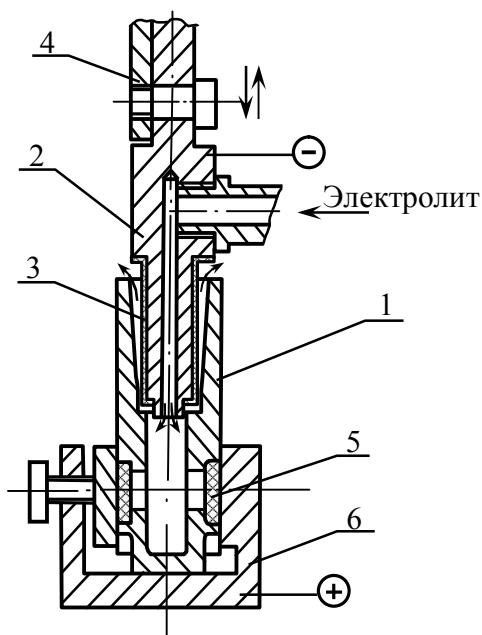


Рис. 43. Схема скругления острых кромок паза детали «Корпус»:

- 1 – обрабатываемая деталь;
- 2 – электрод-инструмент;
- 3 – изоляция; 4 – шпиндель станка;
- 5 – заглушка; 6 – приспособление

тигаются применением простых и надежных конструкций приспособлений и электродов. На рис. 43 приведена схема скругления острых кромок фрезерованных пазов детали типа «корпус». Деталь 1 устанавливается в приспособление 6 с перекрытием отверстий заглушками 5 и точным базированием. Через сменный изолированный электрод подводится электролит. Наладка операции заключается в координированной установке электрода по высоте и боковым зазорам. При обработке партии деталей требуется поднять электрод, сменить деталь и, опустив до настроенного по высоте размера, включить электролит и рабочий ток на установленное по таймеру время.

Эффективным является скругление острых кромок в окнах цилиндра двухтактного двигателя. На рис. 44 представлена схема приспособления для выполнения этой операции.

Цилиндр 1 устанавливается с базированием по изоляционной капролоновой втулке 4 на металлическую пластину-токоподвод 5 с поджимом втулкой 6. Установка детали производится с ориентацией окна в цилиндре по грибковому электроду (катоде) 3.

Обработка производится на следующем режиме:

рабочее напряжение	$U = 14 \dots 16 \text{ В};$
рабочий ток	$J \approx 250 \text{ А};$
электролит	16 – 18 % раствор $\text{NaNO}_3$ ;
межэлектродный зазор	$a = 0,3 \dots 0,5 \text{ мм};$
давление электролита	$p = 3 \text{ бор};$
время обработки	$t = 45 \dots 60 \text{ с}.$

Происходит равномерное качественное скругление острых кромок по всему периметру окна. После скругления кромок методом электрохимической обработки производится промывка детали в пассивирующем растворе.

На рис. 45 приведена схема приспособления для двухстороннего закругления острых кромок по отверстиям и профилю прямооточных шлиц.

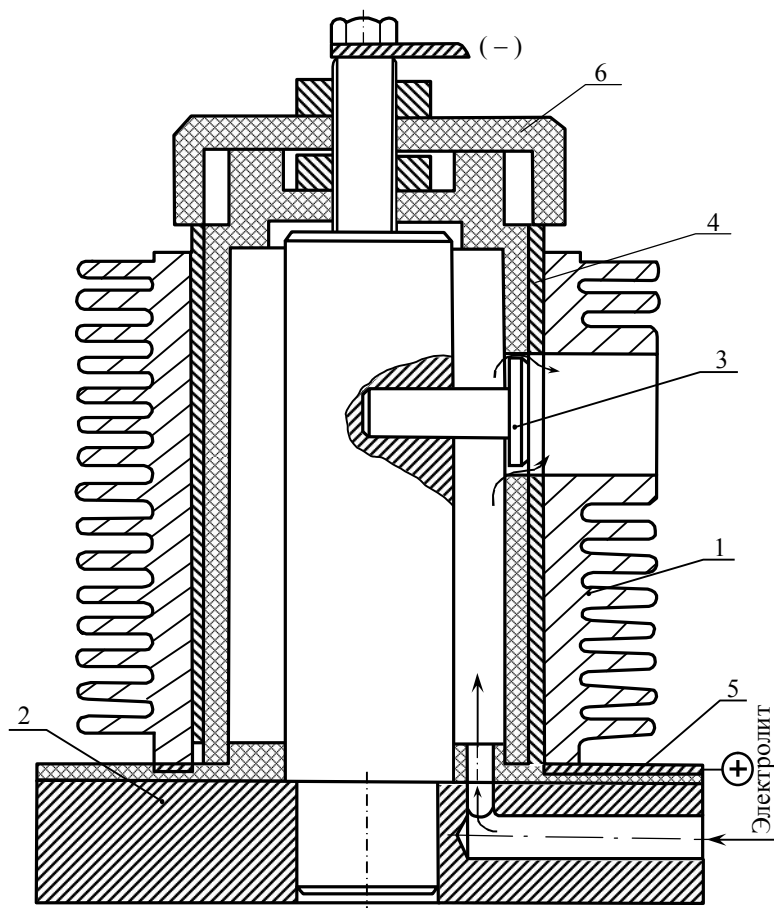


Рис. 44. Схема приспособления для электрохимического скругления радиусов в окнах цилиндра двигателя внутреннего сгорания:  
1 – деталь; 2 – основание; 3 – электрод-инструмент; 4 – капролоновый стакан;  
5 – токоподводящая пластина; 6 – прижимная шайба

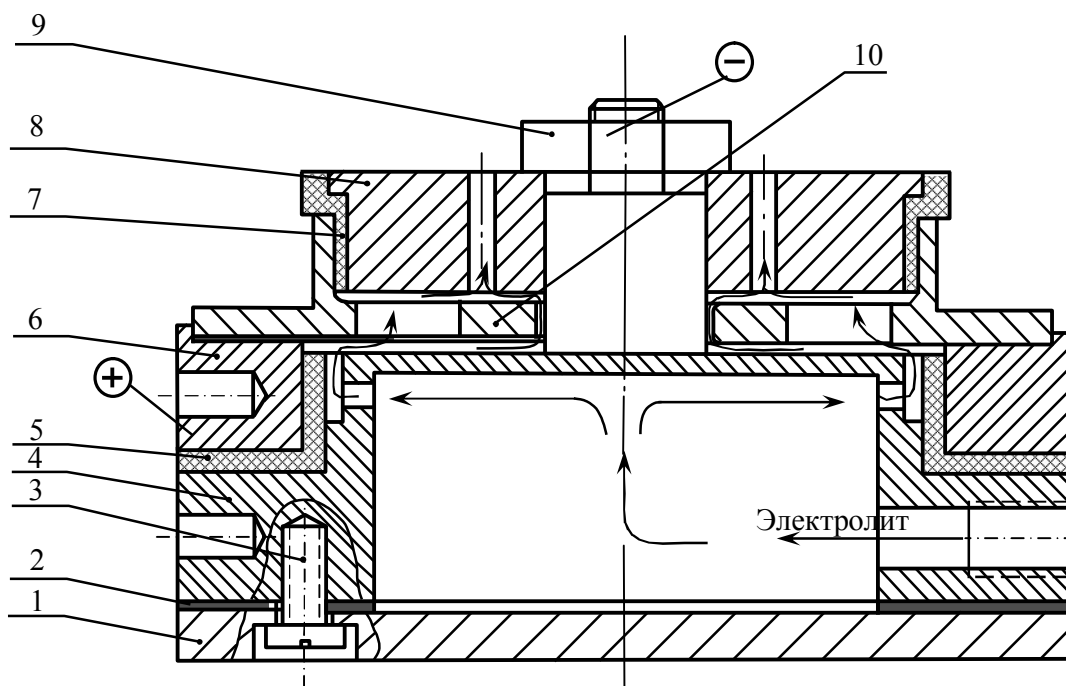


Рис. 45. Схема приспособления для двухстороннего скругления острых кромок элементов фрикционного диска с утопленным фланцем:  
1 – основание; 2 – прокладка; 3 – винт; 4 – электрод-катод;  
5 – изоляционная втулка; 6 – кольцо токопроводящее; 7 – изоляционная втулка;  
8 – электрод-анод; 9 – гайка; 10 – обрабатываемая деталь (заготовка)

Заготовка 10 устанавливается на токоподводящее основание 6, находящееся под плюсовым полюсом, изолированным от остальной части приспособления. Основание 4 и прижимная шайба 8 с выходными отверстиями для электролита подключены к минусовому полюсу.

Режим обработки:

рабочее напряжение	$U = 10 \text{ В};$
рабочий ток	$J \approx 600 \text{ А};$
электролит	25 % раствор $\text{NaNO}_3$ ;
время обработки	$t = 1,5 \text{ мин.}$

После электрохимической обработки деталь нейтрализуется в ванне с 3 – 5 % раствором нитрита натрия ( $\text{NaNO}_2$ ) для предотвращения коррозии.

В машиностроении существует большой ряд деталей с ровно распределенными по периферийной поверхности выступами, например, зубьями зубчатых колес, многочисленными пазами или полостями роторов и т. д. После механической обработки этих выступов требуется снять заусенцы и закруглить острые кромки полностью по всему контуру (зубчатые зацепления) или по периферийной радиусной поверхности. В этом случае могут быть применены методы электрохимической обработки по двум схемам: в приспособлении при статическом положении обрабатываемой детали и неподвижном электроде (катоде), а также при вращении обрабатываемых деталей при подводимом на настроенный зазор катоде или подвижном по мере обработки с поддержанием рабочего зазора.

На рис. 46 приведена схема закругления острых кромок и образования фасок (радиусов) на торцах зубьев конического зубчатого колеса. Обрабатываемое зубчатое колесо 9 устанавливается на базовую подставку 1, подключенную к плюсовому проводу источника питания и изолированную от электродов 3 и 6, объединенных с помощью штифтов 4 и подключенных к минусовому проводу. Заготовка закрепляется с помощью тяги 12 гайкой 10. Для исключения воздействия электрохимического процесса на профиль зуба конического колеса, он накрывается полиуретановой эластичной шайбой с внутренним венцом 5, входящим во впадины обрабатываемого колеса. На рис. 47 приведена подобная шайба.

Подвод электролита осуществляется с двух сторон приспособления, чем усложняется его конструкция, а также монтаж при установке новой детали. Обработка производится при напряжении  $U = 12 \text{ В}$  и токе  $J = 350 \text{ А}$ . Штучное время обработки одной детали 15 мин.

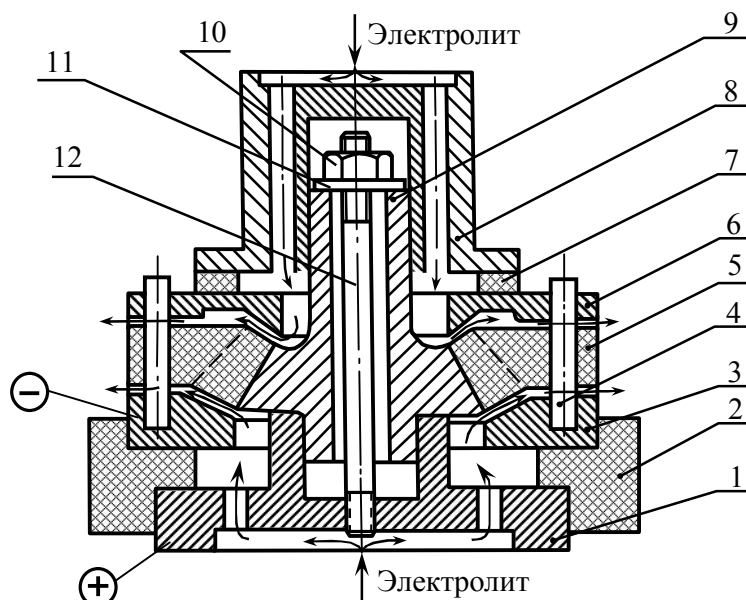


Рис. 46. Схема приспособления для закругления острых кромок по торцам зуба у конического зубчатого колеса:

1 – базисрующая подставка (анод); 2 – изоляционная шайба;  
3, 6 – электроды (катод); 4 – штифт; 5 – изоляционный внутренний венец;  
7 – изоляционная прокладка; 8 – втулка; 9 – обрабатываемая деталь (заготовка);  
10 – гайка; 11 – шайба; 12 – шпилька

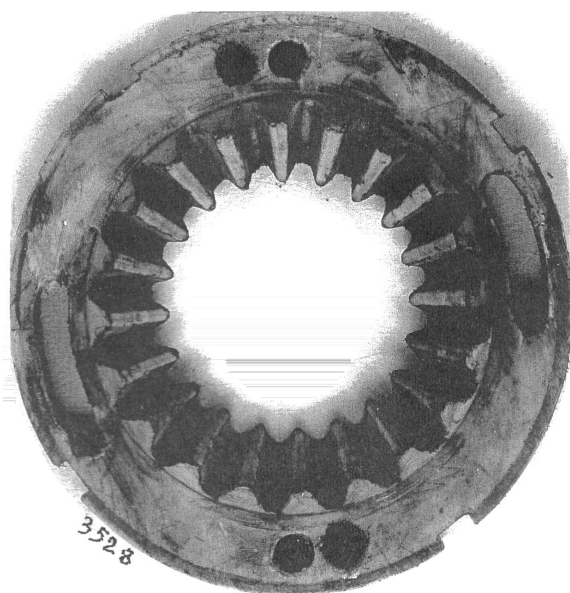


Рис. 47. Эластичная полиуретановая защитная шайба с внутренним венцом

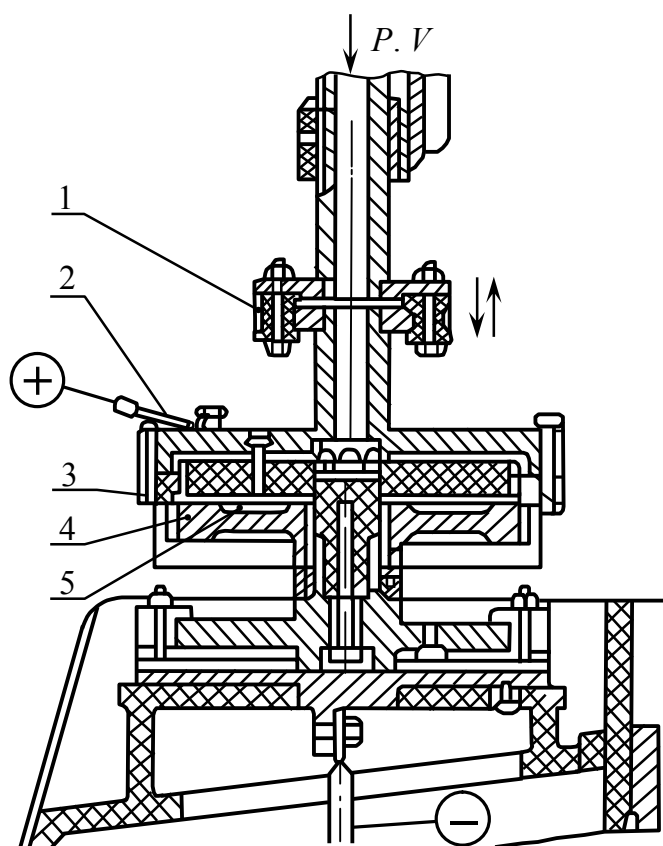


Рис. 48. Схема одностороннего скругления острых кромок цилиндрического зубчатого колеса:

1 – изоляционное кольцо;  
2 – токоподвод; 3 – катод;  
4 – обрабатываемое зубчатое колесо (заготовка)

На рис. 48 показано устройство для снятия заусенцев на одном торце цилиндрического зубчатого колеса на специальном 5-позиционном полуавтомате типа МА-31 конструкции ЭНИМС. На зубчатое неподвижно установленное колесо 4 надевается сцентрированный электрод 3, нерабочие места которого изолированы. Электрод устанавливается на регулируемый межэлектродный зазор, электролит подается под давлением через электрод (катод). Для обработки зубчатого колеса с другой стороны, оно должно быть переустановлено. Производительность обработки высокая за счет одновременной обработки 5 деталей.

На рис. 49 показана рабочая зона установки для снятия заусенцев и скругления острых кромок по боковым сторонам зубчатого венца цилиндрических зубчатых колес после операции зубошевингования. Несколько зубчатых колес, установленных на специальной вращающейся оправке 3, разделены на определенные расстояния между собой с помощью мерных втулок. Отклоняющийся в процессе разгрузки сменный пластичный сборный электрод-катод снабжен системой подачи электролита между пластинами и в рабочем положении занимает позицию взаимодействия с торцевыми поверхностями зубчатых венцов через настроенные начальные зазоры, заполняемые электролитом.

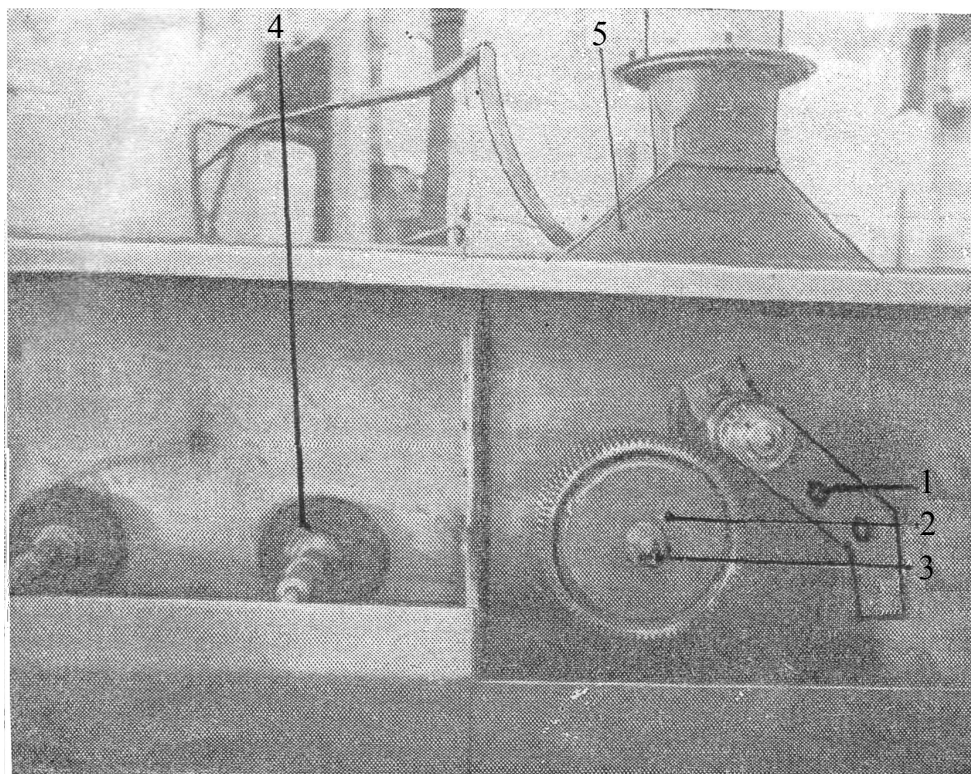


Рис. 49. Установка для электрохимического снятия заусенцев и закругления кромок на цилиндрических зубчатых колесах:  
1 – электрод; 2 – обрабатываемая шестерня; 3 – оправка рабочей позиции;  
4 – оправка ультразвуковой ванны; 5 – вытяжное устройство

### 2.3. СОВМЕЩЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

К совмещенным относятся процессы реализующие одновременно разные методы обработки с получением суммарного эффекта более высокого, чем дает каждый из составляющих процессов. Так, совмещение электрохимического растворения с абразивным резанием, реализуемое в процессе электроабразивного шлифования, позволяет не просто произвести закругление острых кромок деталей после других методов обработки, а полностью исключить эти предварительные методы, получая обработанную поверхность с требуемой точностью без дефектного абразивного шлифования при полном отсутствии заусенцев и, если требуется, более интенсивным скруглением острых кромок, за счет выхода на режим с преобладанием электрохимической составляющей процесса.

Процесс электроабразивного шлифования может быть выполнен по любой схеме шлифования – плоского, круглого, внутреннего путем модернизации соответствующих этим методам шлифовальных станков.

Главным элементом для успешного применения процесса с целью исключения высоко затратного ручного труда является инструмент – специальный токопроводящий абразивный круг.

На рис. 50 приведена схематическая структура токопроводящего абразивного круга на органической связке. Токопроводимость абразивному кругу придают чешуйки графита, накладывающиеся друг на друга при прессовании с выдавливанием жидкой составляющей связки и созданием сплошных токопроводящих мостиков. Повышенное омическое сопротивление, по сравнению с металлической связкой, компенсируется повышением рабочего напряжения до 18 – 20 В. В этих условиях достигается плотность тока  $2 \text{ А/мм}^2$  без образования электрического искрения и нарушения процесса электрохимического растворения.

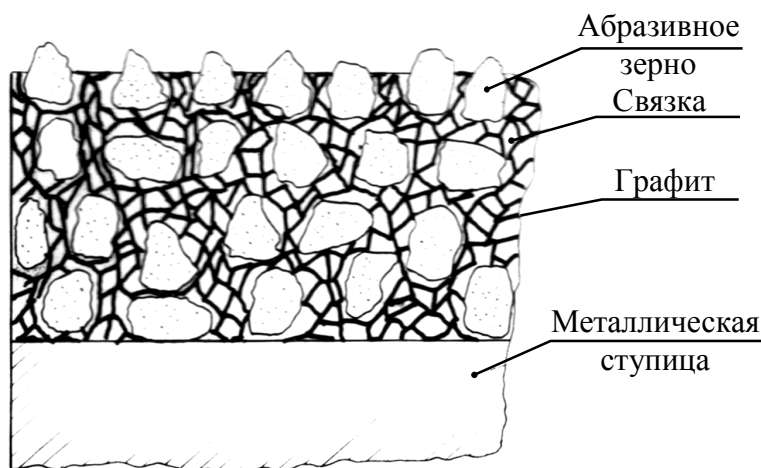


Рис. 50. Структурная схема токопроводящего абразивного круга на органических связках

На рис. 51 показаны токопроводящие абразивные круги различных конфигураций и размеров.



Рис. 51. Токопроводящие абразивные круги на органических связках

Наиболее эффективным является применение ЭАШ для формирования профильных и мелких поверхностей тонкостенных деталей или имеющих тонкостенные, легко деформируемые при механической обработке элементы, с которых удаление заусенец и, тем более, закругление острых кромок другими методами невозможно, или значительно более трудоемко.

На рис. 52 приведена схема формирования радиусной поверхности на контрольных тонкостенных втулках в размер методом глубинного электроабразивного шлифования вместо фрезерования с одновременным закруглением острых кромок.

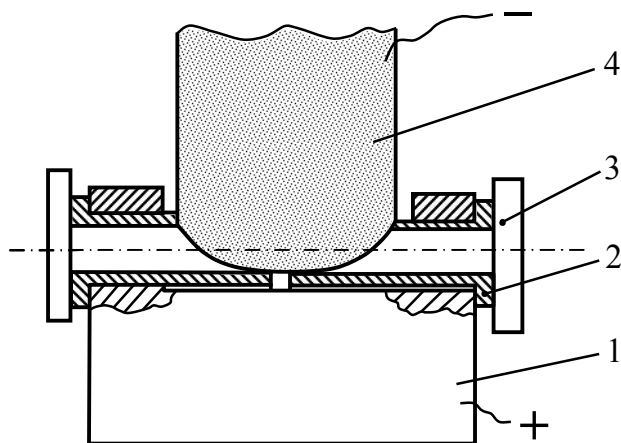


Рис. 52. Схема обработки методом профильного ЭАШ радиусов контрольных втулок без образования заусенец (со скруглением кромок):

- 1 – приспособление;
- 2 – обрабатываемая деталь;
- 3 – прижимная планка;
- 4 – токопроводящий круг

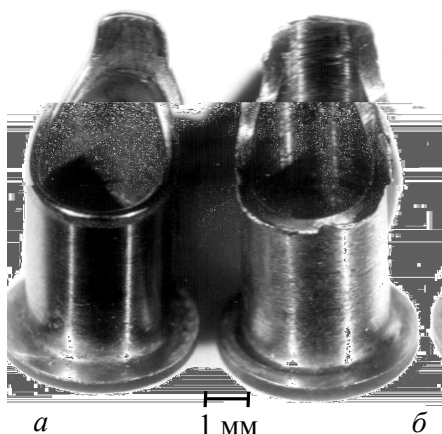


Рис. 53. Вид контрольных втулок, обработанных методом электроабразивного шлифования (а) и методом фрезерования (б)

На рис. 53 показаны контрольные втулки, обработанные методом фрезерования и электроабразивного шлифования. После фрезерования требовалось ручное снятие заусенец, что для мелких тонкостенных деталей представляло собой крайне неудобную и непроизводительную операцию.

Применение метода профильного электроабразивного шлифования позволило обрабатывать одновременно в приспособлении 50 контрровок за один проход окончательно без какой-либо доработки, кроме промывки от электrolита.

Полностью снимается ручной труд по снятию заусенец и скруглению кромок на загибаемом усике контрровки с повышением общей производительности обработки в 10 – 12 раз.

Двухсторонняя правка профиля радиусов на круге производится методом накатки профильной крошкой. Возможно применение других, более современных методов алмазной правки токопроводящих абразивных кругов. Обработка производится на модернизированных горизонтально-фрезерных и плоско-шлифовальных станках (рис. 54).

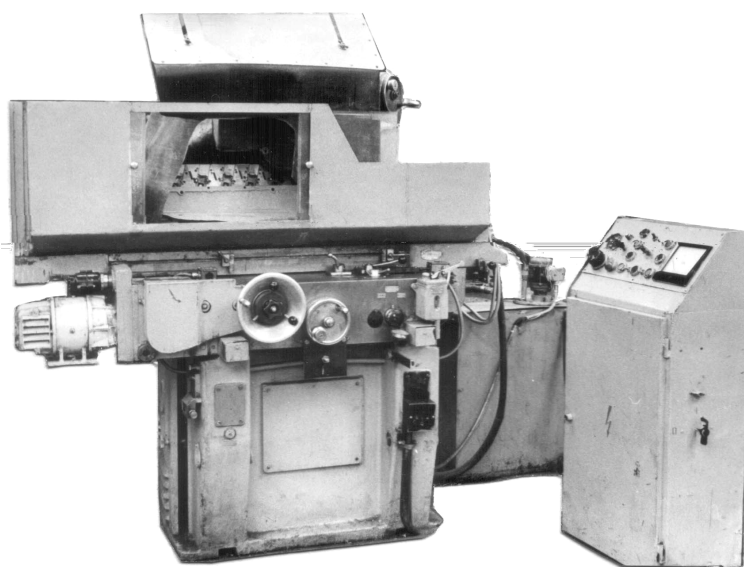


Рис. 54. Плоско-шлифовальный станок типа 3Г-71, модернизированный для электроабразивного шлифования плоских и профильных поверхностей



Применяемые на современных ГТД сотовые уплотнения отличаются мелкими ячейками (до 1 мм) и тонкими пластинками (0,05 – 0,1 мм), образующими соты. Применение механических методов обработки, таких как точение с заполнением сот твердеющей пластмассой (протокрил) не позволяет качественно обработать поверхности без заусенец. Электроэрозионный метод обработки малопроизводителен с применением пластинчатого электрода, требуемого для обработки большинства конструкции узлов с сопловыми уплотнениями. Метод электроабразивной обработки не образует заусенец, но и не закругляет острые кромки обработанных торцев пластинок.

Только метод электроабразивного шлифования позволяет обработать сотовые уплотнения в размер без применения каких-либо наполнителей, со съемом любого припуска и гарантированным отсутствием заусенец с регулируемой степенью скругления острых кромок. На рис. 55 показан образец, обработанный механическим методом электроабразивного шлифования, на рис. 56 – сотовые вставки, обработанные методом электроабразивного шлифования (б) и механическим методом (а).

Современные сотовые венцы выполняются цельными, часто многоступенчатыми с разными диаметрами. Их обработка производится на модернизированных токарно-лобовых (рис. 57), внутри-шлифовальных (рис. 58) и токарно-карусельных станках.

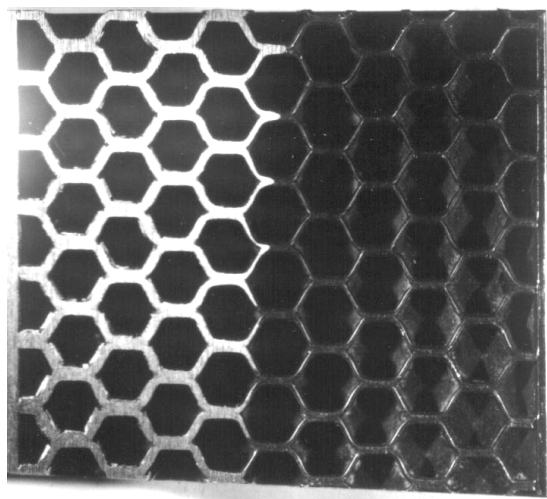


Рис. 55. Образец с сотовым уплотнением, обработанный механическим методом ЭАШ

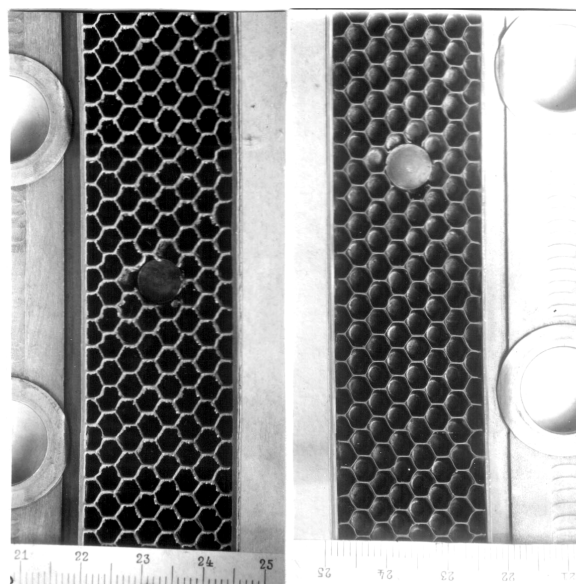


Рис. 56. Вид сотовых векторов, обработанных механическим способом (а) и с применением метода ЭАШ (б)

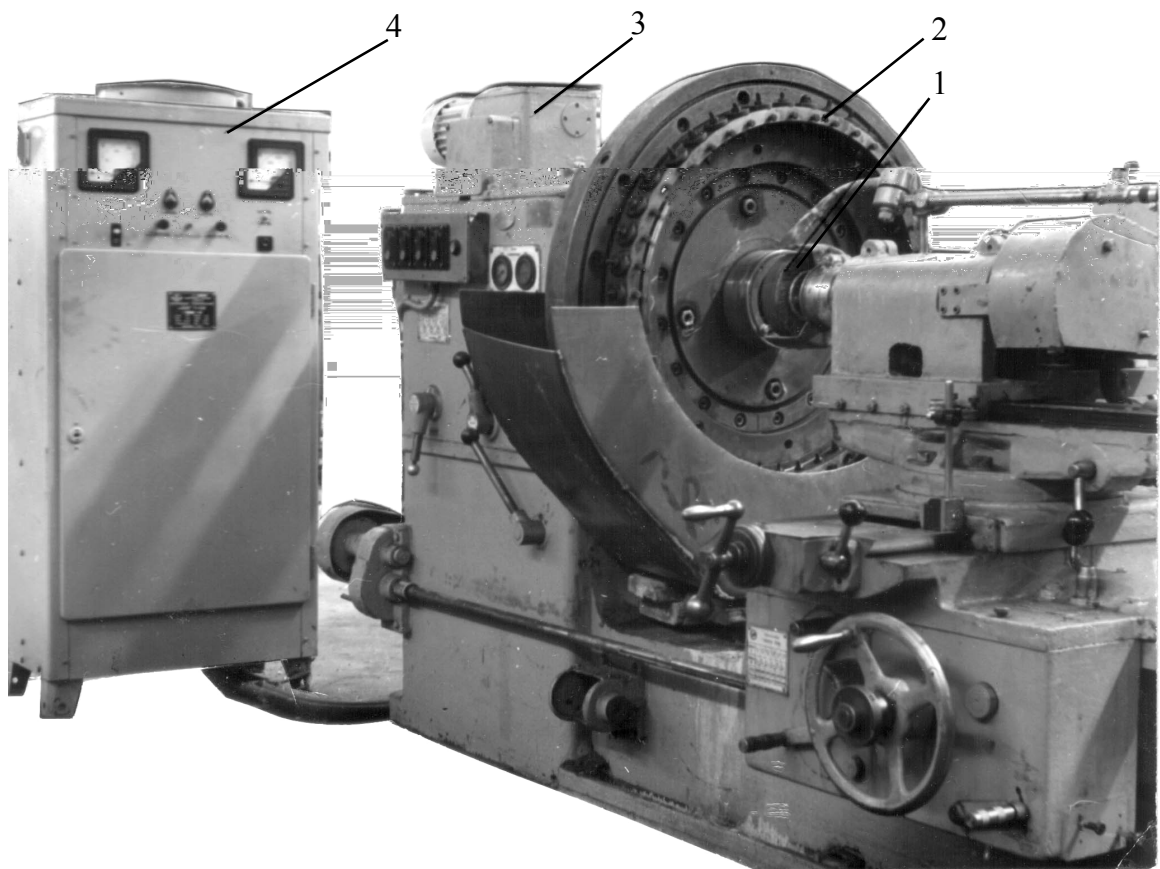


Рис. 57. Модернизированный токарно-лобовой станок для электроабразивного шлифования кольцевых венцов сотовых уплотнений большого диаметра:  
1 – токопроводящий круг; 2 – рабочее приспособление; 3 – понижающий редуктор вращения изделия; 4 – источник питания технологическим током

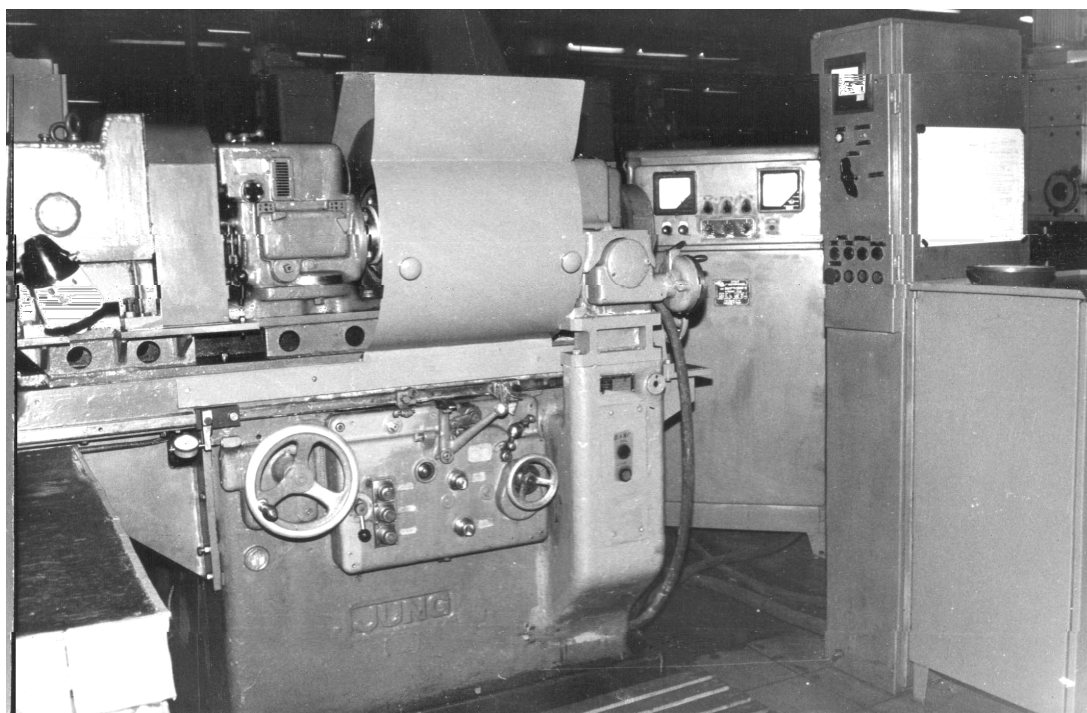


Рис. 58. Внутришлифовальный станок, модернизированный для электроабразивного шлифования сотовых уплотнений диаметром до  $\varnothing 500$  мм

Наилучшей является схема с вертикальной осью шлифовального круга и широким диапазоном диаметров обрабатываемых сотовых венцов, которая легко осуществляется модернизацией токарно-карусельного станка (рис. 59).

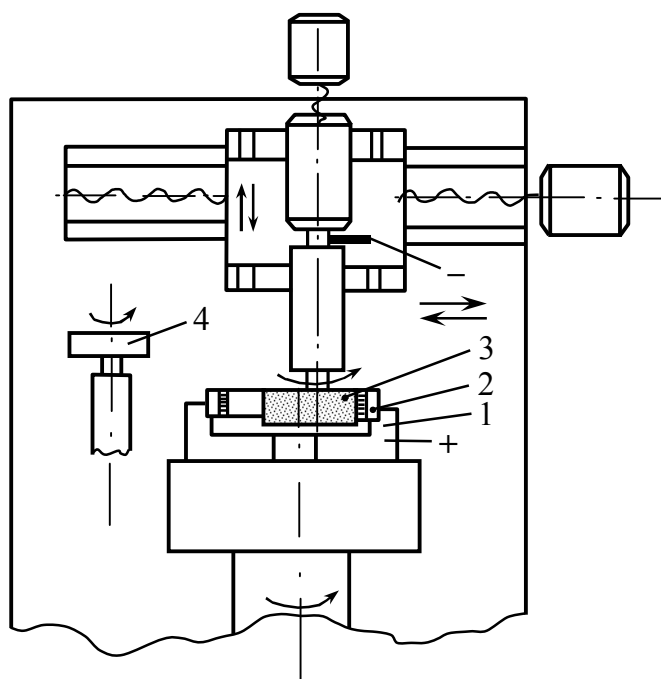


Рис. 59. Схема модернизированного токарно-карусельного станка для электроабразивного шлифования сотовых уплотнений:

- 1 – рабочее приспособление; 2 – обрабатываемый сотовый венец;  
3 – токопроводящий абразивный круг; 4 – правящий алмазный ролик

На шлифовальный шпиндель может быть установлен токопроводящий круг любого диаметра и любой высоты, правка которого по периферийной поверхности и, если необходимо по торцам, осуществляется правочным устройством с алмазной иглой или алмазным роликом.

В авиационном двигателестроении в настоящее время при соединении корпусных деталей, составных частей высокотемпературных регистров применяют корончатые самоконтрящиеся гайки, для чего на утоненном венце прорезаются тонкие пазы, образуя лепестки, которые затем принудительно сжимаются с уменьшением диаметра резьбы. При заворачивании на болт лепестки плотно его облегают и в дальнейшем сохраняют натяг, препятствуя самоотворачиванию гайки.

Метод обработки пазов должен обеспечить отсутствие заусенцев на внутренней резьбе, которые трудно гарантированно снимать не повредив резьбу, а также отсутствие наклепа и концентраторов напряжений, которые могут способствовать образованию начальных трещин при деформировании лепестков, а в дальнейшем появлению усталостных магистраль-

ных трещин и поломок лепестков от вибрационных переменных нагрузок. С учетом перечисленных требований применение электроэрозионных методов для обработки пазов самоконтрящихся гаек исключено.

Применение электроалмазного шлифования тонким отрезным алмазным кругом, толщиной не более ширины впадины решит проблему высококачественной обработки пазов самоконтрящихся гаек современных ГТД. На рис. 60 показана схема прорезания узких пазов на самоконтрящихся гайках методом ЭАШ тонким алмазным кругом ( $h = 0,8 \dots 1$  мм). Обработку производят за два прохода – основной на всю глубину с попутной подачей и чистовой сглаживающей без врезания со встречной подачей, скругляющей острые кромки на резьбе и радиус во впадине. После двухпроходного цикла деталь приходит в исходное положение, необходимо произвести деление и запустить новый цикл. Для обработки применяется горизонтально-фрезерный станок малогабаритной модели. Возможна обработка нескольких гаек одновременно с автоматизацией цикла деления и запуска нового прохода до полной обработки.

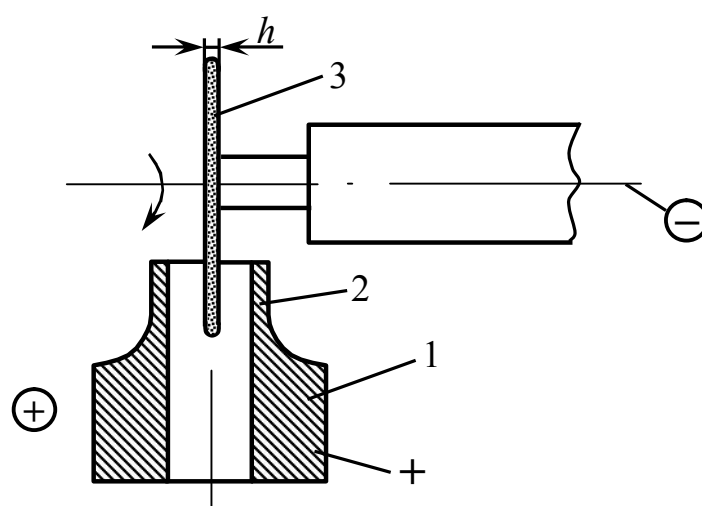


Рис. 60. Схема прорезки пазов в корончатых самоконтрящихся гайках электроалмазным методом:

- 1 – обрабатываемая гайка; 2 – резьба;  
3 – отрезной алмазный круг

Процесс электроабразивной резки таким алмазным кругом может с успехом применяться для чистовой резки многочисленных трубок в масляных и воздушных системах ГТД, где наличие заусенцев абсолютно недопустимо, а скругление острых кромок должно быть высококачественным. Для данной цели должна применяться специальная установка с возможностью регулирования разного диаметра и толщины стенок в противопо-



ложность резке вулканитовым кругом с ручным его врезанием, образованием прижога и крупных заусенец с их последующим ручным удалением.

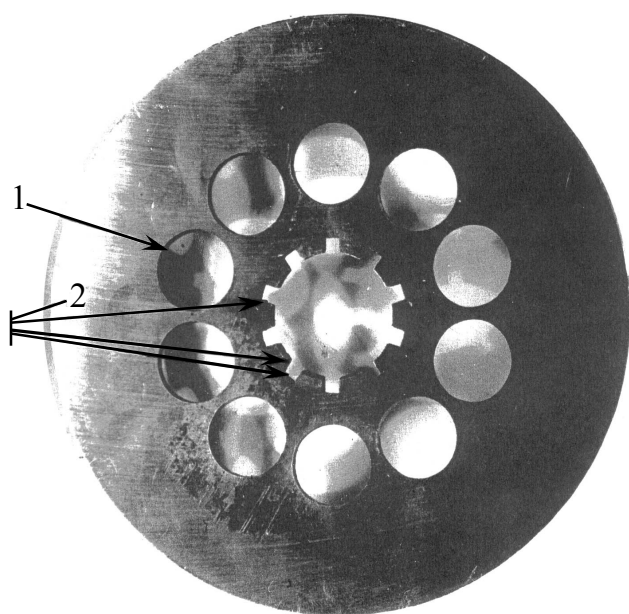


Рис. 61. Фрикционный диск с открытыми плоскими торцевыми поверхностями:  
1, 2 – места скругления острых кромок

Обработку фрикционных дисков с открытыми (плоскими) торцевыми поверхностями с целью получения закруглений острых кромок в отверстиях и шлицевом венце наиболее эффективно производить методом электроабразивного шлифования токопроводящими кругами на органической связке. Диски (рис. 61) устанавливаются на магнитную плиту и шлифуются по торцам в режиме совмещенного электроабразивного процесса.

Обработку можно производить на плоско-шлифовальном станке для ЭАШ с поперечной подачей круга. Наиболее рациональ-

ной является схема обработки на станке с круглым вращающимся столом и вертикальным шпинделем.

Применение гаечного или сборочного сегментного круга с токопроводящими сегментами позволяет производительно и качественно шлифовать в размер фрикционные диски с одновременным скруглением острых кромок отверстий и шлицевого венца. Среди всех методов механизации операций по скруглению острых кромок с применением процесса ЭХО на массовых плоских деталях данный метод является наиболее производительным и целесообразным для промышленного внедрения.

Для осуществления процесса ЭАШ токопроводящими абразивными кругами необходимо иметь или специальный станок, выпускаемый серийно, или модернизированный с обеспечением специфических требований к этому процессу. Кроме этого, изготовление специальных токопроводящих кругов требует подготовленных кадров и наличия специализированного подразделения.

Механизацию закругления острых кромок можно осуществить совмещенным методом со значительно меньшими затратами. На рис. 62 представлена схема совмещенного процесса абразивного шлифования диаметральных поверхностей, пересекаемых продольными пазами, с од-

новременным электрохимическим съемом заусенец и скруглением острых кромок пазов с помощью электрохимической приставки в виде охватывающего наружную обрабатываемую поверхность катода, через который подается электролит.

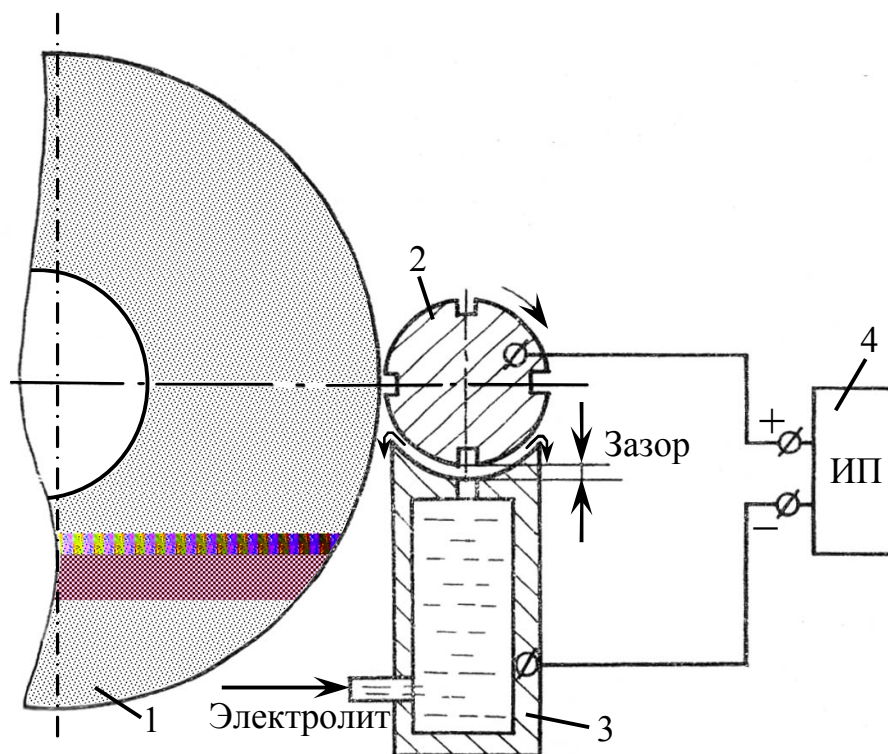


Рис. 62. Схема электрохимической обработки в сочетании с механическим абразивным шлифованием: 1 – абразивный круг; 2 – деталь-ротор; 3 – катодное устройство; 4 – источник питания

Круглошлифовальный станок необходимо оснастить баком для электролита с системой подачи и слива последнего, подключив деталь (анод) и специальный электрод (катод) к источнику питания постоянным технологическим током. Протекание токов больших величин (100 – 200 А и более) при непрерывной работе потребует подключения вытяжной вентиляции, если круглошлифовальный серийный станок не был ею оборудован.

На рис. 63 представлена конструкция электродной приставки к шлифовальному станку, оборудованной системой автоматической компенсации установленного межэлектродного зазора  $\delta$  по мере снятия припуска при шлифовании детали. Подача шлифовальной бабки с кругом на величину  $\Delta\delta$  посредством настроечного болта 1, рычага 2 и толкателя 3 вызывает синхронное передвижение пластинчатого электрода 4 на ту же величину  $\Delta\delta$ . Зазоры в системе передвижения электрода выбираются пружиной 5.

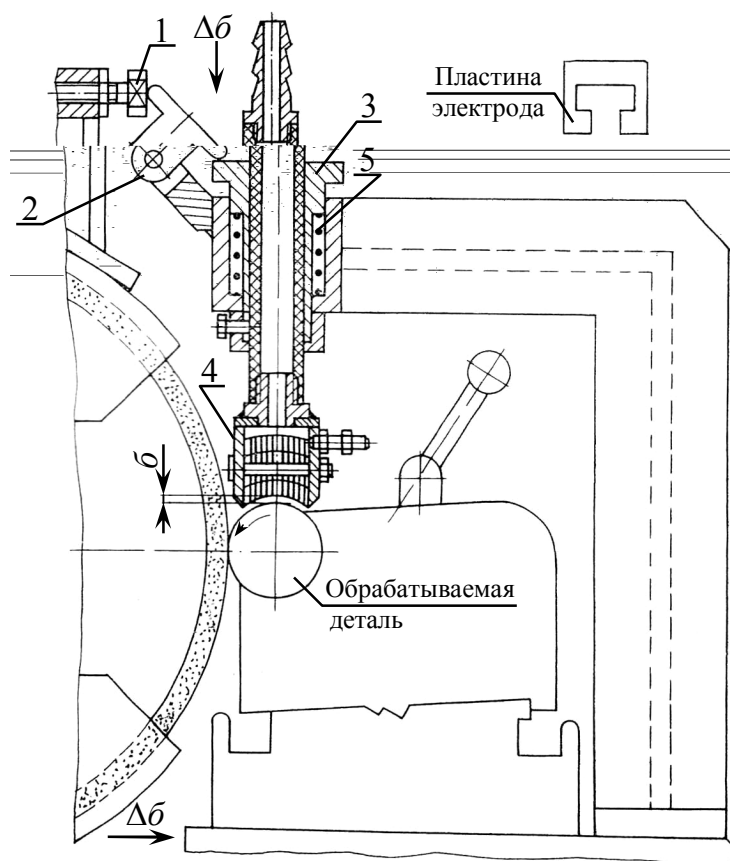


Рис. 63. Схема приспособления с автономным катодом и компенсацией зазора при обработке

Наряду с виброабразивными методами скругления острых кромок и полирования поверхностей в виробарабанах, где механизмом снятия материала является вибрационное ускорение деталей относительно наполнителей – абразивных и керамических гранул с режущими кромками, существуют методы анодно-абразивного снятия заусенец и скругления острых кромок, где абразивным гранулам отводится роль снятия размягченных поверхностных пленок, образованных анодным растворением.

Обработка производится во вращающемся многогранном барабане (чаще всего 6 граней), куда помещаются обрабатываемые детали и гранулы с режущими элементами. На гранях барабана расположены пластинчатые электроды, попеременно подключаемые к разным полюсам источника питания. При вращении барабана постоянно перекачиваемые обрабатываемые детали и гранулы находятся между анодной и катодной пластинами. При достаточном напряжении и плотности тока деталь, касающаяся в данный промежуток времени анодной пластины, становится анодом и металл ее поверхностей растворяется по законам анодного растворения. На заостренных участках поверхностей, где концентрация силовых линий цепи анод-катод выше, скорость анодного растворения возрастает. На выгнутых участках начавшиеся процессы растворения замедляются ввиду

накопления на поверхности продуктов растворения, пассивации и резкого снижения плотности тока. Режущие частицы наполнители (гранулы), скользя при вращении барабана легче удаляют анодную размягченную пленку на заусенцах и выступающих острых кромках, еще более интенсифицируя процесс обработки. Для возможности перекатывания всей навески в барабане, он должен быть заполнен не более чем на 70 – 75 %. Этот объем распределяется между деталями (30 – 40 %) и электролитно гранульной смесью (60 – 70 %). Скорость вращения барабана должна обеспечить скольжение режущих частиц относительно деталей в пределах 35 м/мин. Напряжение между пластинами-электродами выбирается в пределах 25 – 30 В.

Возможна загрузка большого количества разнородных мелких деталей общим весом не более 10 кг. Время обработки всей загрузки 30 – 120 мин в зависимости от начальной величины заусенец и необходимого качества обработки и т. д.

Для подобной обработки выпускалась промышленная установка модели ЛЭ-142. На рис. 64 приведен общий вид такой установки, на рис. 65 показаны детали обработанные анодно-абразивным методом на этой установке.

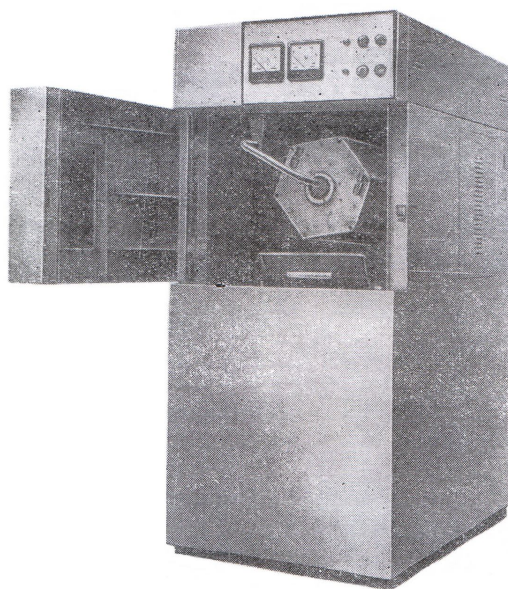


Рис. 64. Установка модели ЛЭ-142 для анодно-абразивной обработки

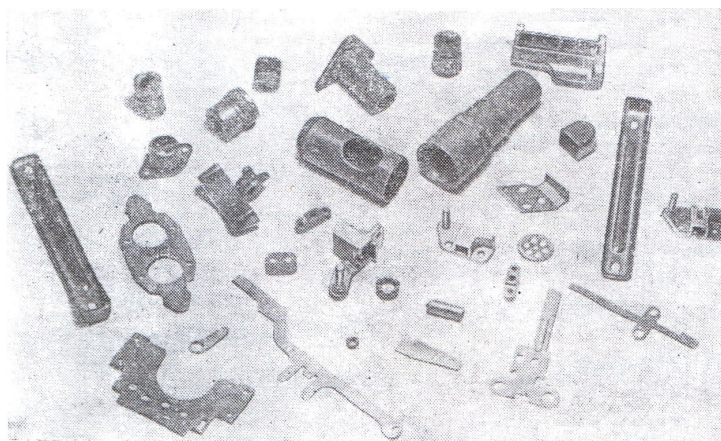


Рис. 65. Детали, обработанные анодно-абразивным способом на установке ЛЭ-142

Помимо рассмотренных совмещенных методов воздействия на обрабатываемые поверхности двух разнородных процессов, интенсифицирующих съем материала избирательно на необходимых местах (заусенцы,



острые кромки), существуют так называемые комбинированные методы, совмещающие более двух разнородных процессов.

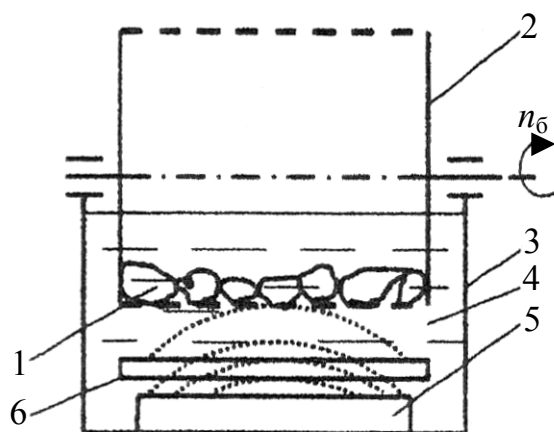


Рис. 66. Схема реализации комбинированного метода удаления заусенцев

На рис. 66 приведена схема комбинированного метода удаления заусенцев и скругления острых кромок. Установка для реализации метода представляет собой вращающийся барабан 2 в жидкостно-абразивной среде 4 ванны 3, наполненной химически активной полировальной для абразивного материала жидкостью в смеси с активными абразивными частицами.

Барабан по периферии имеет перфорированные окна и заполнен обрабатываемыми деталями 1. Внизу ванны установлен ультразвуковой излучатель колебаний 5, а над ним устройство 6 для воздушного барбоширования рабочей смеси.

Одновременное воздействие на обрабатываемые поверхности химического растворения материала, ультразвукового излучения, активного перемешивания рабочей среды воздухом существенно интенсифицирует процесс съема материала. На рис. 67 представлена сравнительная диаграмма съема материала за счет отдельных процессов.

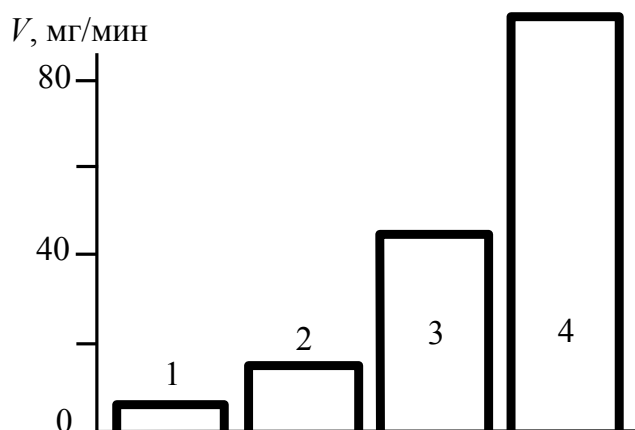


Рис. 67. Влияние отдельных воздействий на производительность обработки комбинированным методом:  
 1 – съем при химическом полировании; 2 – съем химическим полированием с наложением ультразвуковых колебаний;  
 3 – съем за счет вращения в абразивной суспензии с активным перемешиванием воздухом; 4 – съем при комбинированном воздействии всех факторов

### 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИМЕНЯЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ СЛЕСАРНЫХ ОПЕРАЦИЙ

#### 3.1. АБРАЗИВНАЯ ОЧИСТКА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Очистка производится продувкой сжатым воздухом суспензии через внутренние каналы деталей. Состав суспензии: абразивный порошок марки 23АМ14-10-В (ГОСТ 3647-80) и вода.

Очистка осуществляется с использованием специальной установки, которая имеет следующие технические характеристики:

- максимальный диаметр обрабатываемой детали не более 420 мм;
- максимальная высота обрабатываемой детали не более 400 мм;
- давление сжатого воздуха 0,4 мПа;
- расход воздуха не более 30 м<sup>3</sup>/мин;
- уровень шума, не более, 80 дБ.

Установка состоит из следующих основных узлов и деталей (рис. 68).

Корпус 1 предназначен для размещения остальных узлов и деталей установки и в качестве емкости для суспензии. Крышка 2 используется для защиты оператора от выброса суспензии, пробка 3 для прекращения работы форсунки 8 после окончания работы с целью предупреждения слеживания абразивного порошка и закрытия им проходного канала форсунки. Крышка 4 используется для герметизации сифонной части установки и профилактического обслуживания, рассеиватель 5 предназначен для равномерного подвода потока суспензии и воздуха к приспособлению. Сетка 6 служит для защиты от посторонних предметов нижней части установки, а сопло 7 для смешивания и разгона суспензии при подаче струи воздуха. Форсунка 8 предназначена для разгона сжатого воздуха после подачи в установку.

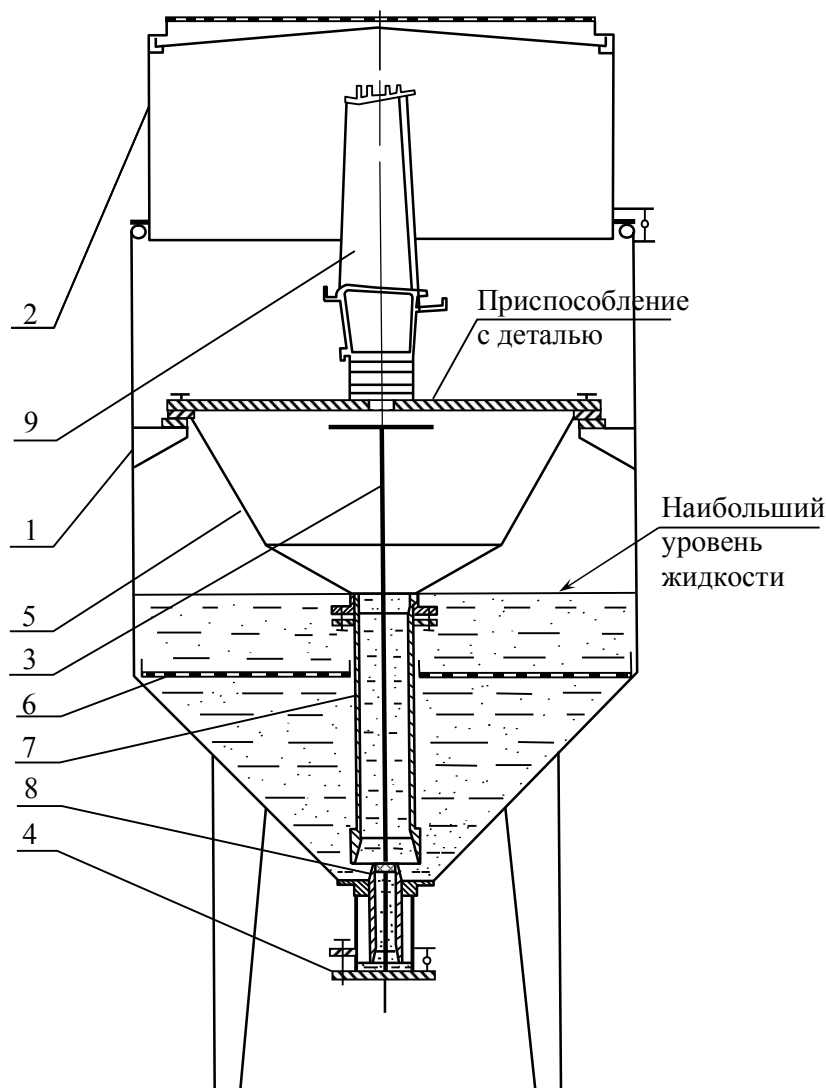


Рис. 68. Установка для абразивной очистки внутренних поверхностей деталей:

- 1 – корпус; 2 – крышка;
- 3 – пробка; 4 – крышка;
- 5 – рассеиватель; 6 – сетка;
- 7 – сопло; 8 – форсунка;
- 9 – обрабатываемая деталь

### 3.2. СНЯТИЕ ЗАУСЕНЦЕВ И СКРУГЛЕНИЕ ОСТРЫХ КРОМОК В ТРУДНОДОСТУПНЫХ МЕСТАХ ДЕТАЛЕЙ НА ГИДРОАБРАЗИВНОЙ УСТАНОВКЕ

Гидроабразивной обработке подвергаются детали, изготовленные из разных марок сталей, сплавов и цветных металлов. Наибольший диаметр обрабатываемых деталей – 190 мм, наибольшая высота – 200 мм. Съем металла происходит путем микрорезания при прокачке гидроабразивной смесью внутренних полостей деталей, особенно в местах перехода из одной полости в другую (кромки отверстий). В некоторых случаях гидроабразивная обработка позволяет снизить величину шероховатости и стабилизировать качество обрабатываемых поверхностей.

Гидроабразивная установка для снятия заусенцев и скругления кромок, изображенная на рис. 69, состоит из следующих сборочных единиц: 1 – сварная станина; 2 – пульт управления; 3 – наконечник гидроаккумуля-

лятора; 4 – стойка; 5 – стакан; 6 – электродвигатель; 7 – редуктор; 8 – пальчиковая муфта; 9 – эксцентрик; 10 – силовой цилиндр; 11 – обратный клапан; 12 – гидроаккумулятор; 13 – цилиндр подъема стакана.

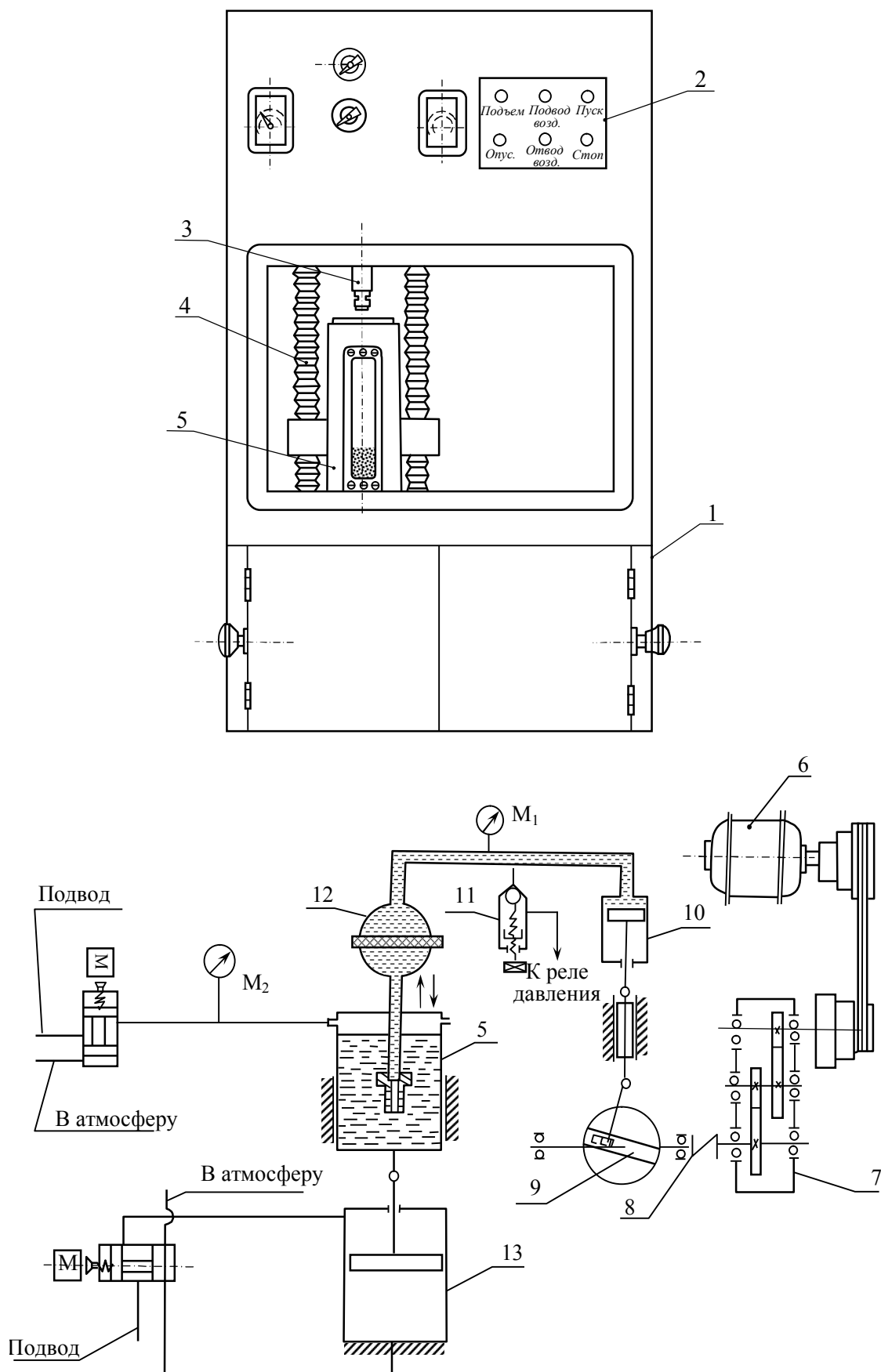


Рис. 69. Схема установки для снятия заусенцев гидроабразивным методом

Станина имеет 6 дверей. Для удобства монтажа стенки установки выполнены съемными. Манометр  $M_1$  показывает давление в гидравлической полости. Манометр  $M_2$  показывает давление в верхней полости стакана.

Для установки времени обработки деталей имеется реле времени.

Для предохранения установки от перегрузки установлено реле давления, отрегулированное от 4,5 до 5 МПа.

Обрабатываемые детали устанавливаются в приспособлении, которое крепится к переходнику установки. Рабочей средой является гидро-суспензия, состоящая из абразивного зерна и водопроводной воды. Абразивное зерно должно быть 63С, 54С, 14А, 24А зернистостью от 6 до 100 по ГОСТ 3647. После гидроабразивной прокачки и промывки детали следует провести противокоррозийную защиту детали. Уровень абразива должен быть от дна стакана на расстоянии от 50 до 90 мм. Давление воздуха в верхней полости стакана установки от 0,3 до 0,6 МПа. Рабочее давление в гидросистеме 4 МПа.

### 3.3. СНЯТИЕ ЗАУСЕНЦЕВ И БЕЗРАЗМЕРНОЕ ШЛИФОВАНИЕ МЕЛКИХ ДЕТАЛЕЙ НА УСТАНОВКЕ УОР-2

Установка мод. УОР-2 предназначена для безразмерной обработки деталей в среде свободного абразива, а именно, снятия заусенцев, притупления острых граней, удаления окалины, шлифования и полирования мелких деталей.

Технические характеристики установки УОР-2:

- количество устанавливаемых барабанов, шт..... 4
- масса деталей, загружаемых в один барабан, кг..... до 4
- количество наполнителя, загружаемого в один барабан, кг ..... до 4
- число оборотов привода барабанов, об/мин ..... от 25 до 300
- число оборотов привода системы, об/мин ..... от 100 до 300

Схема установки приведена на рис. 70. На чугунной литой станине 13 в подшипниках качения смонтирован центральный вал 2, на котором жестко крепится водило 1. Водило состоит из 2-х дисков, скрепленных между собой четырьмя стяжками. На водило по периферии на подшипниках качения смонтированы четыре барабана-кожуха 3, в которых при работе помещаются съемные контейнеры 2. Водило и барабаны-кожухи имеют независимые приводы.



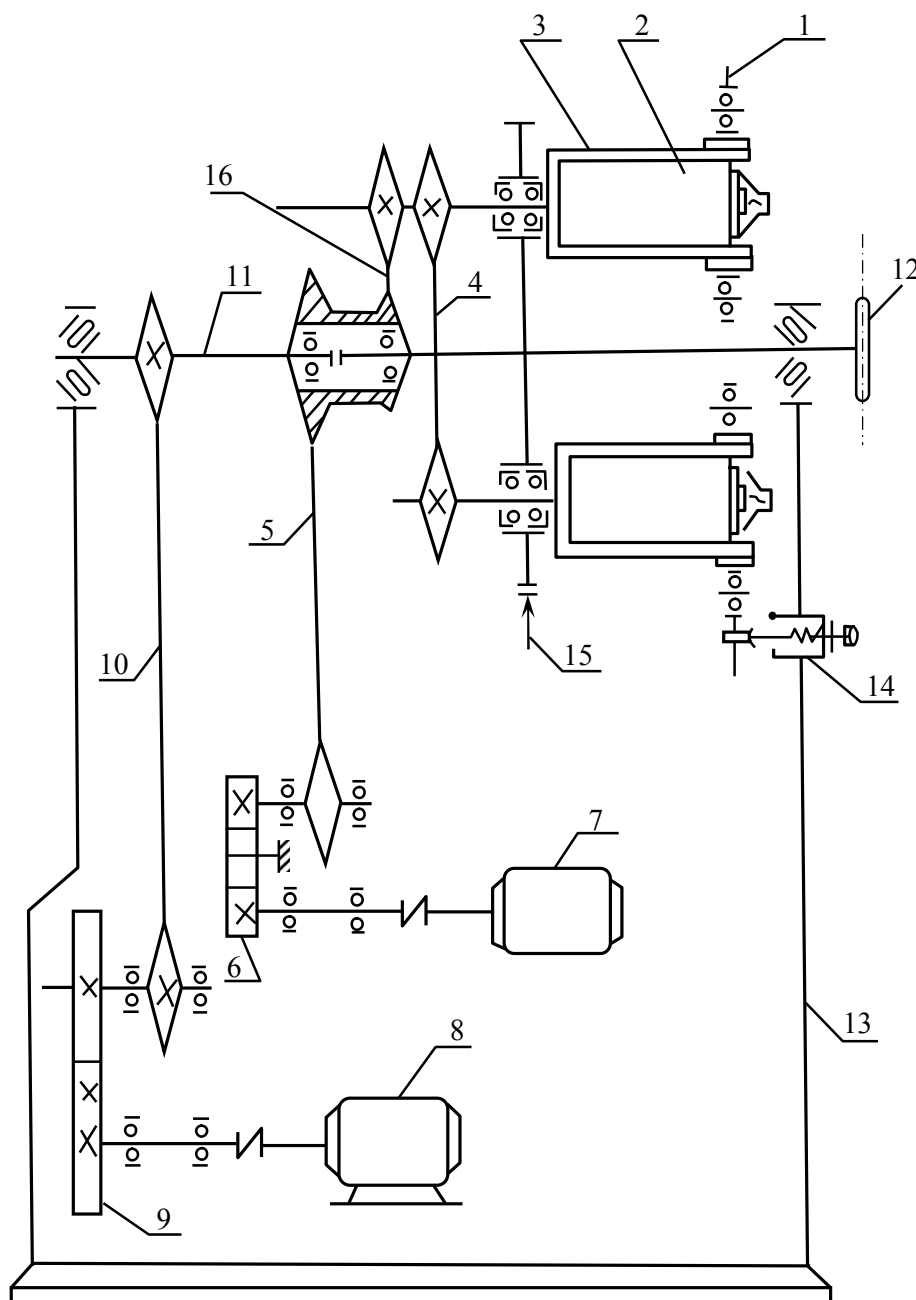


Рис. 70. Схема установки УОР-2

В каждом приводе установлены сменные шестерни 6 и 9, с помощью которых настраивается необходимое число оборотов системы и барабанов. При включении электродвигателя 8 через сменные шестерни и цепную передачу 10 вращение передается центральному валу 2 и водилу 1. При пуске электродвигателя 7 через сменные шестерни 6, цепную передачу 5 и 16 вращение передается барабанам 3, связанным между собой цепью 4. В результате сложения двух движений: переносного от вращения водила и дополнительного от электродвигателя 7, барабаны 3 получают относительное вращение с числом оборотов, определяемом выражением

$$\Pi_6 = i (\Pi_{ц.з} + \Pi_H), \text{ об/мин,}$$

где  $P_6$  – число оборотов барабана в относительном движении;  $i$  – передаточное отношение цепной передачи 16;  $P_{ц.з}$  – число оборотов центральной звездочки, свободно вращающейся на центральном валу 2, получающей движение от цепной передачи 5;  $P_n$  – число оборотов водила 1.

Направления вращения водила и барабанов противоположные. Установка снабжена тормозом 15 и фиксатором 14, служащим запорным устройством во время загрузки и выгрузки контейнеров. Маховик 12 служит для ручной регулировки водила при установке его на фиксатор.

### 3.4. СНЯТИЕ ЗАУСЕНЦЕВ И БЕЗРАЗМЕРНОЕ ПОЛИРОВАНИЕ МЕЛКИХ И СРЕДНИХ ДЕТАЛЕЙ НА УСТАНОВКЕ УОР-4

Установка мод. УОР-4 предназначена для безразмерной обработки деталей в среде свободного абразива, а именно для снятия заусенцев, притупления острых кромок, удаления окалины, шлифования и полирования мелких и средних деталей.

Технические характеристики установки:

– количество барабанов, шт.....	4
– масса загружаемых деталей в один барабан, кг.....	до 45
– масса наполнителя загружаемого в один барабан, кг.....	до 25
– продолжительность обработки, мин.....	5...30
– число оборотов водила, об/мин.....	74...150
– число оборотов барабанов, об/мин.....	85...136
– регулирование чисел оборотов.....	ступенчатое сменными шестернями
– габаритные размеры, мм.....	2400 × 1530 × 1820
– занимаемая площадь, м <sup>2</sup> .....	3,67
– масса установки, кг.....	3800

Принцип работы установки представлен на рис. 71.

На станине 11 сварной конструкции в подшипниках качения смонтирован центральный вал 10, на котором жестко крепится водило 1. Водило состоит из двух дисков, скрепленных между собой стяжками. На водиле по периферии на подшипниках качения смонтированы четыре барабана-контейнера 2. Барабан имеет форму шестигранника с откидывающейся крышкой. Внутренние поверхности футерованы резиной. Водило и барабаны имеют независимые приводы.

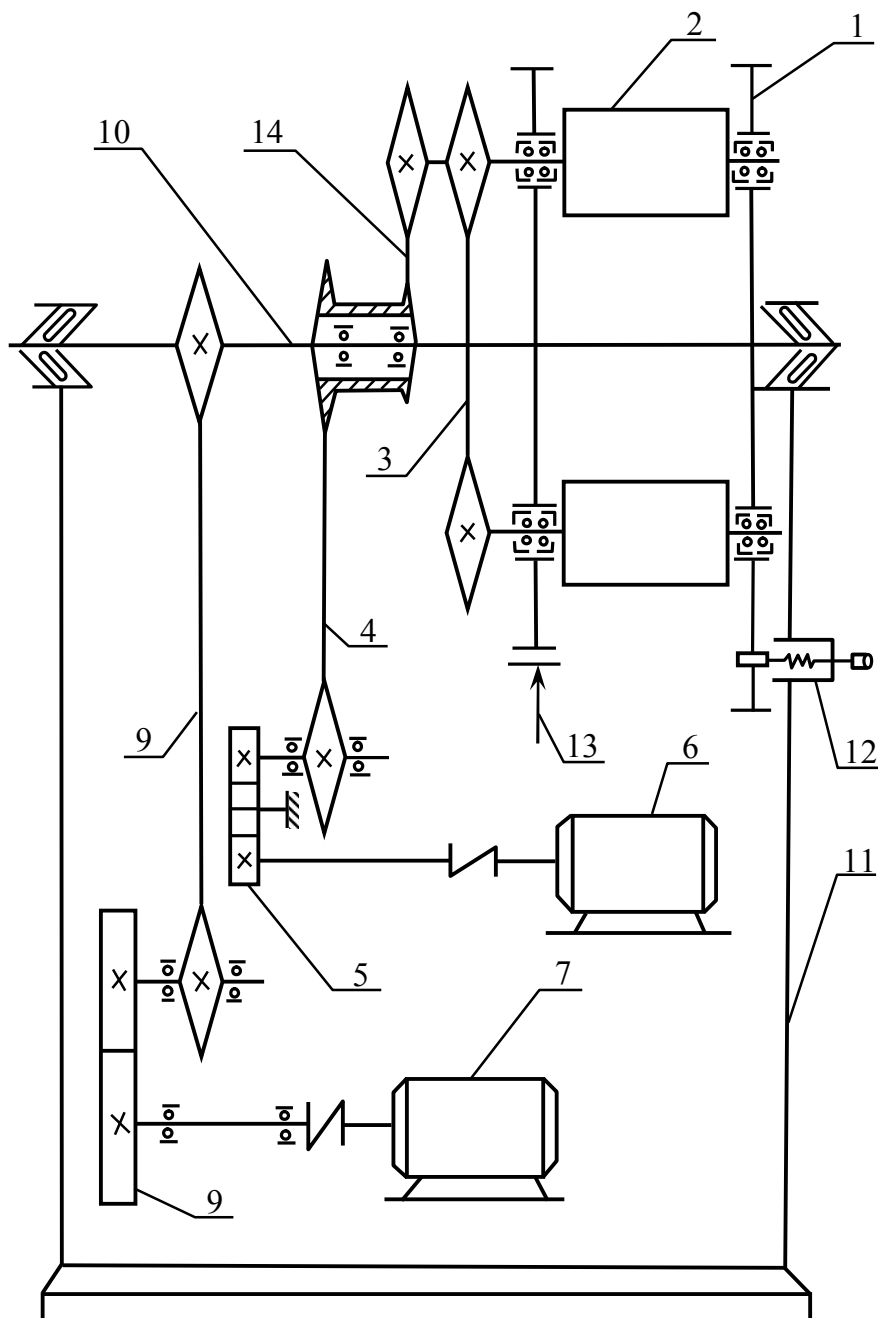


Рис. 71. Схема установки УОР-4

В каждом приводе установлены сменные шестерни 5 и 8, с помощью которых настраивается необходимое число оборотов водила и барабанов. При включении электродвигателя 7 через сменные шестерни и цепную передачу 9 вращение передается центральному валу 10 и водилу 1. При пуске электродвигателя 6 через сменные шестерни 5, цепную передачу 4 и 14 вращение передается барабанам 2, связанным между собой цепью 3. В результате сложения двух движений – переносного от вращения водила 1 и дополнительного от электродвигателя 6, барабаны 2 получают относительное вращение с числом оборотов, определяемом выражением:

$$\Pi_6 = I (\Pi_{ц.з} + \Pi_в), \text{ об/мин,}$$

где  $P_6$  – число оборотов барабана в относительном движении;  $i$  – передаточное отношение цепной передачи 14;  $P_{ц.з}$  – число оборотов центральной звездочки, свободно вращающейся на центральном валу 10, получающей движение от цепной передачи 4;  $P_в$  – число оборотов водила 1.

Направление вращения водила против часовой стрелки, если смотреть со стороны пульта управления, направление вращения барабанов – по часовой стрелке.

Установка снабжена тормозом 13 и фиксатором 12, служащим запорным устройством во время загрузки и выгрузки барабанов.

### 3.5. МЕХАНИЗИРОВАННОЕ СНЯТИЕ ЗАУСЕНЦЕВ И СКРУТЛЕНИЕ ОСТРЫХ КРОМОК ПО КОНТУРУ ПАЗОВ ДИСКОВ ТУРБОАБРАЗИВНЫМ СПОСОБОМ

Турбоабразивный метод обработки деталей, имеющих форму тел вращения, разработан во ВНИИМАШ (г. Санкт-Петербург). Он основан на принципе псевдооживления сыпучих материалов и заключается в создании абразивного «кипящего» (псевдооживленного) слоя, в который помещают обрабатываемую деталь, вращающуюся со скоростью до 30 м/с. Съем металла происходит путем микрорезания при соударении абразивных зерен с поверхностью вращающейся детали.

Турбоабразивный метод обработки при снятии заусенцев и скругления острых кромок по контуру пазов дисков ротора компрессора позволяет:

- увеличить производительность труда по сравнению с ручной слесарной обработкой в 5 – 6 раз;
- снизить шероховатость обрабатываемой поверхности и стабилизировать качество обработанных поверхностей деталей;
- повысить культуру производства.

Установка для турбоабразивной обработки, изображенная на рис. 72; состоит из следующих основных узлов: рамы 1, камеры нижней 2, камеры рабочей 3, камеры расширительной 4, головки поворотной 5, механизма клапанов 6, механизма заслонки 7, узла гидрооборудования 8, электрошкафа с пультом управления 9.

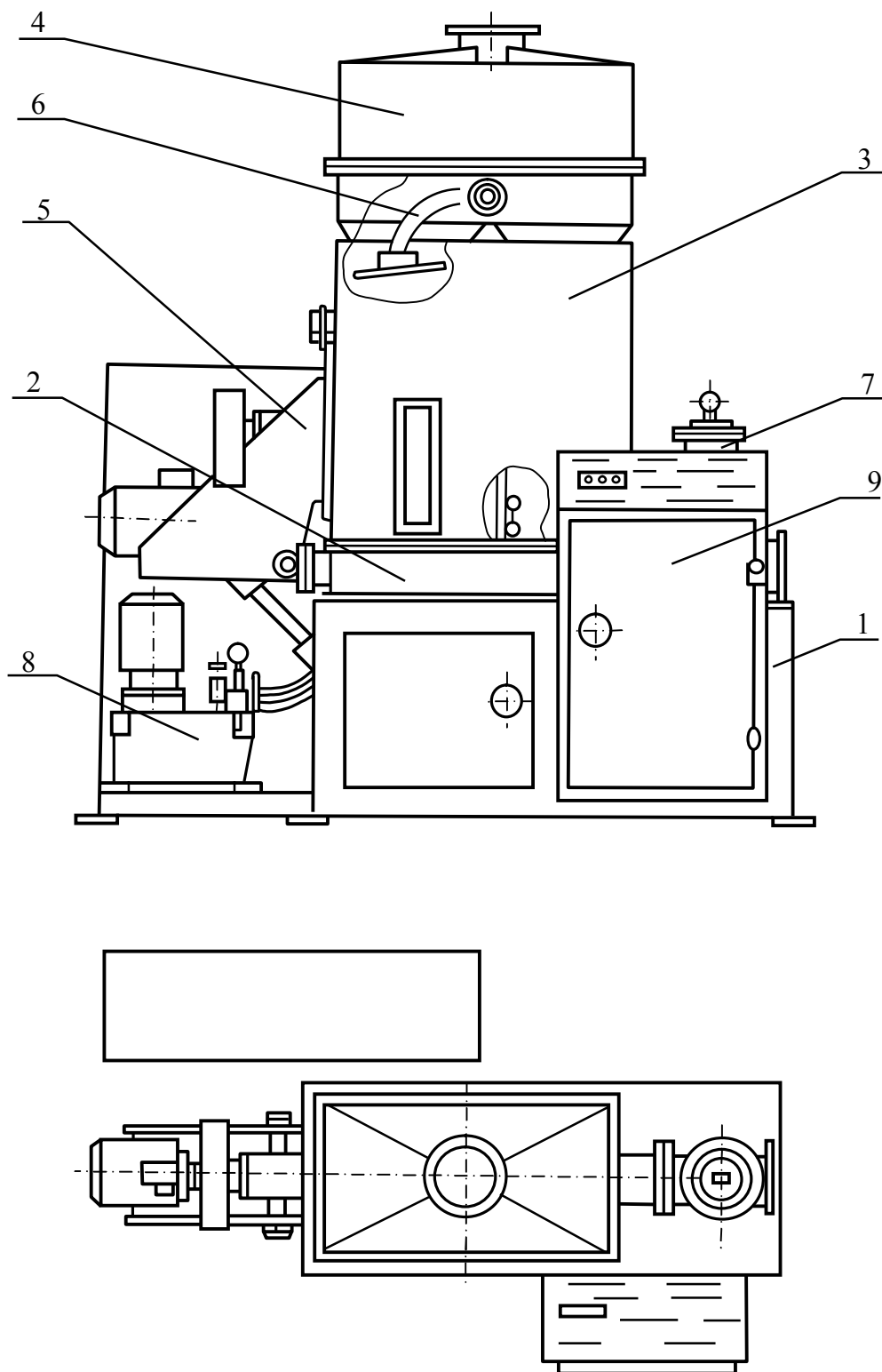


Рис. 72. Турбообразивная установка

Рама 1 представляет собой сварную конструкцию, на которой размещаются механизмы установки. Она крепится к бетонному основанию фундаментными болтами. Камера нижняя 2 представляет собой сварную конструкцию коробчатой формы с открытой верхней частью. На упоры этой камеры укладывается специальная керамическая пористая решетка, которая разделяет её с рабочей камерой. Подвод сжатого воздуха в ниж-



нюю камеру осуществляется по трубе. Рабочая камера 3, в которой установлен клапанный механизм, разделена перегородкой на два отсека – рабочий и вспомогательный. На широкой стороне рабочего отсека имеется отверстие для ввода и вывода обрабатываемой детали, которая крепится на шпинделе поворотной головки. Вспомогательный отсек имеет два отверстия для загрузки абразивного зерна. Выход воздуха из рабочего и вспомогательного отсека в расширительную камеру 4 происходит через окна, открытие и закрытие которых происходит с помощью клапанов 6. Поворотная головка 5 представляет собой сварной каркас, на котором крепится узел шпинделя и электродвигатель. Вращение детали от электродвигателя производится посредством ременной передачи. Скорость вращения детали регулируется ступенчато с помощью сменных шкивов. Поворот головки вокруг оси, прикрепленной к нижней камере, осуществляется с помощью гидроцилиндра. Механизм клапанов 6 представляет собой вал с коромыслами, на которых закреплены клапаны. Поворот вала на  $20^\circ$  осуществляет открытие или закрытие окна рабочей камеры. Поворот вала с коромыслом осуществляется с помощью гидроцилиндра через рычаг.

Гидрооборудование 8 представляет собой узел, на раме которого крепится гидростанция и стойка с распределителями. От распределителей посредством рукавов высокого давления рабочая жидкость поступает к гидроцилиндрам рабочих органов.

Работа установки на полуавтоматическом цикле протекает в следующей последовательности: обрабатываемую деталь устанавливают вручную на оправку шпинделя установки и закрепляют. Включением кнопки «Пуск», при положении переключателя «Автомат. работа», происходит запуск гидросистемы, после чего гидроцилиндром производится поворот головки и деталь вводится в рабочую камеру, а фланец поворотной головки герметично закрывает отверстие. Затем головка фиксируется в этом положении с помощью фиксатора. В это время окно в рабочем отсеке открывается, а во вспомогательном – закрывается. После фиксации поворотной головки открывается задвижка и в нижнюю камеру подается воздух от вентилятора высокого давления, который подымает зерно (образуется псевдооживленный «кипящий» слой абразива). Поскольку окно во вспомогательном отсеке закрыто, то происходит перекачка абразивного зерна из вспомогательного отсека в рабочий. По окончании перекачки заслонка закрывается. Одновременно с открытием воздушной задвижки, приводится во вращение шпиндель с оправкой и деталью. Таким образом деталь вращается в псевдооживленном «кипящем» слое абразива и проис-

ходит обработка. По истечении установленного времени происходит изменение направления вращения детали на противоположное. По окончании обработки шпиндельный привод отключается, открывается заслонка и окно во вспомогательной камере. Происходит перекачка зерна во вспомогательную камеру, закрывается воздушная задвижка и прекращается подача воздуха. Защелка фиксатора освобождает поворотную головку и обработанная деталь выводится из рабочей камеры поворотом головки.

Установка имеет также наладочный режим работы (при положении переключателя «наладка»). В первую очередь производится наладка отдельных механизмов без подачи воздуха и абразивного зерна. Затем производится засыпка абразивного зерна, определяется время перекачки зерна из рабочей камеры во вспомогательную, подбирается время обработки детали и настраиваются реле времени.

Технические данные по обработке деталей на установке следующие.

1. Количество абразива, засыпаемое первоначально в камеру установки  $220 \pm 10$  кг.
2. При обработке деталей используются следующие шлифовальные материалы:
  - электрокорунд нормальный марки 13А, 14А по ГОСТ 28818-90;
  - электрокорунд белый марки 25А по ГОСТ 28818-90;
  - абразивные материалы (зернистость шлифовальных материалов 63 – 80 по ГОСТ 3647-80).
3. Время обработки одной детали от 3 до 15 мин в зависимости от применяемого абразивного материала, диаметра обрабатываемой детали и требуемой шероховатости.
4. Число оборотов шпинделя устанавливается за счет сменных шкивов в зависимости от диаметра обрабатываемой детали, согласно табл. 2.
5. После обработки деталь необходимо промыть.

Таблица 2

Выбор частоты вращения шпинделя станка

Наружный диаметр обрабатываемых деталей	Диаметр шкива на шпинделе	Диаметр шкива на электродвигателе	Число оборотов шпинделя, об/мин
250 – 350	160	228	2000
350 – 450	160	152	1500
450 – 500	160	115	1000

### 3.6. СКРУГЛЕНИЕ КРОМОК ПО ТОРЦУ ЗУБА ШЕСТЕРЕН НА АБРАЗИВНО-РОТОРНОЙ УСТАНОВКЕ АРУ-3

Абразивно-роторная установка предназначена для механизированного скругления кромок по торцу зуба шестерен, но может быть использована в ряде случаев для обработки кромок и поверхностей других деталей, представляющих собой тела вращения взамен ручной обработки.

Обработка кромок зубьев шестерен может производиться как на «сырых», так и прошедших термическую обработку деталях с твердостью поверхностного слоя зубьев после цементации и закалки HRC 60...64. Наибольший диаметр шестерен 65 мм, наибольший вес не более 0,5 кг.

Абразивно-роторная установка типа АРУ-3 работает на принципе принудительного вращения деталей в сфере свободного увлажненного наполнителя, находящегося в виброконтейнере.

Наполнителем является шлифовальное, электрокорундовое зерно 23А или 13А...14А по ГОСТ 4785-64 или зерно 80-100 по ГОСТ 3647-71.

Рабочей жидкостью, применяемой для увлажнения наполнителя, является раствор, состоящий из следующих компонентов:

- 3,5...5,0 % эмульсола Э2 ГОСТ 1975-53;
- 0,2...0,5 % кальцинированной соды ГОСТ 10689-70;
- остальное вода.

Режим обработки:

- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| а) число оборотов шпинделя ротора                 | $n = 3000 \dots 5200$ об/мин; |
| б) амплитуда колебаний контейнера                 | $A = 1,5$ мм;                 |
| в) частота колебаний контейнера                   | $f = 22$ Гц;                  |
| г) время обработки детали                         | $T = 1,0$ мин;                |
| д) реверс вращения через 50 % указанного времени. |                               |

Конструктивные особенности абразивно-роторной установки типа АРУ-3 следующие: для закрепления детали и её вращения установка оснащена двумя шпинделями, каждый из которых закреплен на соответствующей подвижной траверсе, которая перемещается по двум вертикальным цилиндрическим направляющим под действием штока пневмоцилиндра. Шпиндели приводятся во вращение от электродвигателя с помощью клиноременной передачи.

В стол станка вмонтирован контейнер. Внутри стола размещены также вибропривод контейнера, пневмоаппаратура, пневмо-гидрокоммуникации, электропроводка.

Промывочный бак свободно установлен на полу рядом с установкой и соединяется с ней резиноканевыми рукавами.

Для управления установкой имеются три пульта. Один на стенде электрошкафа с кнопками пуска и останова вибропривода и насоса промывочного бака. Два пульта расположены в передней части стола и служат для управления шпинделями.

Подъем и опускание шпинделя, а также заполнение пневмобаллонов под контейнером осуществляется за счет подачи из сети сжатого воздуха под давлением 300 – 400 кПа.

Электрооборудование обеспечивает автоматический цикл обработки детали по заданному времени, а также работу вибропривода и помпы.

При обработке деталь должна заглубляться в абразивную массу на 40 – 60 мм, считая от верхнего торца. Для предотвращения съема металла с профильной поверхности зуба в процессе обработки шестерни, на неё устанавливается экранирующее кольцо (рис. 73). Высота кольца меньше ширины венца шестерни на размер «А», равный 0,35 – 0,7 мм. При изменении размера «А» величина радиуса скругления кромки плавно возрастает или уменьшается.

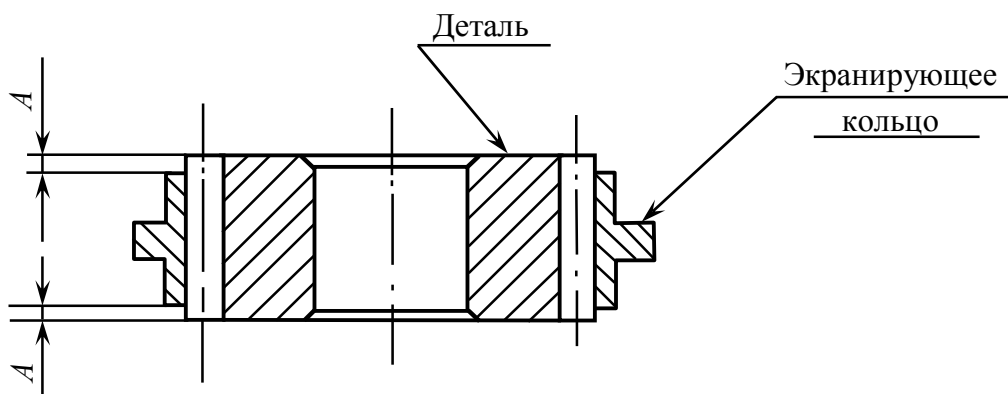


Рис. 73. Схема установки экранирующего кольца на обрабатываемую деталь

### 3.7. СКРУГЛЕНИЕ КРОМОК, РАДИУСОВ И ПОЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Установка для снятия заусенцев и скругления кромок, изображенная на рис. 74, состоит из следующих составных сборочных единиц: 1 – сварная станина; 2 – стойка; 3 – силовая головка с узлом осцилляции; 4 – бак; 5 – цилиндр подъема; 6 – клемная коробка; 7 – пульт управления; 8 – траверса, 9 – кожух; 10 – электродвигатель; 11 – узел подготовки воздуха.

Силовая головка с узлом осцилляции перемещается по двум направляющим с помощью силового цилиндра. В шток узла осцилляции встроен шпиндель для крепления детали, который приводится во вращение через

клиноременную передачу электродвигателем. Частота хода силовой головки регулируется двумя дросселями, расположенными на силовой головке.

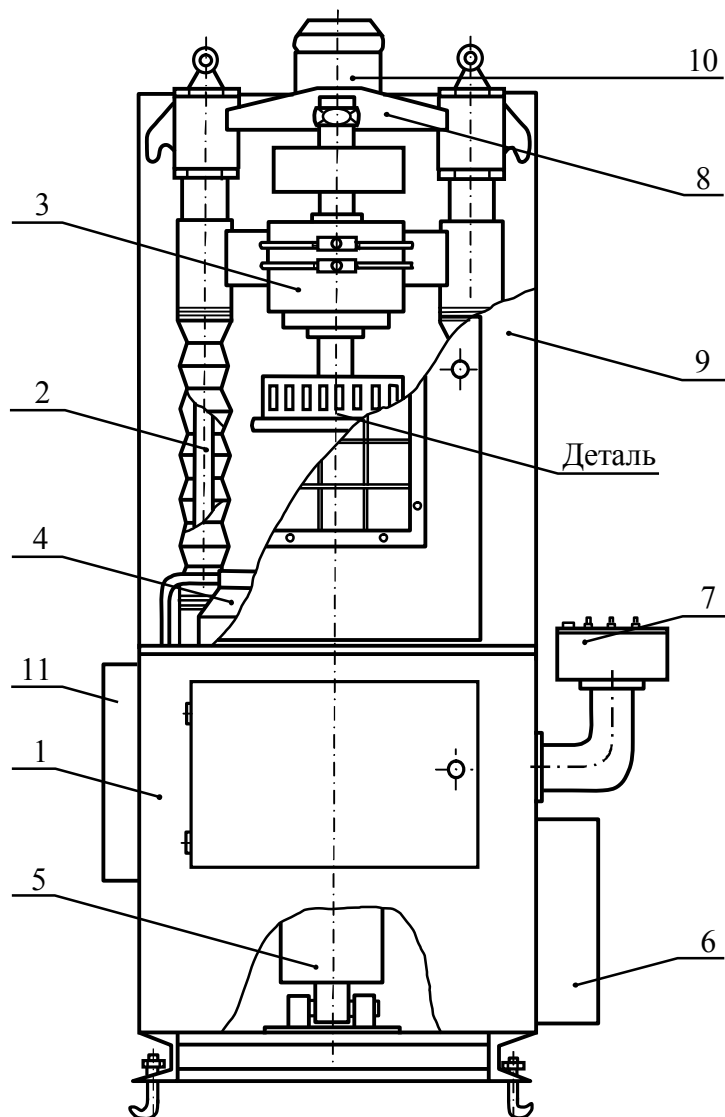


Рис. 74. Установка для снятия заусенцев и скругления кромок

Амплитуда осцилляций силовой головки устанавливается с помощью двух «флажков», взаимодействующих с двумя бесконтактными датчиками.

Технологические данные для выполнения операции гидроабразивной обработки деталей следующие.

1. Рабочей средой является гидросuspension, состоящая из абразивного зерна и рабочей жидкости в состав которой входят: эмулсол (ГОСТ 6243), кальцинированная сода (ГОСТ 5100) и вода.

2. Абразивное зерно марки 2А, 38А, 14А, 9А, 91А, 94А (ГОСТ 28818), зернистостью 63 – 120 (ГОСТ Р 52381). Разрешается смесь абразивных материалов одной зернистости.



3. Рабочая жидкость состоит из следующих компонентов в процентном соотношении:

- эмулсол Э2 от 3,5 до 5,0 %;
- кальцинированная сода от 0,2 до 0,5 %;
- остальное вода.

4. Уровень гидроабразива в баке не должен быть ниже 100 – 130 мм от верхнего среза.

Технические характеристики установки.

1. Давление воздуха на входе в установку от 0,3 до 0,5 мПа.
2. Давление воздуха, подаваемое на барбатаж, не более 0,1 мПа.
3. Ход силовой головки – 470 мм.
4. Амплитуда силовой головки 15 мм.
5. Частота осцилляции силовой головки до 3 Гц.
6. Наибольший диаметр обрабатываемой детали не более 250 мм, наибольшая высота 150 мм.
7. Расстояние от нижней кромки шпинделя до нижней кромки детали составляет не более 290 – 300 мм.
8. Требуемая частота вращения шпинделя выбирается в зависимости от диаметра обрабатываемой детали согласно табл. 3.

Таблица 3

Диаметры обрабатываемых деталей

Число оборотов шпинделя, об/мин	Диаметр обрабатываемой детали, мм	Скорость обработки, м/с
1870	250 – 206	25 – 20
	206 – 153	20 – 15
3157	206 – 153	34 – 25
	153 – 100	25 – 17
4780	153 – 100	38 – 25

### 3.8. ВИБРОАБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ НА ТОРОИДАЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Тороидальная виброабразивная установка предназначена для снятия нагара продуктов коррозии, заусенцев, скругления кромок и полирования поверхностей на ремонтных и новых деталях ГТД виброабразивным методом.

Виброабразивная обработка деталей на тороидальных установках осуществляется за счет независимого перемещения абразивных гранул и

деталей в контейнере установки. Детали во время обработки могут находиться как в свободном состоянии, так и крепиться в приспособлении. В процессе обработки через абразивный наполнитель в контейнере прокачивается промывочная жидкость, которая уносит в отстойник шлам (продукт обработки).

Данный метод обработки при полировке, снятии заусенцев, нагара, продуктов коррозии, скругления острых кромок на деталях позволяет:

- увеличить производительность труда в несколько раз по сравнению ручной слесарной обработкой;
- снизить шероховатость и стабилизировать качество поверхностей деталей;
- повысить культуру производства.

Установки типа ТВУ-80 (рис. 75) состоят из вибратора и тумбы. Внутри тумбы находится рециркуляционная камера. Сверху на тумбе крепится пульт управления.



Рис. 75. Установка ТВУ-80 для очистки рабочих и направляющих лопаток

Вибратор содержит рабочий контейнер тороидаальной формы, установленный на резиновых амортизаторах. Вынужденные колебания контейнеру сообщаются при помощи дебалансового возбудителя.

Вибровозбудитель представляет собой вал, на концах которого закреплены эксцентриковые грузы – дебалансы. Каждый дебаланс состоит из двух секторов, которые устанавливаются друг относительно друга под любым углом. Вал вращается на двух подшипниках, закрепленных в корпусе-трубе. Вращение вала вибровозбудителя осуществляется от электродвигателя через эластичную гибкую муфту. Рабочая камера контейнера осуществляет колебания в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Обработываемые детали и абразивный наполнитель вибрируют и движутся по винтовой траектории.

При вращении вала возбудителя создается центробежная сила, которая вызывает колебания контейнера. Регулирование амплитуды и параметра направленного движения массы, находящейся в контейнере, достигается изменением взаимного расположения секторов верхнего и нижнего дебалансов. Угол разворота фиксируется по шкале.

Все узлы вибратора установлены на массивную станину, применение которой придает вибратору способность противостоять разрушению от собственных вибраций.

Для снижения шума внутри контейнера установлен вкладыш из полиуретана, а сверху контейнер закрывается обрезной крышкой. Слив промыльной жидкости из контейнера производится через сливной патрубок и рукав в отстойник рециркуляционной камеры.

Подача жидкости из рециркуляционной камеры производится с по-

Разрешается комбинация из этих материалов в различных соотношениях.

2. При удалении нагара и продуктов коррозии с ремонтных лопаток разрешается использовать в той же пропорции дробленые отходы шлифовальных кругов марки 24А6...24А16 с твердостью СТ или более высокой степенью твердости размером 5 – 30 мм.

3. В качестве промывочно-активизирующей жидкости используются различные технические моющие средства, а также суспензии и растворы, улучшающие качество полировки деталей, такие как «Виброл», «Полирол», клей КМЦ и др.

4. При удалении нагара и продуктов коррозии с деталей, собранных в узлы, в качестве промывочно-активизирующей жидкости применяют холодную водопроводную воду.

При полировании деталей и скруглении радиусов на деталях применяется смесь абразивных гранул в различных соотношениях. При скруглении радиусов на кромках лопаток применяется смесь абразивных гранул: 40 % призм трехгранных ПТ5; 30 % призм трехгранных ПТ10; 30 % фарфоровых шаров диаметром 6,1 мм.

5. При снятии заусенцев и скруглении острых кромок на деталях:

- при виброабразивной обработке для снятия заусенцев и скругления острых кромок на деталях применяется смесь абразивных гранул 24А6...24А16 с твердостью СТ и более высокой степенью твердости размером 5 – 30 мм;

- в качестве промывочно-активизирующей жидкости при снятии заусенцев и скруглении кромок деталей из нержавеющей сталей и сплавов, титана применяется холодная водопроводная вода;

- при виброобработке деталей из других материалов применяются различные технические моющие средства.

6. Количество наполнителя вместе с обрабатываемыми деталями не должно превышать массу, указанную в паспорте на конкретную виброустановку.

7. Режим обработки: частота вращения, амплитуда колебаний, соотношение наполнителя и деталей, время обработки – определяется опытным путем для конкретного вида обработки.

8. После окончания виброабразивной обработки детали отделяются от наполнителя и промываются.

### 3.9. ВИБРОПОЛИРОВАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА НА УСТАНОВКАХ ФИРМЫ «RÖSLER»

Общий вид установки приведен на рис. 76. Технические характеристики установки R620 приведены в табл. 4, а установки R420 – в табл. 5.

Детали при обработке устанавливаются в специальном приспособлении или находятся в свободном (незакрепленном) виде. Приспособления для закрепления деталей необходимо изготавливать из антикоррозионного материала с целью снижения загрязнения рабочей среды.

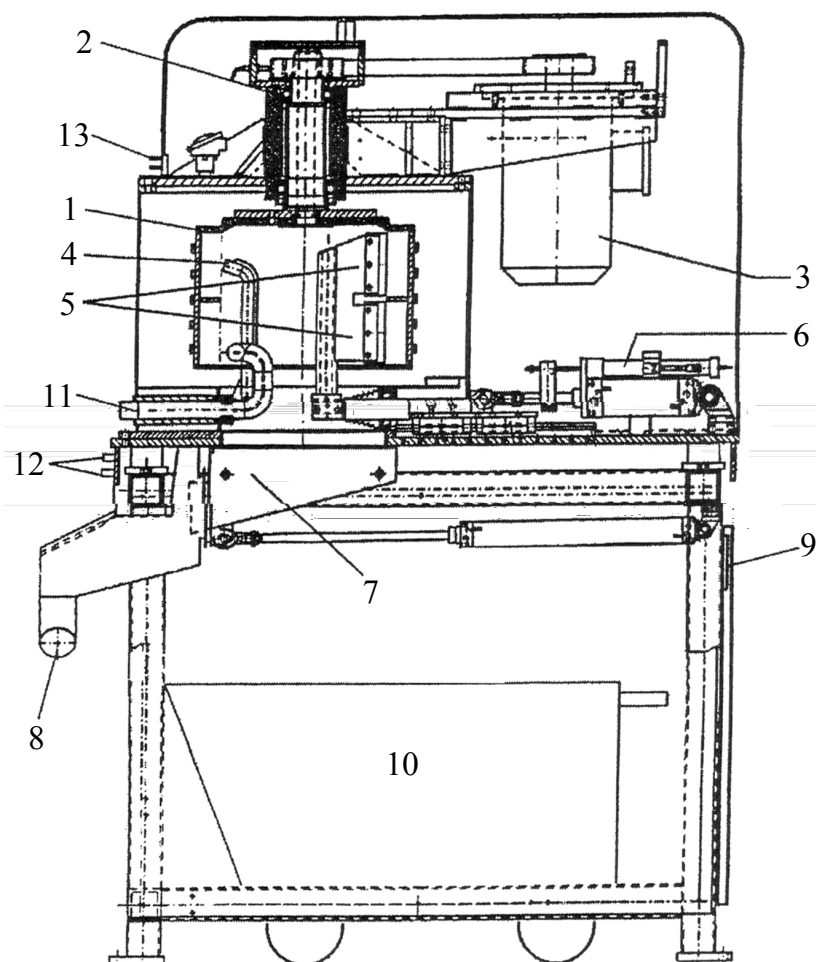


Рис. 76. Схема установки для виброабразивной обработки:

- 1 – барабан центрифуги; 2 – подшипники;
- 3 – приводной двигатель; 4 – подвод технологической воды;
- 5 – кронштейн с ножом для отделения шлама;
- 6 – устройство для отделения шлама;
- 7 – приемная ванна для остаточной воды;
- 8 – выход остаточной воды;
- 9 – кожух с дверцей и предохранительной блокировкой;
- 10 – тележка для шлама «Око-Рак»;
- 11 – труба для отделения шлама (выход чистой воды);
- 12 – пневматические подключения и смазка для устройства отделения шлама;
- 13 – смазка для подшипников барабана



Таблица 4

## Технические характеристики виброполировальной установки R620

Характеристика	Размерность	R620
<i>Рабочая емкость</i>		
– общий объем	л	620
– толщина мет. листа	мм	7
– внешний диаметр	мм	1700
– ширина рабочей камеры	мм	430
– длина окружности рабочей емкости	мм	3510
– диаметр выпускного отверстия	мм	190
– вес без загрузки	кг	1150
– габариты Д×Ш	мм	1700×1700
– верхняя корма рабочей емкости	мм	1200
– давление на пол	кг/м <sup>2</sup>	3000
<i>Толщина покрытия</i>		
– синтетический каучук (Super 2000, 730H)	мм	20
– полиуретан (горячее литье) стандарт	мм	20
<i>Привод</i>		
– число оборотов	об/мин	1500
– число оборотов при сепарации	об/мин	1000
– мощность привода	кВт	5,5
– центробежная сила	Н	Макс. 68000
Рабочее напряжение	В	400/230V.50Hz3Ph N/PE

Таблица 5

## Технические характеристики виброполировальной установки R420

Характеристика	Размерность	R420 EC
<i>Рабочая емкость</i>		
– общий объем	л	420
– толщина металлического листа	мм	7
– внешний диаметр	мм	1520
– ширина рабочей камеры	мм	365
– длина окружности рабочей емкости	мм	3245
– диаметр выпускного отверстия	мм	190
– вес без загрузки	кг	1020
– габариты Д×Ш	мм	1520×1650
– верхняя корма рабочей емкости	мм	1240
– давление на пол	кг/м <sup>2</sup>	1000
<i>Толщина покрытия</i>		3000
– синтетический каучук (Super 2000, 730H)	мм	–
– полиуретан (горячее литье) стандарт	мм	16

Окончание табл. 5

Характеристика	Размерность	R420 EC
<i>Привод</i>		
– число оборотов	об/мин	1260×360
– число оборотов при сепарации	об/мин	4600
– мощность привода	кВт	5,5
– центробежная сила	Н	макс.50 000
Рабочее напряжение	В	400/230V.50Hz3Ph N/PE

Поверхности, не подлежащие виброабразивной обработке, должны быть изолированы. Для изоляции используются материалы, которые не загрязняют рабочую среду и имеют малый износ (полиуретан, каучук и т. д.)

Рабочая среда в виброполировальных установках представляет собой гранулы, состоящие из абразивных зерен и связки. Гранулы могут иметь разнообразную форму и зернистость абразивной составляющей. В табл. 6 содержатся типы гранул, предлагаемые фирмой «RÖSLER». Для выбора типа гранул следует принимать во внимание следующее:


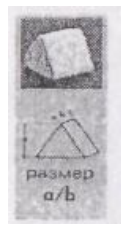


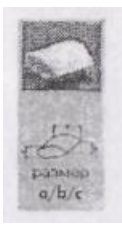




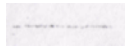


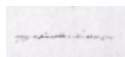
- абразивные гранулы должны быть меньше обрабатываемых деталей для упрощения сепарации при использовании операционных сит;
- зернистость гранул должна соответствовать требуемому качеству поверхности детали после обработки;
- форма гранул выбирается исходя из формы обрабатываемых деталей, гранула должна легко проникать к поверхностям детали, подлежащим обработке и не застревать в сужениях и пазах.

В случае обработки деталей сложной формы в первую очередь необходимо выбрать гранулы подходящей формы и размеров. Гранула должна легко проникать ко всем поверхностям, требующим обработки.










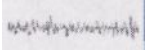

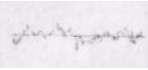
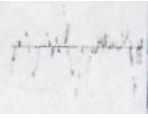
Детали в одном наполнителе целесообразно обрабатывать не более 2 ч. Это связано с тем, что максимальное снижение шероховатости происходит первые 1,5 – 2 ч обработки. В дальнейшем шероховатость обрабатываемой поверхности улучшается незначительно. Если за 2 ч требуемая шероховатость не достигнута, необходимо сменить обрабатываемую среду (гранулы) на гранулы с меньшим зерном или в случае отсутствия таковых добавить абразивной пасты. К этой операции не следует прибегать, если требуется незначительное улучшение шероховатости ( $\approx 0,1$  мкм), такое улучшение может быть достигнуто продолжением обработки в исходных гранулах.

Таблица 6

## Типы гранул, предлагаемые фирмой «RÖSLER»

Качество	Вес г/см <sup>3</sup>	Картина шлифовки	Треугольник <i>D</i>	Треуголь- ник <i>F</i>	Наклонный разрез тре- угольника <i>S</i>	Звезда <i>ST</i>	Эллипс <i>E</i>	Наклонный разрез эллипса <i>ES</i>	Цилиндр <i>Z</i>	Наклонный разрез цилиндра <i>ZS</i>	Угольник <i>W</i>
											
Keramo Finish RP	2,91		03/03 04/04• 06/06• 10/10		05/10		08/09/03 20/20/08		1,7/05 03/05 03/10• 04/10• 06/10• 07/15•	02/05• 03/05• 03/10• 04/05• 04/10• 04/13 05/10• 06/10• 06/13• 07/15•	
RF	2,40		3/03 04/04 6/06• 10/10• 3/13 15/10•						06/08	10/10	
RCP	2,60		04/04• 06/06		09/09• 20/08		15/15/06 20/20/08•			2/05 03/05• 4/05 04/10• 6/10• 10/08•	
RM	2,49		03/03• 04/04• 06/06• 08/08• 10/10• 13/13• 15/15• 20/20• 25/25• 30/30• 40/40	06/06 38/08 10/10 13/13• 15/15•	3/1004/10• 6/10• 08/20• 0/15• 10/20• 3/26• 15/15 5/18• 16/32 0/20 20/30• 5/25• 30/25	20/08 22/12• 30/12 35/12• 45/16•	15/15/04 15/1 5/06• 20/20/08•	05/08 06/10 07/15 10/16 20/40•	2/05 03/05 3/10• 04/10• 5/10 06/13• 7/15• 10/15 0/20• 12/20 2/25• 15/25 5/30•	10/05 10/10• 15/10• 15/15 20/20	

Продолжение табл. 6

Качество	Вес г/см <sup>3</sup>	Картина шлифовки	Треугольник <i>D</i>	Треугольник <i>F</i>	Наклонный разрез тре- угольника <i>S</i>	Звезда <i>ST</i>	Эллипс <i>E</i>	Наклонный разрез эллипса <i>ES</i>	Цилиндр <i>Z</i>	Наклонный разрез цилиндра <i>ZS</i>	Угольник <i>W</i>
											
RSF	2,39		4/04 06/06 0/06• 10/10• 5/10• 15/15 0/12• 20/20•		10/15 15/18•	22/12	15/12/05 15/15/06• 20/20/08•			3/05• 7/15• 0/15 0/20	
RSG	2,51		3/03 04/04• 6/06• 08/08• 0/10• 13/13• 5/15• 20/20• 5/25• 30/30• 0/40	10/10• 13/13 15/15	6/10 10/15 0/20 13/26 5/18• 20/20• 0/30• 25/25• 30/25•	20/08 22/12 35/12 45/16	10/12/05 15/15/06 20/20/08		07/15• 10/16	2/05 03/05• 3/10 04/10 5/10 06/13• 7/15• 10/20• 2/20 12/25 5/25 15/30	15/15 20/20
RXF	2,63		06/06 10/10 13/13 15/15 20/20 25/25	10/10 13/13	06/10 10/15 15/18 30/23			20/20/08		03/05 07/15 10/20	
RAH	2,55		06/06• 10/10• 15/15• 20/20• 25/25• 30/30•		10/15 13/20 15/18• 25/25 30/30	45/16	15/15/06			06/13 10/20	

Продолжение табл. 6

Качество	Вес г/см <sup>3</sup>	Картина шлифовки	Треугольник <i>D</i>	Треугольник <i>F</i>	Наклонный разрез тре- угольника <i>S</i>	Звезда <i>ST</i>	Эллипс <i>E</i>	Наклонный разрез эллипса <i>ES</i>	Цилиндр <i>Z</i>	Наклонный разрез цилиндра <i>ZS</i>	Угольник <i>W</i>
											
RX	2,60		06/06 10/10 15/15 20/20	08/08 10/10 15/15	08/20 10/15 15/18 30/23					07/15 10/20	
RMB/D1	2,55		06/06 10/10• 15/15• 20/20•		<u>0/15• 15/18•</u> 0/20 25/25 0/23•		15/15/06 20/20/08•			07/15• 10/20•	
RXX	3,67		10/10 15/15 20/20	10/10 15/15 25/25	10/15 15/18 30/30					10/20	20/20





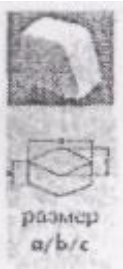
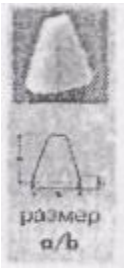

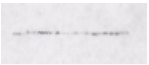
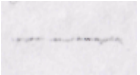
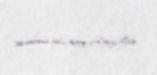
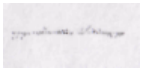
• – стандартная программа

Картина шлифовки представлена для ориентировочного определения шероховатости.





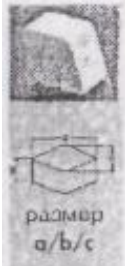


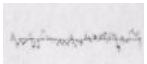
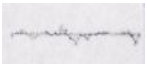

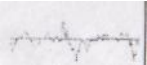
В зависимости от исходной шероховатости в гранулах RCP-09/09 можно получить шероховатость до  $Ra$  0,1, а в гранулах MB/D110/15, RMB/D15/18 до  $Ra$  0,4.







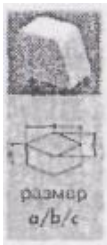


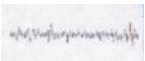

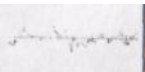
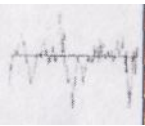
Продолжение табл. 6

Качество	Вес г/см <sup>3</sup>	Картина шлифовки	Трехконечник <i>DZ</i>	Наклонный разрез трехконечника <i>DZS</i>	Пирамида <i>P</i>	Конус <i>K</i>	Ромб <i>R</i>	Параболоид <i>PA</i>	Гранулят <i>G</i>
									
Keramo Finish RP	2,91		04/04• 05/05 06/06•				15/15/06	25/25/13	
RF	2,40								
RCP	2,60		04/04 06/06						
RM	2,49		04/04• 06/06• 10/10• 20/20	06/06 06/10• 10/12• 15/18• 20/20	15/16• 22/25 25/27• 30/34• 35/39• 40/45 45/50•	20 30• 35 40 45 60	50/30/30	50/30/30	,2• • • • • • • 1•






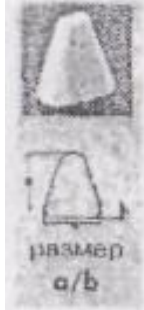


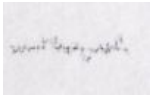
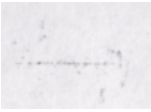
Продолжение табл. 6

Качество	Вес г/см <sup>3</sup>	Картина шлифовки	Трехконечник <i>DZ</i>	Наклонный разрез трехконечника <i>DZS</i>	Пирамида <i>P</i>	Конус <i>K</i>	Ромб <i>R</i>	Параболоид <i>PA</i>	Гранулят <i>G</i>
									
RPM	2,50				5/16● 5/27 0/34 5/39	30			
RGB	2,50				30/34 35/39● 40/45	30 40			
RS	3,52		04/04 06/06● 07/07 10/10● 20/20	04/04 06/10● 10/12● 10/15 15/18● 20/20● 30/12	15/16●22/25 25/27● 30/34● 35/39● 40/45● 45/50●	20 30● 35● 40	50/30/30 50/40/30	30/17 50/28	4● 6
RSS	2,52			10/12● 15/18			50/30/30● 50/40/30 50/40/40●		

Продолжение табл. 6

Качество	Вес г/см <sup>3</sup>	Картина шлифовки	Трехконечник <i>DZ</i>	Наклонный разрез трехконечника <i>DZS</i>	Пирамида <i>P</i>	Конус <i>K</i>	Ромб <i>R</i>	Параболоид <i>PA</i>	Гранулят <i>G</i>
									
RSF	2,39			10/12• 15/18					
RSG	2,51		04/04• 05/05 06/06• 10/10•	06/10 10/12• 15/18• 20/20	15/16• 25/27• 30/34• 35/39• 40/45 45/50				4 6
RXF	2,63			10/12 15/18					
RAH	2,55								

Окончание табл. 6

Качество	Вес г/см <sup>3</sup>	Картина шлифовки	Трехконечник <i>DZ</i>	Наклонный разрез трехконечника <i>DZS</i>	Пирамида <i>P</i>	Конус <i>K</i>	Ромб <i>R</i>	Параболоид <i>PA</i>	Гранулят <i>G</i>
									
RX	2,60			10/112• 15/18					
<u>RMB/D1</u>	2,55			10/12 15/18•			50/30/30		
RXX	3,67			10/12					

Гранулы рекомендуется выбирать в зависимости от начальной шероховатости поверхности, подлежащей обработке:

$Ra$  6,3 ... 1,25 – гранулы RMB/D1 15/18;

$Ra$  1,25 ... 0,63 – гранулы RCP 09/09 S;

$Ra$  0,63 ... 0,32 – гранулы RCP 09/09 S с пастой RSP 506.

На рис. 77 – 84 приведены зависимости шероховатости пера лопаток от времени обработки.

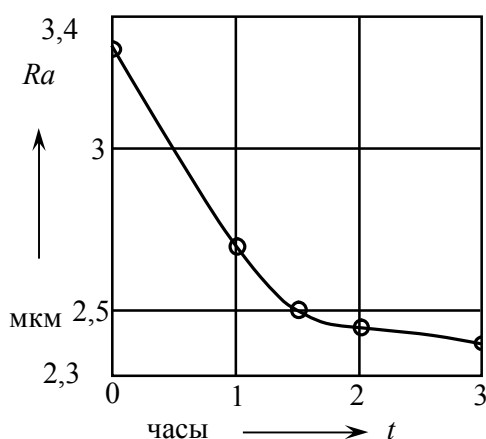


Рис. 77. Зависимость шероховатости пера лопатки от времени при обработке в гранулах RMB/D1 15/18 с частотой колебаний 50 Гц и амплитудой 3 мм. Начальная шероховатость  $Ra = 3,34$  мкм. Длина лопаток в пределах от 50 до 140 мм. Материал 15X16M2AM-Ш

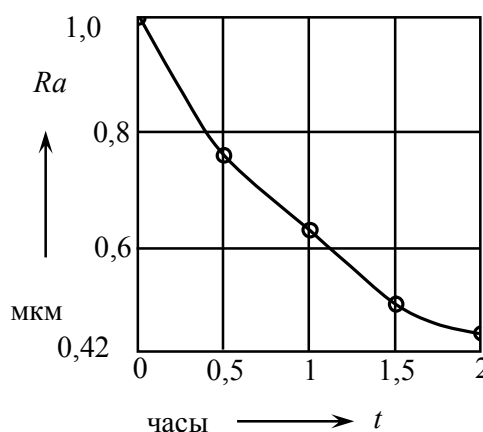


Рис. 78. Зависимость шероховатости пера лопатки от времени при обработке в гранулах RCP 09/09 S с частотой колебаний 50 Гц и амплитудой 3 мм. Начальная шероховатость  $Ra = 1,04$  мкм. Длина лопаток в пределах от 50 до 140 мм. Материал 15X16M2AM-Ш

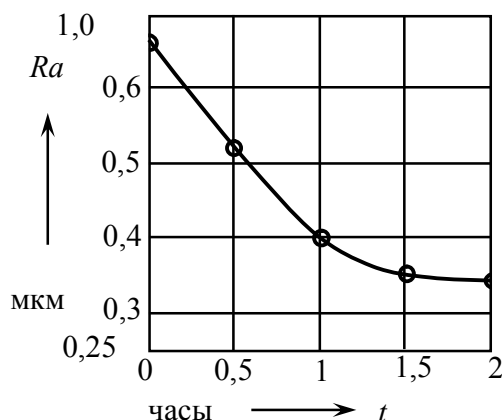


Рис. 79. Зависимость шероховатости пера лопатки от времени при обработке в гранулах RCP 09/09 S с абразивной пастой RSP 506. Частота колебаний 50 Гц, амплитуда 3 мм. Начальная шероховатость  $Ra = 0,66$  мкм. Длина лопаток в пределах от 30 до 60 мм. Материал BT8

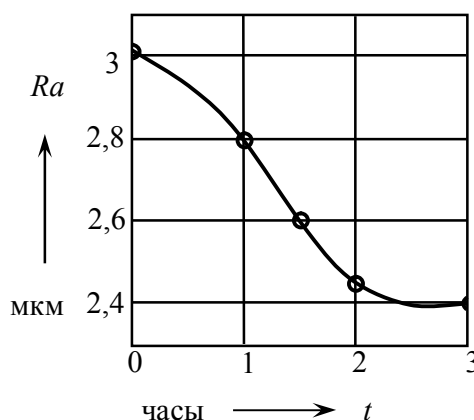


Рис. 80. Зависимость шероховатости пера лопатки от времени при обработке в гранулах RCP 09/09 S с абразивной пастой RSP 506. На перо лопатки нанесено покрытие СДП 6. Частота колебаний 50 Гц, амплитуда 3 мм. Начальная шероховатость  $Ra = 3,08$  мкм. Длина лопатки  $\approx 100$  мм



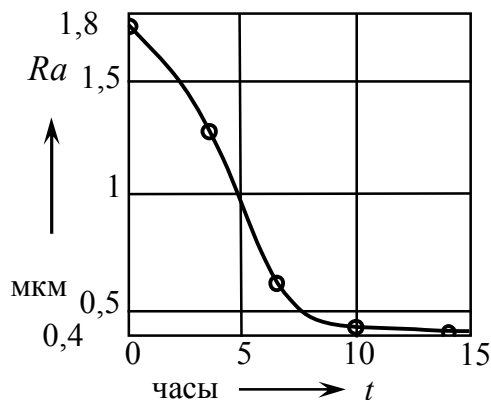


Рис. 81. Зависимость шероховатости нижней части корыта лопатки вентилятора 366-000-701-0 двигателя SaM-146 (100 мм от замка) от времени при обработке в гранулах RSG 3/5 ZS. Частота колебаний 50 Гц, амплитуда 3 мм. Начальная шероховатость  $Ra = 1,78$  мкм. Длина лопатки от 500 до 600 мм. Материал ВТ6

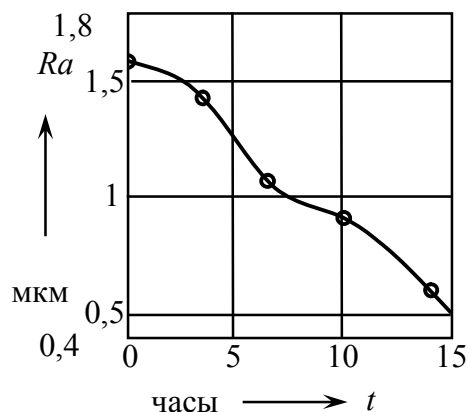


Рис. 82. Зависимость шероховатости верхней части корыта лопатки вентилятора 366-000-701-0 двигателя SaM-146 от времени при обработке в гранулах RSG 3/5 ZS. Частота колебаний 50 Гц, амплитуда 3 мм. Начальная шероховатость  $Ra = 1,6$  мкм. Длина лопатки от 500 до 600 мм. Материал ВТ6

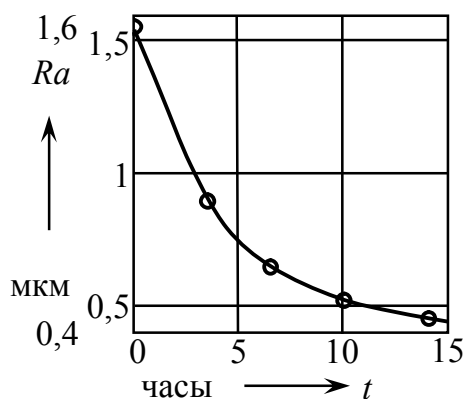


Рис. 83. Зависимость шероховатости нижней части спинки лопатки вентилятора 366-000-701-0 двигателя SaM-146 (100 мм от замка) от времени при обработке в гранулах RSG 3/5 ZS. Частота колебаний 50 Гц, амплитуда 3 мм. Начальная шероховатость  $Ra = 1,54$  мкм. Длина лопатки от 500 до 600 мм. Материал ВТ6

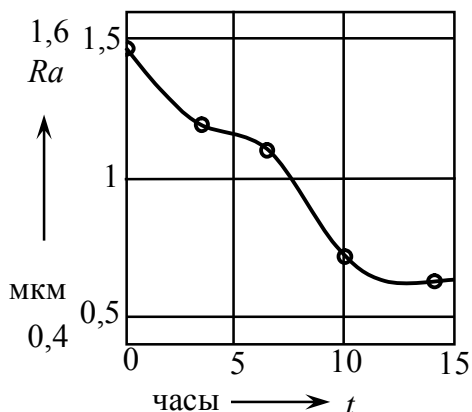


Рис. 84. Зависимость шероховатости верхней части спинки лопатки вентилятора 366-000-701-0 двигателя SaM-146 от времени при обработке в гранулах RSG 3/5 ZS. Частота колебаний 50 Гц, амплитуда 3 мм. Начальная шероховатость  $Ra = 1,48$  мкм. Длина лопатки от 500 до 600 мм. Материал ВТ6

### 3.10. ТЕРМОИМПУЛЬСНОЕ УДАЛЕНИЕ ЗАУСЕНЦЕВ

Термоимпульсное удаление заусенцев является эффективным способом автоматизации трудоемких отделочно-зачистных операций.

Разработанная технология, благодаря возможности регулирования длительности теплового воздействия, позволяет обрабатывать наружные и внутренние поверхности деталей и заготовок различной конфигурации, выполненных из конструкционных сталей, титановых, алюминиевых, магниевых и других сплавов, пластмассовых и резинотехнических изделий. Для этих целей используется термоимпульсная установка Т-15 (рис. 85).

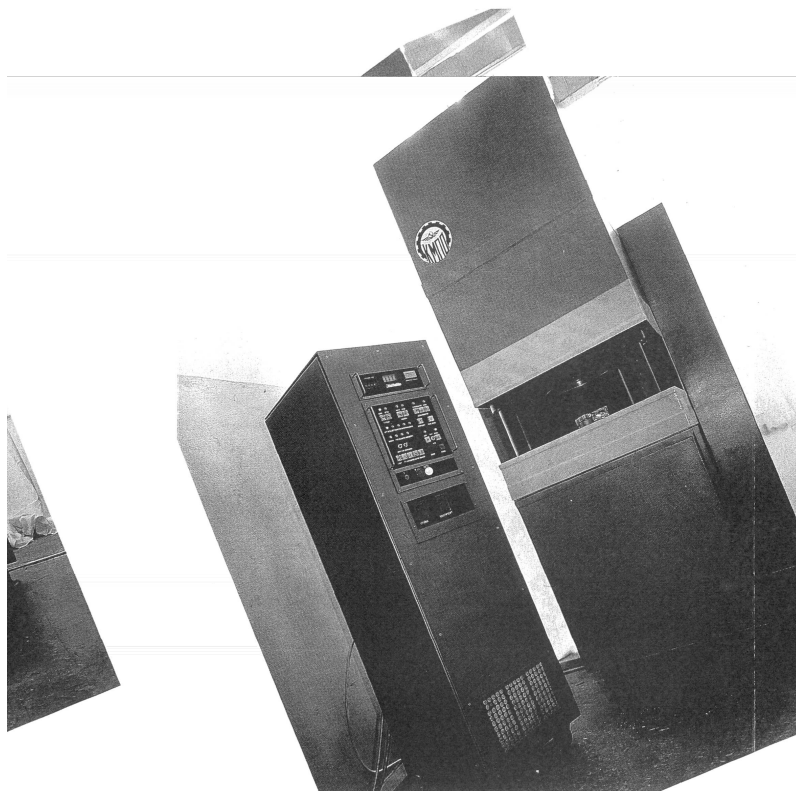


Рис. 85. Термоимпульсная установка для удаления заусенцев

По сравнению с аналогами установка обеспечивает более высокое качество обработки, т. к. устраняется конденсация продуктов сгорания и, соответственно, загрязнение камеры и деталей, а также перегрев и химическое травление окислов.

Технические характеристики установки:

- объем рабочей камеры, м<sup>3</sup> ..... 0,015
- давление горючей смеси, МПа ..... до 2,0
- длительность теплового воздействия на детали, с ..... 0,05 и более
- длительность цикла, с ..... 15...30
- установленная мощность, кВт ..... 2,0
- габариты установки, м ..... 1,2×1,2×2,4
- масса установки, кг ..... 3600

Примеры деталей, обработанных на установке Т-15, приведены на рис. 86.

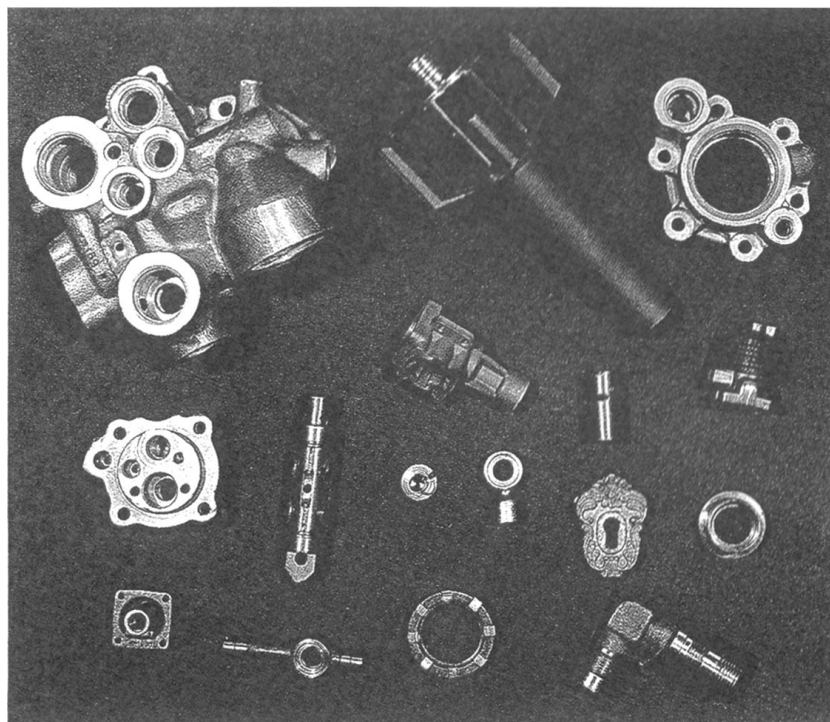


Рис. 86. Примеры обрабатываемых деталей на установке Т-15

Принятые технические решения по сравнению с аналогичными отечественными и зарубежными разработками обеспечили снижение металлоемкости нового оборудования в 2 – 4 раза, потребление электроэнергии в 10 – 12 раз, уменьшение габаритов в плане. Предусмотрено использование различных газообразных углеводородных топлив и быстрая переналадка режимов. Улучшились условия труда за счет очистки удаляемых из рабочей зоны продуктов сгорания.

### 3.11. УДАЛЕНИЕ НАГАРА И КОРРОЗИИ С ДЕТАЛЕЙ

Для удаления нагара и коррозии обдувкой применяются установки: пескоструйные камеры моделей Г93А и Г147 (рис. 87, 88).

Детали при обдувке обычно размещаются на вращающемся столе или устанавливаются в специальные приспособления. Мелкие детали обдуваются в проволочном контейнере (корзине).

Приспособления для установки и закрепления деталей необходимо изготавливать из антикоррозионного материала с целью снижения загрязнения рабочей среды. Поверхности, не подлежащие обдувке, должны быть изолированы. Для изоляции используются материалы, которые не загрязняют рабочую среду и имеют малый износ (полиуретан, каучук и т. д.).

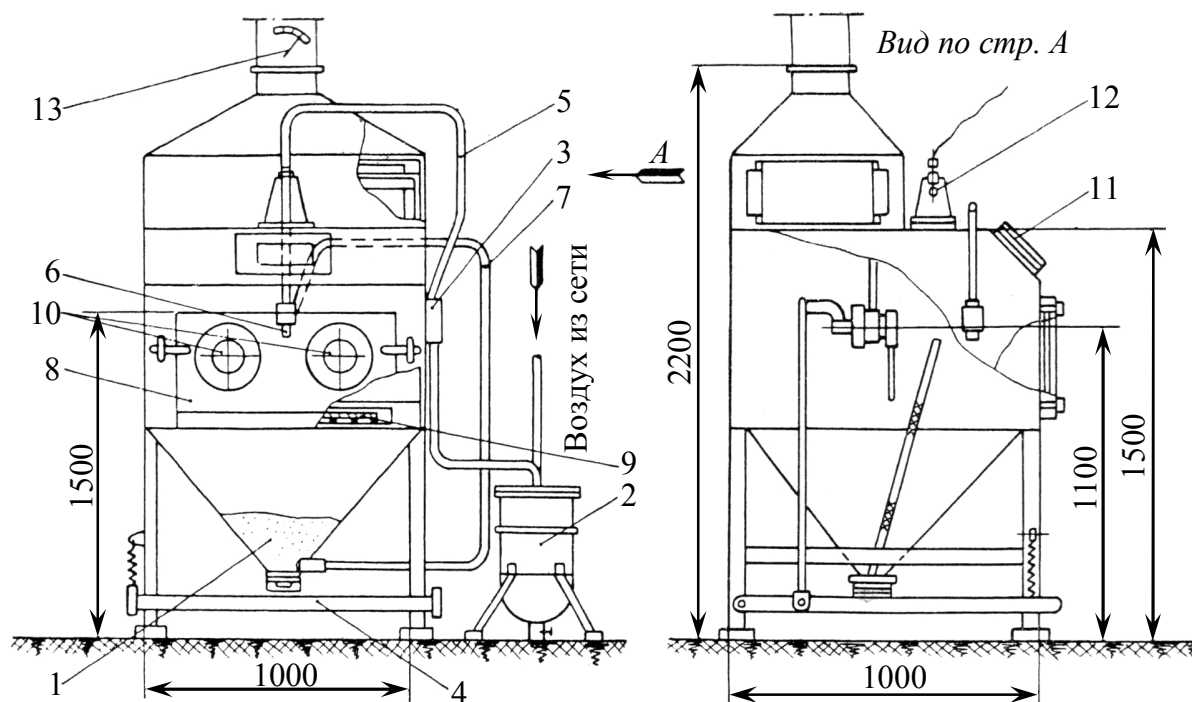


Рис. 87. Пескоструйный аппарат Г-93А:

1 – бункер; 2 – фильтр; 3 – золотник; 4 – ножная педаль; 5 – шланг для воздуха; 6 – сопло; 7 – шланг для песка; 8 – дверка; 9 – рабочий стол; 10 – рабочие окна; 11 – смотровое окно; 12 – фонарь; 13 – дроссель вытяжной вентиляции

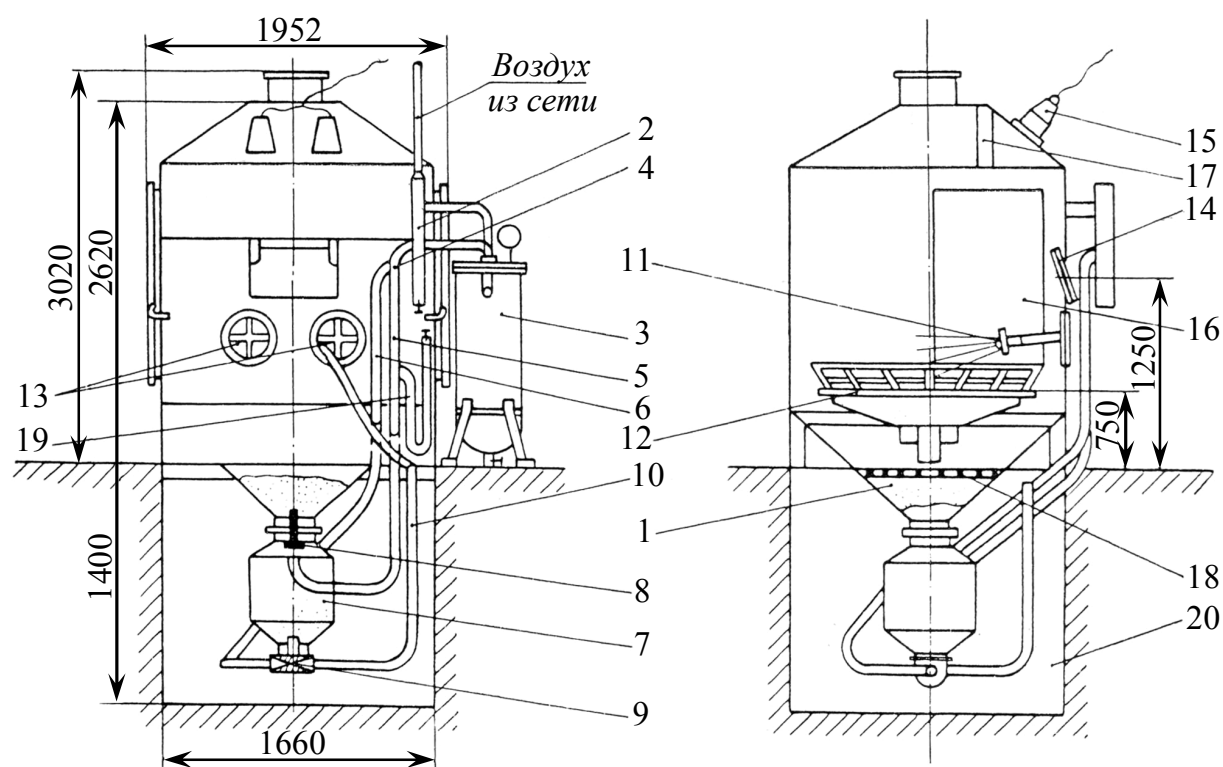


Рис. 88. Пескоструйный аппарат Г-147:

1 – бункер; 2 – влагоотстойник; 3 – фильтр; 4, 5, 6 – трубопроводы; 7 – смеситель; 8 – клапан; 9 – тройник; 10 – шланг; 11 – сопло; 12 – стол; 13 – рабочие окна; 14 – смотровое окно; 15 – фонари; 16 – дверцы; 17 – щель; 18 – сетка; 19 – спускной шланг; 20 – приямок

В качестве рабочей среды используются:

- при сухой обдувке деталей с целью снятия нагара и коррозии абразивное зерно марки 24А (25А) 6 – 10 по ГОСТ 28818-90, зерновой состав по ГОСТ 3647 или микродробь из материала ЭП-741 размером  $\varnothing 0,4$  (не более) по ТУ 1-908-85;

- при выполнении мокрой обдувки абразивное зерно 63С (64С) или марки 14А 24А, 25А, 32 – 40 по ГОСТ 28818, зерновой состав по ГОСТ 3647, кварцевый песок марки 2К<sub>1</sub>О<sub>2</sub> 01 – 03 по ГОСТ 2138 и воду.

Объемное соотношение абразивного зерна (кварцевого песка) и воды следующее: на 100 % воды должно быть от 30 до 40 % кварцевого песка.

Сухую обдувку деталей и сборочных единиц следует производить при давлении воздуха поступающего к соплу от 0,05 до 0,5 МПа. Обдувку тонкостенных деталей с толщиной обдуваемой стенки менее 1 мм, с целью снижения коробления деталей необходимо производить при давлении воздуха от 0,1 до 0,15 МПа.

Гидроабразивная (гидропескоструйная) обдувка деталей производится при давлении воздуха от 0,2 до 0,4 МПа и давлении суспензии от 0,07 до 0,12 МПа.

Расстояние от среза сопла до обрабатываемой поверхности, выдерживается в пределах от 100 до 120 мм. Угол направления струи к обрабатываемой поверхности должен быть от 45 до 90°.

Поверхности, подлежащие обдувке, должны быть чистыми, не иметь следов от смазки и масляных загрязнений. Гальванические покрытия с деталей должны быть удалены.

После гидроабразивной (гидропескоструйной) обдувки выполняется промывка деталей проточной водой.

### 3.12. ОЧИСТКА ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ПЕСКОМ

Технология очистки деталей металлическими песками ничем не отличается от очистки их кварцевым песком.

Чугунный песок применяется для очистки чугунного литья и деталей из углеродистой, конструкционной и легированной стали после термической обработки, до и после сварки, перед окраской и покрытием (оксидированием и кадмированием, цинкованием, лужением, меднением, эмалированием и т. п.).

Для различных условий работы рекомендуется применение соответствующих фракций чугунного песка: для очистки чугунного литья – песок крупных фракций 1 – 15 мм; для обычной (грубой) очистки стальных деталей от окалины и под окраску – песок средних фракций 0,5 – 0,8 мм; для тонкой очистки деталей песок мелкой фракции 0,3 мм; для очистки деталей под азотирование, а также режущего инструмента (протяжек, шевелов, фрез и т. п.) после термической обработки песок фракций 0,15 – 0,2 мм. Мелкий чугунный песок фракций 0,15; 0,2 мм отбирается из более крупных фракций 0,3; 0,5; 0,8 путем просеивания отходов пескоструйных аппаратов через сита.

Чугунный песок нельзя применять для очистки деталей цветного литья (из алюминиевых и магниевых сплавов) и деталей из нержавеющей сталей, т. к. на их поверхности вследствие шаржирования её отдельными мелкими частицами песка возникает коррозия.

Крупные фракции песка 1,5 и 2 мм целесообразно применять вместо крупной чугунной дроби на дробеметных аппаратах всех моделей, что даст возможность повысить качество и производительность очистки. Все конструкции дробеметных аппаратов могут быть использованы для работы на чугунном песке без каких-либо переделок.

Алюминиевый песок применяется для очистки сталей цветного литья (из алюминиевых и магниевых сплавов) после отливки и термической обработки, перед покрытиями и окраской. При этом используется два вида песка: литой и из стружки. Для всех видов очистки деталей следует применять литой алюминиевый песок фракции 0,3 – 0,5 мм и алюминиевый песок из стружки фракций 0,5 – 0,8 мм.

Стальной песок специального состава применяется для очистки деталей из нержавеющей сталей после отливки, до и после сварки, после термической обработки, перед покрытиями и окраской. Им можно заменить чугунный песок при всех видах очистки деталей.

### 3.13. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПЕСКАМИ

Для ручной очистки деталей небольшого размера весом от 50 г до 10 кг применяются пескоструйные аппараты Г-93А (рис. 87).

В бункер 1 засыпают до 150 кг металлического песка и в дальнейшем ежесменно еще добавляют. Воздух из сети под давлением до 5 мПа проходит через фильтр 2, в котором очищается от влаги, и поступает в зо-



лотник 3. Нажимая ножную педаль 4, рабочий подает воздух через золотник 3 по шлангу 5 в полость корпуса сопла 6, где создается вакуум, благодаря которому металлический песок засасывается в сопло через шланг 7. Очищаемые детали через дверку 8 закладываются на рабочий стол 9. Рабочий-пескоструйщик, просовывая руку в рабочее окно 10, передвигает очищаемые детали под струю воздуха с песком, вылетающую из сопла 6. Наблюдают за очисткой через смотровое окно 11. Внутренняя часть камеры, в которой производится очистка, освещается фонарем 12. Сила вытяжки продуктов очистки и мелкой металлической пыли регулируется дросселем вытяжной вентиляции 13. С целью предотвращения потерь дорогого металлического песка и попадания мелкой металлической пыли и продуктов очистки в зону дыхания рабочего в аппарате Г-93А предусмотрена соответствующая герметизация всех мест разъема: дверки, рабочих и смотрового окон, светового фонаря.

Для ручной очистки деталей средних размеров весом от 10 до 150 кг применяются пескоструйные аппараты Г-147 (рис. 88).

Металлический песок (не более 250 кг) засыпают в бункер. Воздух из сети под давлением до 5 мПа проходит через влагоотстойник 2 и поступает в фильтр 3, из которого идет в трубопровод 4, разделяющийся еще на два трубопровода 5 и 6.

Сначала рабочий открывает перепускной кран трубопровода 5, по которому воздух устремляется в смеситель 7 и поднимает вверх клапан 8, перекрывающий поступление песка из бункера 1 в смеситель 7. Внутри последнего создается давление воздуха, под воздействием которого находящийся в смесителе металлический песок течет в тройник 9. Почти одновременно с краном трубопровода 5 открывается кран трубопровода 6, по которому воздух проходит в тройник 9, подхватывает песок, поступающий из смесителя 7, и несет его по шлангу 10 в сопло 11. В бункере 1 установлена сетка 18, которая служит для предохранения клапана 8 и тройника 9 от попадания в них посторонних крупных частиц.

Очищаемые детали располагают на круглом вращающемся столе 12. Рабочий-пескоструйщик просовывает руки через рабочие окна 13 внутрь аппарата, левой поворачивает стол 12, а правой держит шланг 10 у сопла 11 и направляет струю металлического песка на очищаемую деталь. Наблюдает он за процессом очистки через стекло смотрового окна 14. Внутри камера освещается фонарями 15.

Детали загружают и выгружают через дверцы 16. Кроме них, вверху камеры есть щель 17, обеспечивающая возможность загрузки аппарата тяжелыми деталями с помощью монорельса и тельфера. Для того чтобы

остановить аппарат, необходимо сначала перекрыть кран трубопровода 6, потом трубопровода 5 и открыть кран спускового шланга 19 для быстрого сброса давления воздуха из смесителя 7 внутрь камеры. При наличии близкого расположения грунтовых вод прямоок 20 рекомендуется не только забетонировать, но и произвести кессонные работы.

Для ручной очистки крупных деталей и изделий – размером  $1,5 \times 2,5$  м применяются аппарат Г-146 (рис. 89).

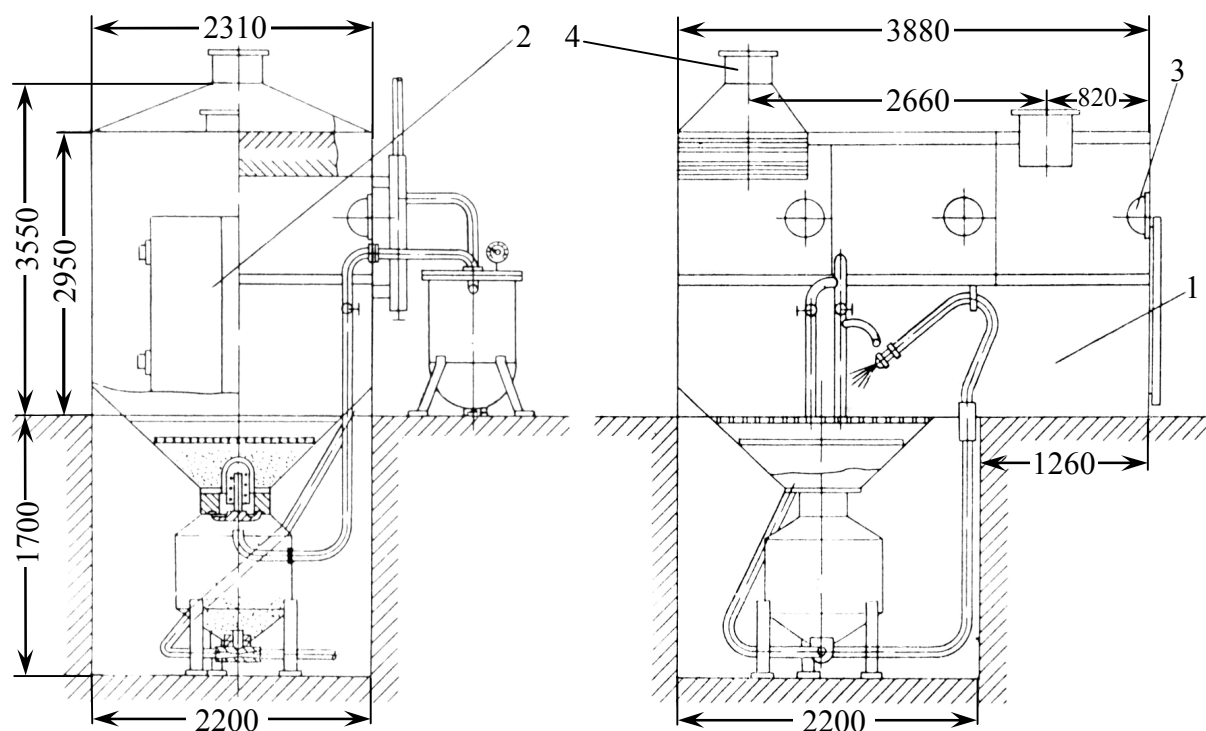


Рис. 89. Пескоструйный аппарат Г-146:

1 – камера; 2 – дверь; 3 – настенные фонари; 4 – патрубок

Принцип работы и устройство аппарата Г-146 почти ничем не отличаются от аппарата Г-147. Разница лишь в том, что очищаемую деталь или изделие привозят в камеру 1 через дверь 2, и рабочий-пескоструйщик во время очистки находится в камере, двери которой плотно закрываются. Для предохранения от пыли пескоструйщик работает в скафандре. Питание его чистым воздухом осуществляется через специальный подвижной шланг, проведенный в шлем скафандра от фильтра, очищающего подаваемый воздух от пыли и влаги. Для внутреннего освещения аппарата Г-146 имеются настенные фонари 3. Пыль и продукты очистки отсасываются вентиляцией через патрубок 7.

Автоматическая очистка мелких деталей массового изготовления – весом от 100 до 500 г – производится в пескоструйных барабанах колокольного типа Г-47 (рис. 90).

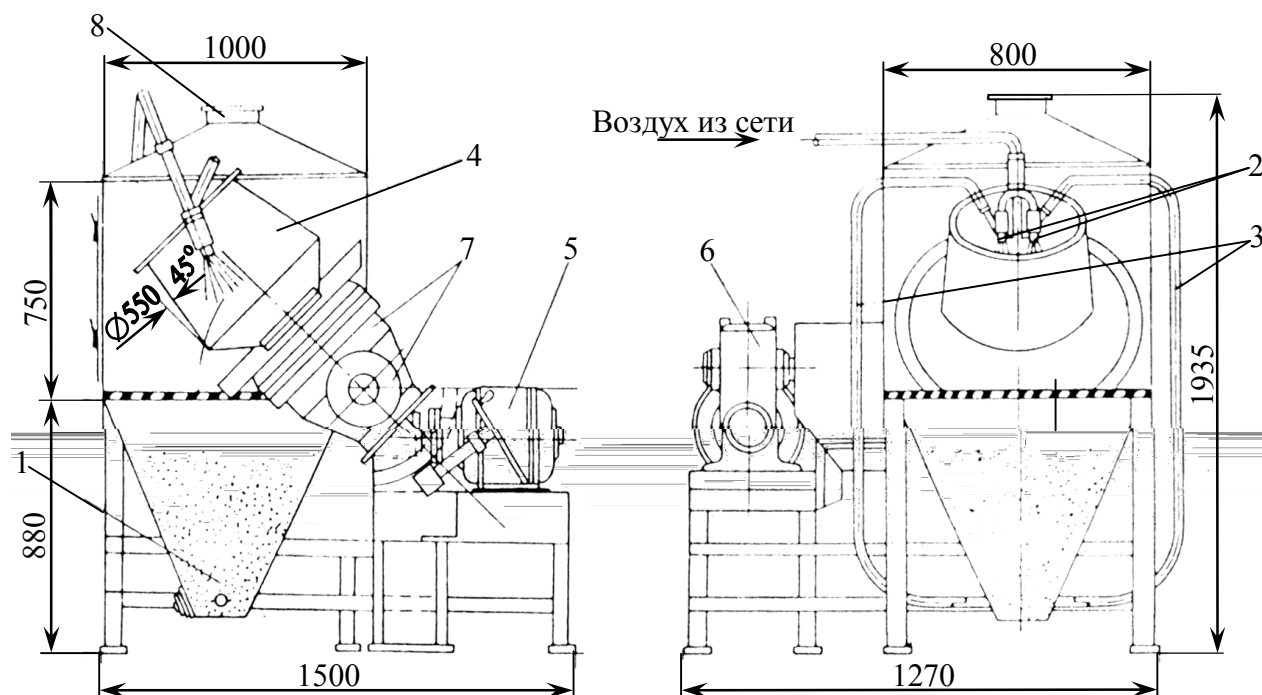


Рис. 90. Пескоструйный барабан колокольного типа Г-47:

- 1 – бункер; 2 – сопло; 3 – шланг для песка; 4 – барабан; 5 – электромотор;  
6 – редуктор; 7 – конические шестерни; 8 – патрубок

В бункер 1 засыпают до 100 кг металлического песка и в дальнейшем периодически добавляют по мере расходования. Воздух из сети через фильтр (на схеме не показан) проходит в полость корпуса сопла 2 и выходит наружу. Металлический песок, находящийся в бункере 1, засасывается этим воздухом по шлангу 3 в сопло 2 и, смешавшись с потоком воздуха, с большой скоростью вылетает через сопло на поверхность очищаемой детали. В аппарате Г-47 установлены два сопла 2, к которым подведены два воздушных шланга и два шланга, засасывающие песок 3.

Очищаемые детали общим весом до 50 кг помещаются в барабан 4, ось которого наклонена от вертикали под углом  $45^\circ$ . Внутренняя поверхность его обита резиной. Барабан 4 получает медленное вращение ( $n = 12$  об/мин) от мотора 5 ( $N = 2,2$  кВт) через редуктор 6 и пару конических шестерен 7. Находящиеся в барабане детали в процессе очистки все время находятся в движении, благодаря чему достигается хорошее качество очистки. Во время очистки дверцы барабана закрыты. Песок и продукты очистки проваливаются в бункер 1 через многочисленные отверстия в стенках барабана, а пыль отсасывается через патрубок 8.

Автоматическая очистка деталей средней величины – весом от 100 г до 5 кг – производится в аппаратах (барабанах) Г-148 (рис. 91).

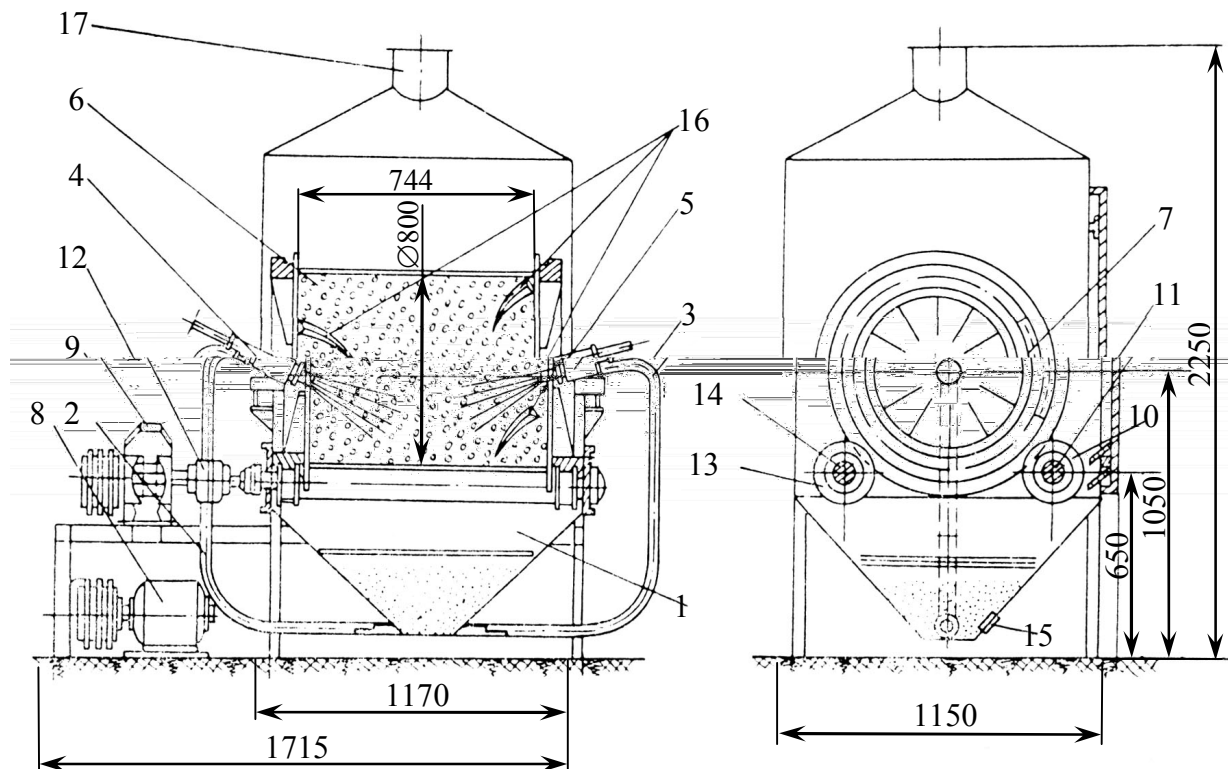


Рис. 91. Аппарат Г-148:

1 – бункер; 2, 3 – шланги; 4, 5 – сопла; 6 – барабан; 7 – дверка; 8 – мотор;  
 9 – редуктор; 10 – ролики; 11 – вал; 12 – муфта; 13 – задняя пара роликов;  
 14 – вал; 15 – отверстие; 16 – спиральные ребра; 17 – патрубок

Принципиальное отличие аппарата Г-148 от аппарата Г-47 только в больших размерах барабана и его вертикальном, а не горизонтальном расположении. Процесс засасывания песка в сопла точно такой же, как и в аппарате Г-47.

Металлический песок из бункера 1, куда его загружается до 150 кг, по шлангам 2 и 3 засасывается воздухом в сопла 4 и 5. В барабан 6, обшитый внутри резиной, засыпают детали, вес которых может достигать до 150 кг, и закрывают его дверкой 7. Барабан 6 лежит на двух парах роликов, из которых задняя 13, соединенная неподвижно с валом 14, является ведомой. Он получает медленное вращение ( $n = 4$  об/мин) от мотора 8 ( $N = 2,8$  кВт) через редуктор 9 и пару роликов 10, неподвижно сидящих на валу 11, соединенном с редуктором через муфту 12. Песок в процессе очистки попадает из барабана 6 через сделанные в его стенке многочисленные отверстия в бункер, который очищают от песка через наклонное отверстие 15. Пыль отсасывается через патрубок 17. Для лучшего перемещения деталей внутри барабана имеются спиральные ребра 16.

#### 4. МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СНЯТИЯ ЗАУСЕНЦЕВ, СКРУГЛЕНИЯ ОСТРЫХ КРОМОК И ОБРАБОТКИ ФАСОК НА ТОРЦАХ ВЕНЦОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

Одним из важных элементов в геометрии зубчатых зацеплений является пересечение профилей зубьев с торцевыми поверхностями цилиндрических зубчатых колес, а также передним и задним конусами конических зубчатых колес. Эти острые поверхности, ответственные за первое появление усталостных трещин при закономерных изгибных нагрузках, тщательно освобождаются от заусенцев, образующихся при лезвийной обработке профилей зубьев, заполировываются, а на ответственных передачах, проходящих термохимическую обработку (цементация, нитроцементация, азотирование) снимается фаска, причем только до термохимической обработки и закалки. Фаска необходима не только для устранения краевых касаний острой кромкой зуба, но также для исключения сквозной цементации (нитроцементации) на острых краях, что может приводить к их сколам при эксплуатации вследствие повышенной хрупкости.

В закаленном состоянии подправлять фаски и острые кромки абразивным инструментом, особенно во впадинах, категорически не рекомендуется при изготовлении ответственных высоконагруженных зубчатых колес, к которым относятся все зубчатые передачи авиационных и энергетических ГТД.

На рис. 92 приведены разновидности и формы фасок на цилиндрических зубчатых колесах.

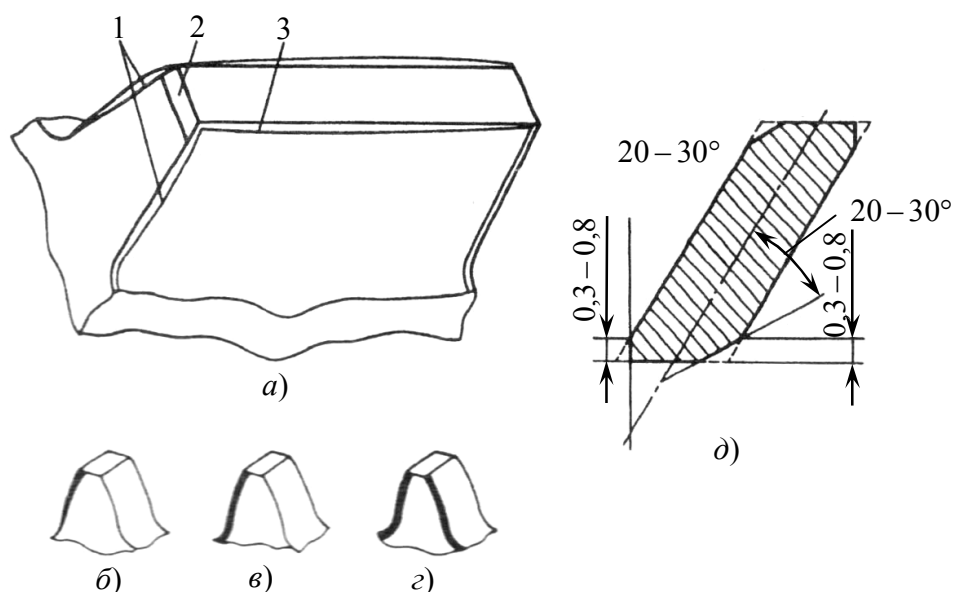


Рис. 92. Формы фасок на зубьях цилиндрических зубчатых колес:  
а – прямозубых; д – косозубых; б, в, з – типы фасок

Торцевая фаска 2 по вершинам зубьев формируется при токарной обработке заготовок. Фаски 1 по боковым поверхностям зубьев могут выполняться по одной рабочей стороне или только по острым углам у косозубых колес (вид  $\delta$  рис. 92), по форме запятообразные с усилением на головке, ровные по всему профилю зуба 3, или по всему контуру впадины, включая переходную кривую и дно. Требования к выполнению фасок у зубчатых колес ГТД повышенные. Они должны быть ровные с плавным переходом, без выхватов, по всему контуру впадины с обеих сторон зуба без выделения рабочей стороны.

Выполнение таких условий обеспечивают далеко не все разработанные методы механизированной обработки фасок, применяемые в общем машиностроении. Длительные разработки методов механизированной высокопроизводительной обработки фасок зубчатых колес фирмами-изготовителями зубообрабатывающего оборудования, такими как «HURTH» (Германия), увенчались успехом. Созданы станочные методы автоматизированного качественного съема фасок и заусенец у цилиндрических зубчатых колес, но эти методы связаны со сложным специальным инструментом, проектируемым непосредственно для конкретного зубчатого колеса или блока колес и рентабельно могут применяться только при массовом производстве, например в автомобилестроении. Появление станков с ЧПУ решило проблему обработки фасок цилиндрических прямозубых зубчатых колес ГТД с выполнением поставленных требований. Обработка по программе фасочного контура по торцу зубчатого колеса пальцевой или конусной фрезой не связана со сложным инструментом, универсальна и вполне рентабельна при существующих объемах выпуска зубчатых колес ГТД.

При обработке фасок конических зубчатых колес применяются более сложные схемы, до настоящего времени до конца не освоенные, что не исключает применения ручного квалифицированного и непроизводительного труда.

Часть методов снятия заусенец и скругления острых кромок профилей зубьев зубчатых колес приведено при рассмотрении электрохимических методов обработки. Ниже рассмотрены механические методы (лезвийные и абразивные) автоматизированного снятия заусенец, скругления острых кромок, и особенно снятия фасок на торцах цилиндрических и конических зубчатых колес.

На рис. 93 приведена схема снятия фасок с острых кромок цилиндрических зубчатых колес дисковым шлифовальным кругом на вулканитовой или бакелитовой связке. Шлифованная головка с кругом 3 поджима-



ется к зубчатому венцу зубчатого колеса 2. Сила прижатия дискового круга к колесу регулируется.

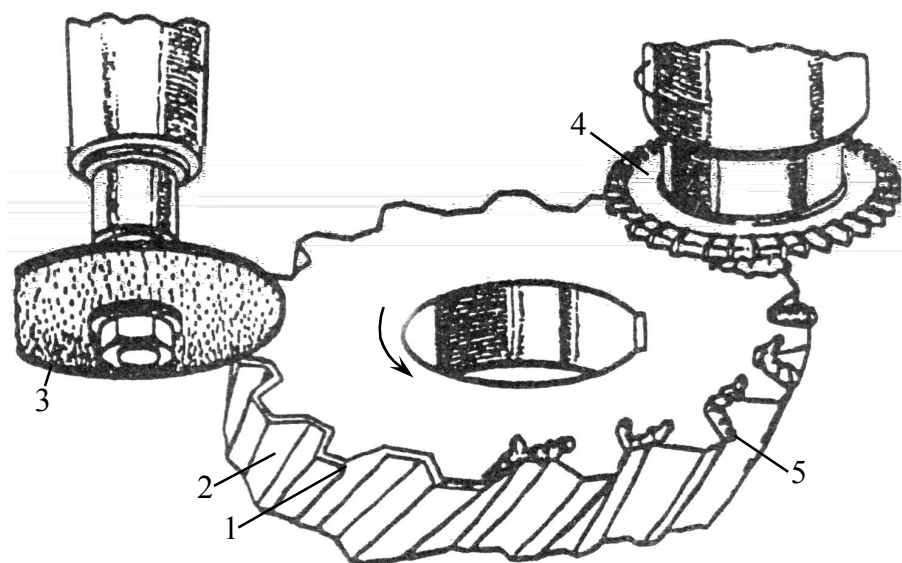


Рис. 93. Схема снятия фасок цилиндрическим плавающим кругом и заусенец фрезой: 1 – снятая фаска; 2 – зубчатое колесо; 3 – дисковый круг; 4 – фреза; 5 – заусенец

При включении вращения зубчатого колеса шлифовальный круг, отжимаясь профилем зуба и спускаясь до впадины, обкатывает обрабатываемый венец, как по копиру, снимая за несколько оборотов фаску по всему контуру. Имеющиеся на торце зубчатого колеса большие заусенцы 5 от предварительной обработки можно одновременно снимать дисковой фрезой 4.

Метод снятия заусенец и формирования фасок плавающим абразивным кругом универсален, не требует специального инструмента и оснастки, является легко переналаживаемым и достаточно производительным. Однако получить ровную фаску ко всему контуру зуба с использованием шлифовальной головки, а также под одним углом с каждой стороны не удастся, в связи с чем метод может применяться для зубчатых колес общего машиностроения, где понижены требования к форме и качеству фасок. Выпущены станки модели 5Б-525 для снятия фасок плавающим абразивным кругом.

Образующиеся при зубонарезании зубчатых колес (рис. 94, б, в) крупные заусенцы предварительно снимают специальными устройствами для установки резцов 2, соприкасающихся с торцами, где режущий инструмент при выходе режущих кромок образует заусенцы.

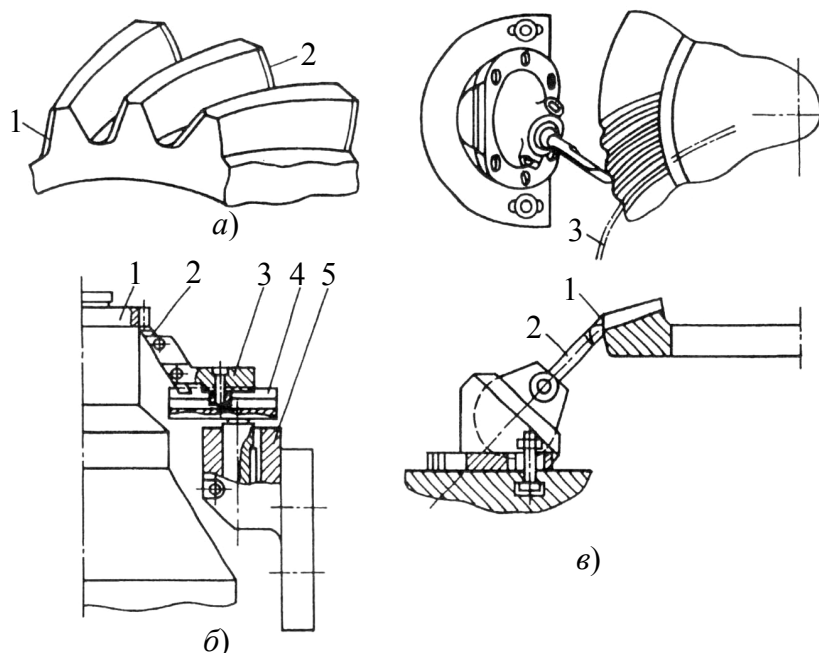


Рис. 94. Схема снятия фасок острых кромок зубьев (а) и удаление заусенцев (б, в): 1 – обрабатываемое колесо; 2 – резец; 3 – державка; 4 – направляющая; 5 – корпус приспособления

Резцами для предварительного удаления крупных заусенцев при предварительном зубонарезании может быть оснащен любой зубофрезерный и зубодолбежный станок.

На рис. 95 приведена схема снятия фасок одновременно с двух сторон косозубого цилиндрического колеса путем непрерывной обкатки его с настроенными на каждый торец двумя односторонними фрезами-улитками. Окружной шаг зубчатого колеса должен совпадать с шагом нитки фрезы, т. е. каждому обороту фрезы-улитки должен соответствовать поворот зубчатого колеса на один шаг. Для осуществления процесса снятия фасок таким методом требуется специальный инструмент и специальное оборудование.

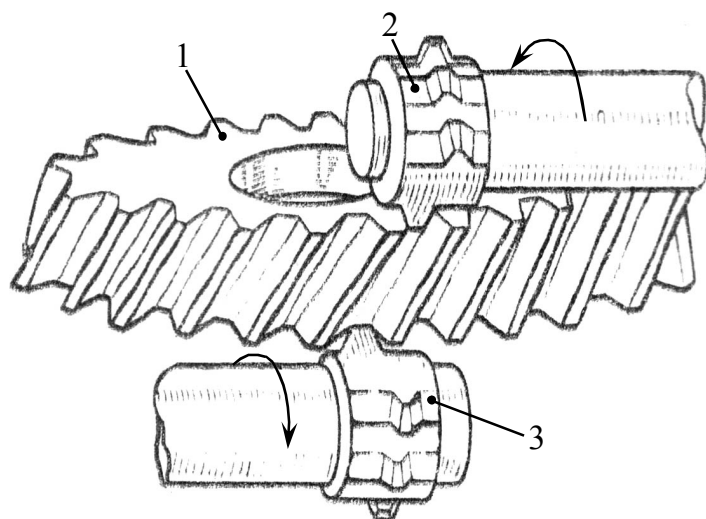


Рис. 95. Схема двухстороннего снятия фасок косозубого цилиндрического колеса методом обката односторонней фрезой-улиткой:  
1 – обрабатываемая деталь;  
2, 3 – фреза-улитка

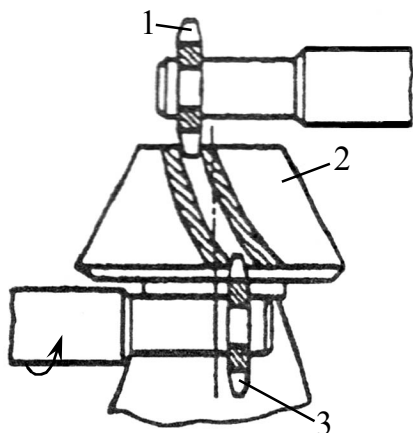


Рис. 96. Схема двухстороннего снятия фасок у конического зубчатого колеса: 1, 3 – одновитковые фрезы с разными шагами; 2 – обрабатываемое коническое зубчатое колесо

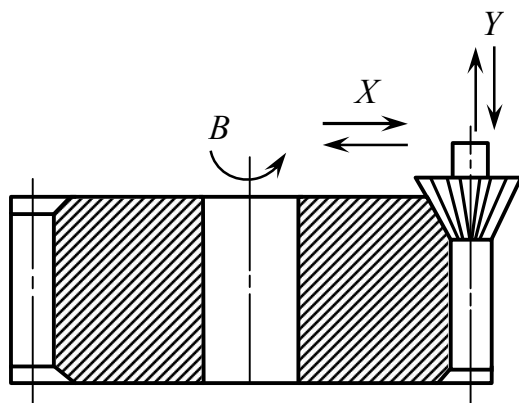


Рис. 97. Схема фрезерования фасок на станке с ЧПУ

Подобная схема (рис. 96) применена для снятия фасок на большом и малом модуле конического зубчатого колеса 2 одновитковыми фрезами 1, 3 с разными окружными шагами, соответствующими модулям конического колеса в соответствующих сечениях.

Метод индивидуализирован по обрабатываемому зубчатому колесу и может быть рентабельным только в крупносерийном и массовом производстве.

Схема снятия фасок по торцевым поверхностям профилей зубьев цилиндрических зубчатых колес, приведенная на рис. 97, наиболее применима при производстве авиационных и энергетических ГТД.

Обработка производится на фрезерных станках с ЧПУ, предпочтительно с вертикально расположенным инструментальным шпинделем. Инструмент – конусная или пальцевая фреза, перемещается по двум координатам  $x$ ,  $y$  (рис. 92)

или по двум плоским координатам  $x$ ,  $z$  (пальцевая фреза) при повороте зубчатого колеса (координата  $B$ ) и обходит по контуру зуба весь зубчатый венец, формируя равномерную фаску под необходимым углом. Возможна обработка равномерной фаски пальцевой фрезой без вращения детали обходом всего контура по торцам с задействованием двух координат, что упрощает применяемое оборудование.

Для снятия фасок с другого торца требуется перестановка детали с координированием по инструменту. Существуют методы более производительного съема фасок одновременно с двух сторон на специальном оборудовании, выпускаемом фирмой «PRAWEMA» (Германия). На рис. 98 приведены схемы двухстороннего съема фасок с применением специальных станков.

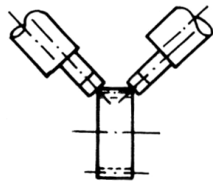

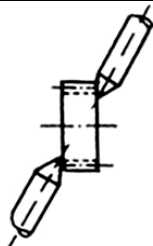

Обработка	Расположение шпинделей	Пример обработки	Тип станка
Снятие фаски 2 шпинделями			WA 400
Снятие фаски 2 шпинделями			FA 500 с добавочным шпинделем

Рис. 98. Схемы двухстороннего снятия фасок на специальном оборудовании

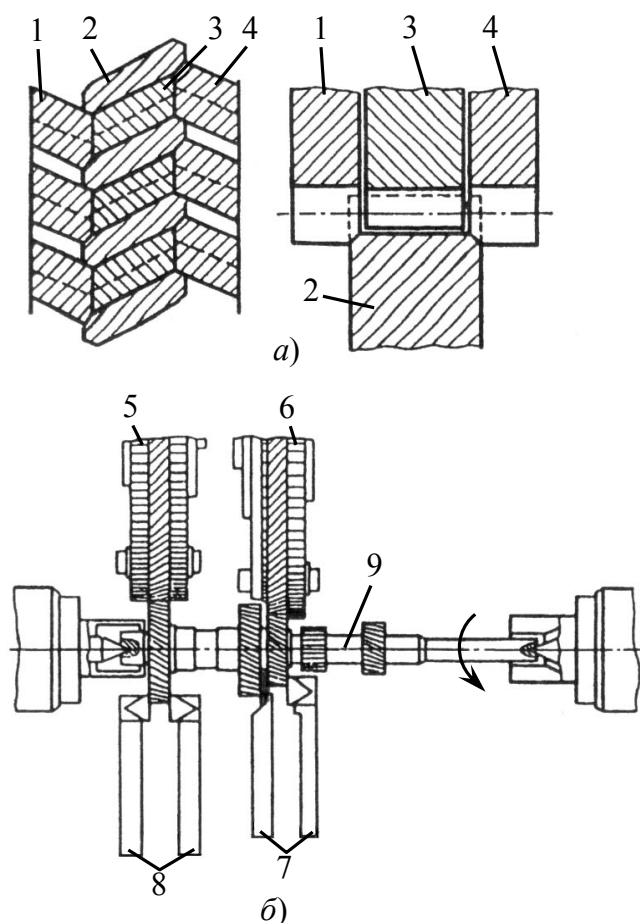


Рис. 99. Схема снятия фасок и заусенцев специальным инструментом:

- 1, 4 – режущие колеса; 2 – обрабатываемое колесо; 3 – ведущее колесо;  
5, 6 – инструментальные блоки;  
7, 8 – комплекты резцов для снятия заусенцев; 9 – обрабатываемый вал с блоком зубчатых колес

Наиболее производительное снятие фасок на единичных зубчатых колесах и блоках производится по методу фирмы «HURTH» на специальном автоматизированном оборудовании специальным инструментом. На рис. 99 приведена схема снятия фасок и одновременно заусенцев специальным инструментом.

Блочный инструмент состоит из центрального ведущего колеса 3 и инструментальных режущих колес 1 и 4, соединенных между собой. Ширина ведущего колеса 3 меньше ширины обрабатываемого колеса 2 на двойную высоту обрабатываемой фаски. Формирование фасок с двух сторон производится обкатом инструментальных блоков 5 и 6 с обрабатываемыми венцами вала 9 с блоком зубчатых колес.

Образующиеся при формировании фасок торцовые заусенцы подчищаются комплектами резцов 7, 8.

Производительность обработки зубчатого венца или одновременно блока венцов 10 – 15 с, стойкость до переточки инструментальных блоков может достичь 10 млн. зубьев. Инструментальные блоки рассчитываются и отстраиваются индивидуально для конкретных зубчатых колес и формы фасок, что предопределяет применение метода при массовом производстве.

На рис. 100 приведены различные типы инструментальных блоков, предназначенные для снятия фасок на различных зубчатых венцах.

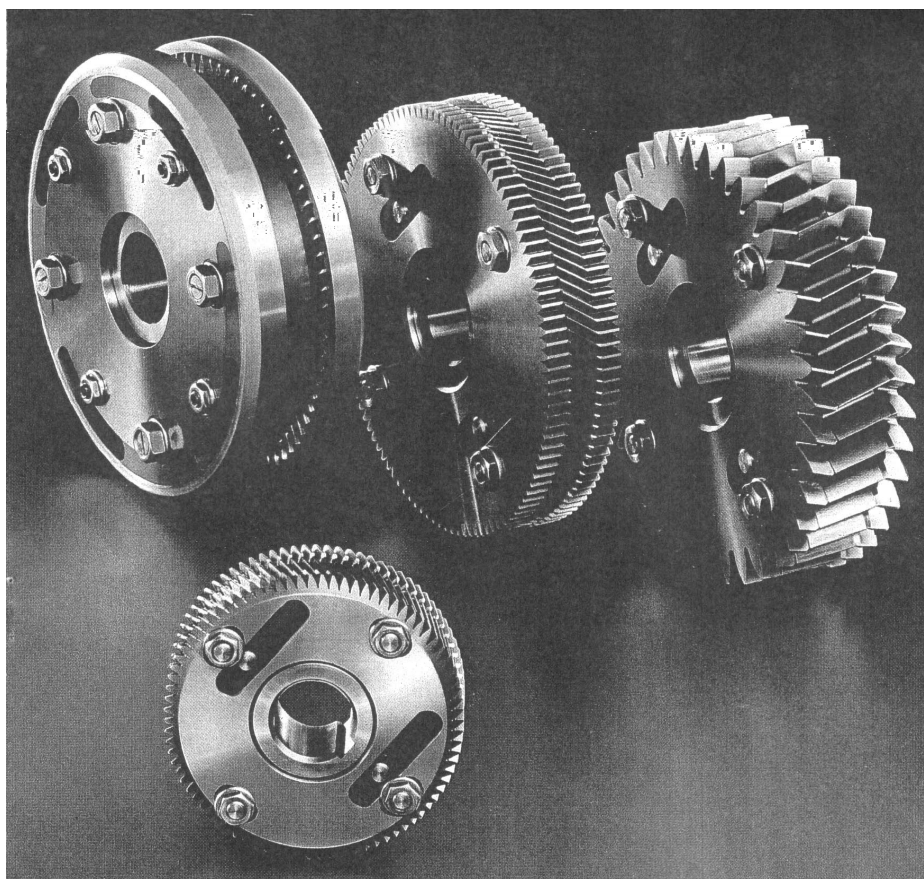


Рис. 100. Инструментальные блоки для снятия фасок на различных зубчатых колесах

На рис. 101 показан фрагмент рабочей зоны оборудования с инструментальными блоками в контакте с обрабатываемыми зубчатыми венцами, фрагменты зубчатого венца с заусенцами от предварительного зубонарезания и с обработанными фасками.

Для высокопроизводительного автоматизированного съема фасок на цилиндрических зубчатых колесах разработаны конкурирующие схемы, воплощенные в специальном оборудовании.

Специальный станок SU-200SM (Италия) оснащен оригинальным инструментальным блоком для двухстороннего съема фасок и удаления заусенец. На рис. 102 приведены конструктивные особенности этого блока.

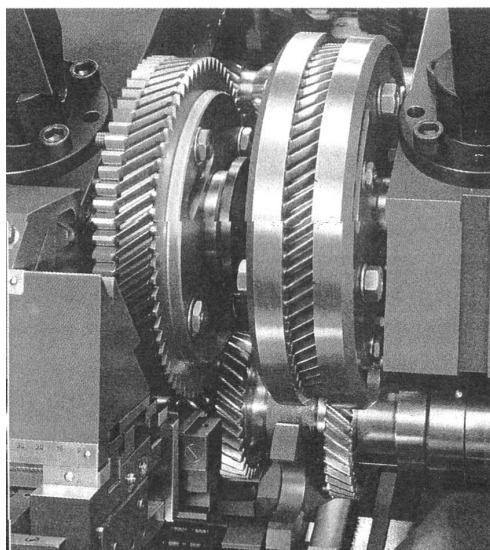
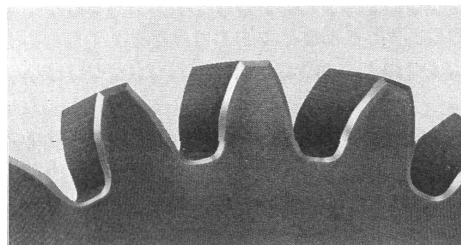
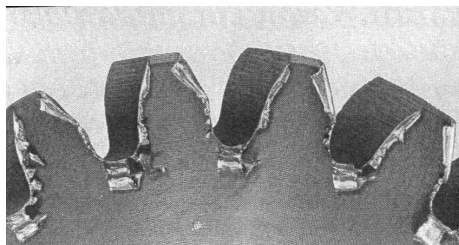


Рис. 101. Фрагменты зоны обработки с инструментальными блоками, исходное зубчатое колесо после зубонарезания и после снятия фасок

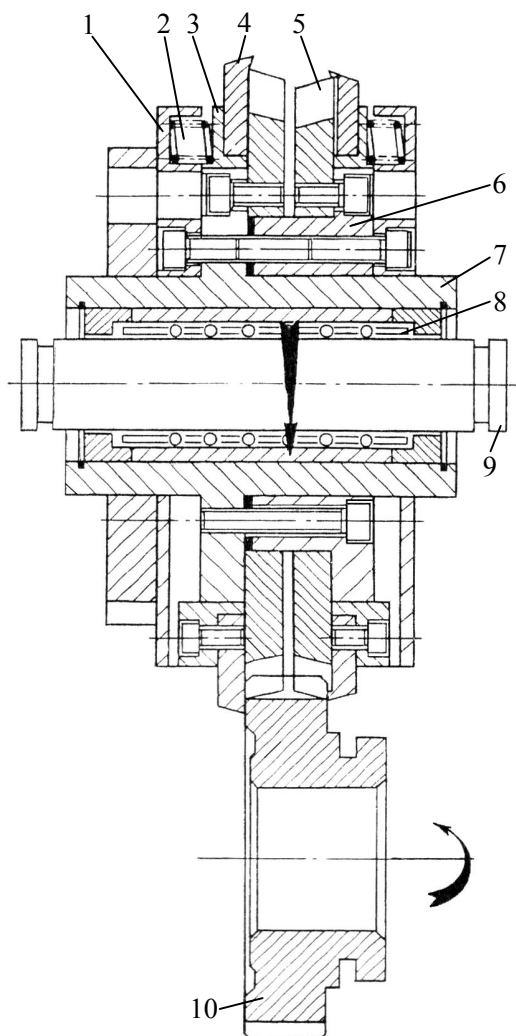


Рис. 102. Конструкция инструментального блока для одновременного образования фасок и снятия заусениц с двух сторон зубчатого колеса: 1 – кронштейн; 2 – пружина; 3 – прижим; 4 – дисковые резцы; 5 – фасочные инструментальные зубчатые колеса; 6 – кронштейн; 7 – корпус приспособления; 8 – подшипниковый плавающий узел; 9 – ось; 10 – обрабатываемое зубчатое колесо



В данной конструкции отсутствует центральное ведущее зубчатое колесо. Фасочный инструмент в виде двух зубчатых колес 5 оригинальной конструкции с режущими зубьями зацепляется непосредственно с обрабатываемым колесом 10, к которому по торцам поджимаются пружинами два дисковых резца 4 для подчистки образующихся заусениц.

Инструментальный блок вращается на оси 9 на подшипниковом узле 8, дающем возможность осевого передвижения и самоустановки всего блока при обработке зубчатого венца детали 10.

Станок рассчитан на ручную и автоматическую загрузку обрабатываемых деталей и может применяться в автоматических линиях.

В машиностроении встречается значительное количество зубчатых колес с незакаливаемыми на высокую твердость профилями зубьев, где не требуется образования фасок, а достаточно снятия заусениц и скругления острых кромок. Профили зубьев таких колес или не подлежат дальнейшей обработке после зубонарезания, или после легкой закалки шевингуются.

После процесса зубошевингования рационально провести скругление острых кромок, вращающимися металлическими щетками различной конструкции. Применение щеток для удаления заусенцев и скругления острых кромок имеет ряд преимуществ перед другими методами, таких как простота и надежное функционирование инструмента до износа, сохранение размеров детали, высокая производительность, возможность механизации процесса обработки.

Зубчатые колеса, не подлежащие шевингованию после снятия заусениц металлическими щетками целесообразно подвергать кратковременному процессу зубохонингования абразивными или алмазными хонами на металлической связке. Цель операции – устранение забоин, оставшихся заусениц и крупных выступов микронеровностей, что существенно повышает эксплуатационное качество и снижает шумность работы зубчатых передач.

Для ряда зубчатых колес с твердостью профилей зубьев до  $HRC = 58...60$  шлифованных до высоких степеней точности наличие фаски по торцам зубьев не допускается, а необходимо только скругление острых кромок до гарантированных минимальных радиусов ( $R = 0,2$ ). Данный случай распространяется на зубчатые колеса масляных насосов.

Дозированное закругление только острых кромок с минимальным воздействием на точно обрабатываемый профиль достигается методом вращения зубчатых колес, погруженных в ванну с абразивно-жидкостной смесью со скоростью 12 – 15 м/с. Метод осуществляется на абразивнороторной установке. В качестве рабочей среды применяются абразивные зерна характеристики 24А 63/100.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Технология размерной электрохимической обработки металлов: Доклады и сообщения на научно-техническом семинаре. – Тула, 1966. – 148 с.
2. Новые технологические процессы электрофизикохимической обработки: Методические рекомендации. – М.: НИИ Информ, 1973. – 226 с.
3. Бойсунов И. А. Электрохимическая обработка металлов. – М.: Высшая школа, 1988. – 180 с.
4. Елисеев Ю. С. и др. Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей. – М., 2002. – 650 с.
5. Производство зубчатых колес: Справочник / Под ред. Б. А. Тайца. – М.: Машиностроение, 1990. – 463 с.
6. Повышение точности и производительности обработки цилиндрических зубчатых колес: Обзорная информация. – Серия 6-3. – Выпуск 2. – М., 1985. – 44 с.
7. Калашников А. С. Технология изготовления зубчатых колес. – М.: Машиностроение, 2004. – 479 с.