

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра металлорежущих станков и инструментов

Составители  
В. А. Коротков  
Л. В. Рыжикова  
В. О. Коротин

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

### **Методические материалы**

Рекомендовано учебно-методической комиссией  
по направлению подготовки 15.03.05 Конструкторско-  
технологическое обеспечение машиностроительных производств  
в качестве электронного издания  
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2025

Рецензенты:

Коротков А. Н. – доктор технических наук, зав. кафедрой металлорежущих станков и инструментов

Романенко А. М. – кандидат технических наук, доцент кафедры металлорежущих станков и инструментов

**Коротков Виталий Александрович**

**Рыжикова Людмила Витальевна**

**Коротин Владимир Олегович**

**Современные процессы механической обработки :** методические материалы для обучающихся по направлению подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств очной формы обучения / Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, Кафедра металлорежущих станков и инструментов ; составители : В. А. Коротков, Л. В. Рыжикова, В. О. Коротин. – Кемерово : КузГТУ, 2025. – 1 файл (4568 Кб). – Текст : электронный.

Приведены темы лабораторных занятий, задания, предназначенные для закрепления теоретического материала, вопросы для самоконтроля, список рекомендуемой литературы.

© Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, 2025

© Коротков В. А., Рыжикова Л. В., Коротин В. О., составление, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторное занятие № 1. Инструментальные материалы.....	5
Лабораторное занятие № 2. Вибрационная обработка.....	13
Лабораторное занятие № 3. Изготовление моделей шлифовальных кругов.....	35
Лабораторное занятие № 4. Исследование эксплуатационных показателей моделей шлифовальных кругов и оценка износа единичных зёрен в них при шлифовании.....	43
Лабораторное занятие № 5. Методы и оборудование для исследования структуры и свойств материалов.....	50
Лабораторное занятие № 6. Нарезание резьбы метчиками и плашками.....	61
Лабораторное занятие № 7. Обработка отверстий.....	69
Лабораторное занятие № 8. Применение профильного шлифования в инструментальном производстве.....	86
Лабораторное занятие № 9. Применение холодного выдавливания в инструментальном производстве.....	106
Лабораторное занятие № 10. Принудительная обработка деталей в абразивной массе.....	116
Лабораторное занятие № 11. Притирка деталей.....	121
Рекомендуемая литература.....	131

Методические материалы студентов относятся к учебно-методическому комплексу по дисциплине «Специальные методы обработки».

Дисциплина «Специальные методы обработки» относится к базовой части дисциплин ОПОП.

Изучение данной дисциплины дает возможность расширить и углубить знания, умения, навыки, формируемые в результате освоения таких дисциплин, как «Физика», «Химия» и «Начертательная геометрия и инженерная графика». В свою очередь на материале процессов механической обработки базируются такие общетехнические дисциплины, как «Теория машин и механизмов», «Детали машин», «Гидравлика», «Метрология». «Специальные методы обработки» являются необходимой при изучении дисциплин профессионального блока: проектирование технологических машин и комплексов.

Учебная работа студента включает аудиторные занятия, лекционные занятия и самостоятельную работу. Аудиторные занятия состоят из лабораторных занятий. Лабораторные занятия предназначены для закрепления теоретического материала и получения профессиональных навыков.

Самостоятельная работа обучающихся – это формы индивидуальной деятельности, направленные на закрепление пройденного материала, формирование умений и навыков быстро решать поставленные задачи. Самостоятельная работа призвана подготовить студента к самостоятельной деятельности в будущем. Также самостоятельная работа обучающихся включает изучение тем и вопросов дисциплины посредством анализа предложенной литературы, выполнения заданий, направленных на систематизацию и анализ изучаемого материала.

## **Лабораторное занятие № 1.** **ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучить инструментальные материалы, их группы и свойства. Приобрести практические навыки по определению зависимости режимов резания и работоспособности режущего инструмента.

### **2. ПОРЯДОК РАБОТЫ**

2.1. Изучить основные свойства инструментальных материалов.

2.2. Изучить группы инструментальных материалов.

2.3. Провести сравнительный анализ свойств инструментальных материалов.

2.4. Определить методы повышения износостойкости инструментов.

### **3. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

#### **3.1. Свойства инструментальных материалов**

Эффективность работы режущего инструмента во многом определяется свойствами инструментального материала.

Основные свойства, которыми должен обладать материал для режущих инструментов – износостойкость и теплостойкость.

Условия работы инструментов зависят от режимов резания и свойств обрабатываемого материала. Чем больше скорость резания, сечение снимаемой стружки, а также прочность и вязкость обрабатываемого материала, тем выше температура нагрева режущей кромки инструментов. При этих условиях работоспособность инструментов определяется высокой «горячей» твердостью и способностью материала сохранять ее при длительном нагреве, т. е. теплостойкостью. От теплостойкости материала, таким образом, зависит производительность резания.

По теплостойкости применяемые материалы подразделяются на следующие группы: углеродистые и низколегированные стали (до 200 °С), высоколегированные быстрорежущие стали (до 600–640 °С), твердые сплавы (до 800–1000 °С) и сверхтвердые материалы (до 1200 °С).

### 3.2. Углеродистые стали

Углеродистые стали (ГОСТ 1435-99) производят качественными У7, У8...У13 и высококачественные У7А...У13А. Буква У в марке показывает, что сталь углеродистая, а число указывает среднее содержание углерода в десятых долях процента. Благодаря невысокой твердости в состоянии поставки (187–217 НВ) углеродистые стали хорошо обрабатываются резанием и деформируются, что позволяет применять накатку, насечку и другие высокопроизводительные методы изготовления из них инструментов.

Из-за низкой прокаливаемости (10–12 мм) углеродистые стали пригодны для мелких инструментов или инструментов с поперечным сечением до 25 мм с незакаленной сердцевиной, в которой режущая часть приходится на поверхностный слой (метчики, развертки, напильники и т. п.). Несквозная закалка уменьшает деформацию инструментов и повышает благодаря вязкой сердцевине их устойчивость к ударам и вибрациям.

Режущие инструменты (мелкие метчики, сверла, напильники, пилы, шаберы и др.) изготавливают из заэвтектоидных сталей У10, У11, У12 и У13. Их подвергают неполной закалке и низкому отпуску при 150–180 °С на структуру мартенсита с включениями цементита. Такие инструменты обладают повышенной износостойкостью и высокой твердостью (62–64 HRC) на рабочих гранях. Однако твердость сильно снижается при нагреве выше 200 °С. В связи с этим инструменты из этих сталей пригодны для обработки при небольших скоростях резания.

Углеродистые стали используют также для изготовления измерительных инструментов (калибры простой формы и невысоких классов точности) и небольших штампов холодной высадки и вытяжки, работающих при невысоких нагрузках.

Стали У7, У8, У9 обеспечивающие более высокую вязкость, применяют для инструментов, подвергающихся ударам: деревообрабатывающих, слесарных, кузнечных, а также пуансонов и матриц и др.

### **3.3. Низколегированные стали**

Эти стали содержат до 5 % легирующих элементов (химический состав см. ГОСТ 5950-2000, ГОСТ 19265-73, которые вводят для увеличения закаливаемости, прокаливаемости, уменьшения деформаций и опасности растрескивания инструментов. Хром – постоянный элемент низколегированных сталей. Для улучшения свойств в них дополнительно вводят марганец, кремний, вольфрам. Марганец (1–2 %) обеспечивает минимальное изменение размеров инструментов при закалке. Кремний (1–1,5 %) несколько повышает сопротивление отпуску и способствует образованию легко отделяющейся окалины. Вольфрам (1–5 %) повышает износостойкость. Из-за низкой теплостойкости низколегированные стали имеют практически одинаковые с углеродистыми сталями эксплуатационные свойства. Их применяют для инструментов, работающих при небольших скоростях резания, не вызывающих нагрева свыше 200–260 °С. В отличие от углеродистых эти стали меньше склонны к перегреву и позволяют изготавливать инструменты больших размеров и более сложной формы.

Сталь ХВ4 отличается особо высокой твердостью (67–69 HRC) и износостойкостью. Эту сталь называют алмазной и применяют для чистовой обработки твердых материалов.

Стали Х, 9ХС, ХВГ, ХВСГ относятся к сталям с глубокой прокаливаемостью. Сталь 9ХС в отличие от Х (1,5 % Cr) имеет повышенные эксплуатационные свойства; ее применяют для изготовления фрез, сверл, резбонарезных и других инструментов с поперечным сечением до 35 мм. Недостаток стали 9ХС – склонность к обезуглероживанию. Сталь ХВГ характеризуется малой деформацией при закалке. Применяют ее в основном для длинных стержневых инструментов (сверла, развертки, протяжки и т. п.) с поперечным сечением до 45 мм. Сложнолегированная сталь ХВСГ сочетает в себе лучшие качества сталей 9ХС и ХВГ;

из нее изготавливают инструменты большого поперечного сечения (до 100 мм).

### **3.4. Быстрорежущие стали**

К этой группе относятся высоколегированные стали, предназначенные для изготовления инструментов высокой производительности. Основное свойство этих сталей – высокая теплостойкость, которая обеспечивается введением большого количества вольфрама совместно с другими карбидообразующими элементами – молибденом, хромом, ванадием. Кобальт способствует увеличению теплостойкости.

В результате комплексного легирования инструменты из быстрорежущих сталей сохраняют высокую твердость до 560–640 °С и допускают в 2–4 раза более производительные режимы резания, чем инструменты из углеродистых и низколегированных сталей.

Быстрорежущие стали обозначают буквой Р, после которой стоит число, указывающее содержание (в процентах) вольфрама – основного легирующего элемента. ГОСТ 19265-73 предусматривает 14 марок быстрорежущих сталей, которые по эксплуатационным свойствам делятся на две группы: нормальной и повышенной производительности.

Группу сталей нормальной производительности образуют вольфрамовые (Р18, Р12, Р9) и вольфрамомолибденовые (Р6М3, Р6М5) стали, сохраняющие твердость не ниже 58 HRC до 620 °С. При одинаковой теплостойкости эти стали отличаются главным образом механическими и технологическими свойствами. Лучшей обрабатываемостью давлением и шлифуемостью, а также прочностью и вязкостью обладают стали Р6М3 и Р6М5. Стали Р9, Р9Ф5 плохо шлифуются из-за присутствия твердых карбидов ванадия.

К группе сталей повышенной производительности относятся стали, содержащие кобальт и повышенное количество ванадия (Р6М5К5, Р9М4К8, Р18К5Ф2). Они превосходят, стали первой группы по теплостойкости (630–640 °С), твердости (> 64 HRC) износостойкости, но уступают им по прочности и пластичности.



Стали повышенной производительности предназначены для обработки высокопрочных сталей, коррозионностойких и жаропрочных сталей с аустенитной структурой и других труднообрабатываемых материалов. Наиболее широкое применение имеет сталь Р6М5. Разрабатываются безвольфрамовые быстрорежущие стали.

Режущие свойства некоторых видов инструментов (фасонные резцы, сверла, фрезы, протяжки и др.) дополнительно улучшают созданием на неперетачиваемых поверхностях тонкого слоя (10–50 мкм) нитридов и карбонитридов. Такой слой характеризуется высокой твердостью и износостойкостью.

Для структуры деформированных быстрорежущих сталей характерна карбидная неоднородность, которая отрицательно влияет на эксплуатационную стойкость инструментов, способствует выкрашиванию рабочих кромок. Эффективный способ устранения такого структурного дефекта – изготовление порошковых быстрорежущих сталей Р6М5Ф3–МП, Р12М3К5Ф2–МП и др. (ГОСТ 28393-89).

Повышение структурной однородности сопровождается улучшением шлифуемости, ударной вязкости, прочности при изгибе. Инструмент из порошковых быстрорежущих сталей также подвергают закалке и трехкратному отпуску.

### **3.5. Порошковые твердые сплавы**

К порошковым твердым сплавам относятся материалы, состоящие из высокотвердых и тугоплавких карбидов вольфрама WC, титана TiC, тантала TaC, соединенных металлической связкой (порошком кобальта Co).

Твердые сплавы изготавливают порошковой технологией. Увеличение содержания связки вызывает снижение твердости, но повышение прочности и вязкости. Твердые сплавы производят в виде пластин, которыми оснащают резцы, сверла, фрезы и другие режущие инструменты. Такие инструменты сочетают высокую твердость 85–92 HRA (74–76 HRC) и износостойкость с высокой теплостойкостью (800–1000 °C). По своим эксплуатационным

свойствам они превосходят инструменты из быстрорежущих сталей и применяются для резания с высокими скоростями.

Твердые сплавы характеризуются также высоким модулем упругости (до  $6,8 \times 10^5$  МПа) и пределом прочности на сжатие (до 6000 МПа), их недостатки – сложность изготовления фасонных изделий и высокая хрупкость.

В зависимости от состава карбидной основы твердые сплавы выпускают трех групп.

Первую (вольфрамовую) группу составляют сплавы системы WC+Co. Их маркируют буквами ВК и числом, показывающим содержание кобальта в процентах. Эта группа характеризуется наибольшей прочностью, но более низкой твердостью, теплостойкостью до 800 °С.

Сплавы ВК3–ВК8 применяют для режущих инструментов при обработке материалов, дающих прерывистую стружку (чугуны, цветные металлы, фарфор, керамика и т. п.).

Сплавы ВК10 и ВК15, обладающие из-за повышенного содержания кобальта более высокой вязкостью, используют для волоочильных и буровых инструментов, стойкость которых в десятки раз превышает стойкость стальных инструментов. Сплавы с высоким содержанием кобальта (ВК20 и ВК25) применяют для изготовления штамповых инструментов.

Вторую (титановольфрамовую) группу образуют сплавы системы TiC+WC+Co. Их маркируют буквами Т и К, а также числами, показывающими процентное содержание карбидов титана и кобальта.

Сплавы второй группы (Т15К6, Т5К10 и др.) характеризуются более высокой теплостойкостью (900–1000 °С), которая повышается по мере увеличения количества TiC. Их наиболее широко применяют для высокоскоростного резания сталей.

Третью (титанотанталовольфрамовую) группу образуют сплавы системы TiC+TaC+WC+Co. Число, стоящее в марке после букв ТТ, обозначает суммарное процентное содержание карбидов TiC+TaC, а после буквы К – количество кобальта в процентах. Сплавы отличаются большей прочностью и лучшей сопротивляемостью вибрациям и выкрашиванию. Их применяют при более тяжелых условиях резания (черновая обработка стальных слит-

ков, отливок, поковок), при черновой обработке с большими сечениями срезаемого слоя, при работе с ударами (строгание, фрезерование).

### 3.6. Сверхтвердые материалы

Сверхтвердые материалы широко применяют для оснащения (вставками) лезвийных инструментов (резцы, сверла, торцовые фрезы). Такие инструменты используют для чистовой размерной обработки при высоких скоростях резания (100–200 м/мин и более).

Среди сверхтвердых материалов первое место принадлежит алмазу, твердость которого в 6 раз превосходит твердость карбида вольфрама и в 8 раз – твердость быстрорежущей стали. Преимущественное применение имеют синтетические алмазы (борт, баллас, карбонадо) поликристаллического строения, которые по сравнению с монокристаллами отличаются меньшей хрупкостью и стоимостью. Алмаз теплостоек до 800 °С (при большем нагреве он графитизируется). Относительно небольшая теплостойкость компенсируется его высокой теплопроводностью, снижающей разогрев режущей кромки инструментов при высоких скоростях резания.

Область применения алмазных инструментов ограничивается высокой адгезией к железу, что является причиной его низкой износостойкости при точении сталей и чугунов. Алмазным инструментом обрабатывают цветные металлы и их сплавы, а также пластмассы, керамику, обеспечивая при этом низкую шероховатость поверхности.

Большой универсальностью обладают инструменты из поликристаллического нитрида бора BN с кубической решеткой, называемого кубическим нитридом бора. В зависимости от технологии получения кубический нитрид бора выпускают под названием: эльбор, эльбор-Р, боразон.

Кубический нитрид бора по твердости не уступает алмазу, но превосходит его по теплостойкости (1200 °С) и химической инертности. Высокоскоростное точение закаленных сталей мож-

но заменить шлифованием, сокращая в 2–3 раза время обработки и обеспечивая низкую шероховатость поверхности.

#### **4. ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ**

4.1. Определить по маркировке инструментов тип инструментального материала.

4.2. По маркировке инструментального материала, определить для каких работ применяется инструмент.

4.3. Выбрать режимы резания согласно инструментальному материалу.

4.4. Согласовать с учебным мастером выбранные режимы резания.

4.5. Обработать предложенную учебным мастером деталь.

#### **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

5.1. Какие требования предъявляются к инструментальным материалам?

5.2. Что называется теплостойкостью?

5.3. Что называется износостойкостью?

5.4. Какие инструменты изготавливают из углеродистых сталей?

5.5. Особенности низколегированных сталей.

5.6. Чем обеспечивается высокая теплостойкость быстрорежущих сталей?

5.7. Какие группы твердых сплавов вы знаете?

5.8. В каких случаях применяют инструмент из сверхтвердых материалов?

5.9. Какие сверхтвердые материалы вы знаете?

## **Лабораторное занятие № 2. ВИБРАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА**

### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучить операцию вибрационной обработки и получить практические навыки по осуществлению этой операции.

### **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

#### **2.1. Общие положения**

Обработка деталей в вибрационных машинах получила за последнее время в различных отраслях народного хозяйства широкое распространение. Ее внедрение способствует интенсификации различных процессов, повышает уровень механизации и автоматизации трудоемких работ, способствует усовершенствованию или разработке новых технологических процессов, увеличивает экономическую эффективность и производительность труда.

Высокая интенсивность протекания процессов при этой операции обуславливается характером взаимодействия обрабатываемых заготовок и рабочей среды, возможностью обработки одновременно всей поверхности большого количества заготовок. Вибрационная обработка в машиностроении является новым, прогрессивным направлением, возможности которого и область применения еще не полностью выявлены.

Широкие технологические возможности различных методов вибрационной обработки в сочетании с высокой производительностью на очистных, доделочных, шлифовально-полировальных и упрочняющих операциях ставят их в число наиболее актуальных и перспективных способов обработки и упрочнения деталей машин и приборов.

Вибрационная обработка представляет собой механический или химико-механический процесс съема мельчайших частиц материала с поверхности обрабатываемой заготовки, а также сглаживание микронеровностей путем их пластического деформиро-

вания частицами рабочей среды, совершающими в процессе работы колебательные движения. Процесс сопровождается последовательным нанесением на поверхность обрабатываемых деталей большого числа микроударов частицами рабочей среды при их взаимном соударении и скольжении. Движение рабочей среде сообщается поверхностью рабочей камеры.

## **2.2. Конструкции вибрационных установок**

Классификация вибрационных установок осуществляется по многим признакам. Наиболее существенными являются: объем, количество и форма рабочей камеры, тип и количество вибраторов, способ регенерации рабочей среды, цикл работы установки.

В числе других признаков можно назвать форму сечения рабочей камеры, траекторию ее колебаний (плоская, круговая, линейная, пространственная); установки с постоянным закреплением рабочей камеры, быстросъемными и наклоняемыми рабочими камерами; установки с встроенным вибратором-двигателем или с приводом вибратора от отдельно размещенного электродвигателя; тип упругих элементов (спиральные пружины, пневмобаллоны); установки со ступенчатым или бесступенчатым регулированием режимов работы; установки с встроенными механизмами и приспособлениями для загрузки, разгрузки и разделения обрабатываемых деталей и рабочих сред.

Для осуществления процесса обработки вибрационная установка должна иметь устройства, обеспечивающие выполнение вибраций с требуемыми параметрами (траектория, частота, амплитуда), удаление продуктов износа деталей и рабочей среды, очистку циркулирующей жидкости (или сжатого воздуха), устройства для загрузки и выгрузки деталей и рабочей среды.

Конструкция вибрационной установки состоит из основания, на котором смонтированы все рабочие элементы установки; рабочей камеры с закрепленным на ней вибратором, подвешенной на пружинах и опирающейся на основание привода вибратора бака-отстойника и системы циркулирующей жидкости (при работе сухим способом вместо жидкости применяют сжатый воз-

дух). Схема типовой вибрационной установки представлена на рис. 1.

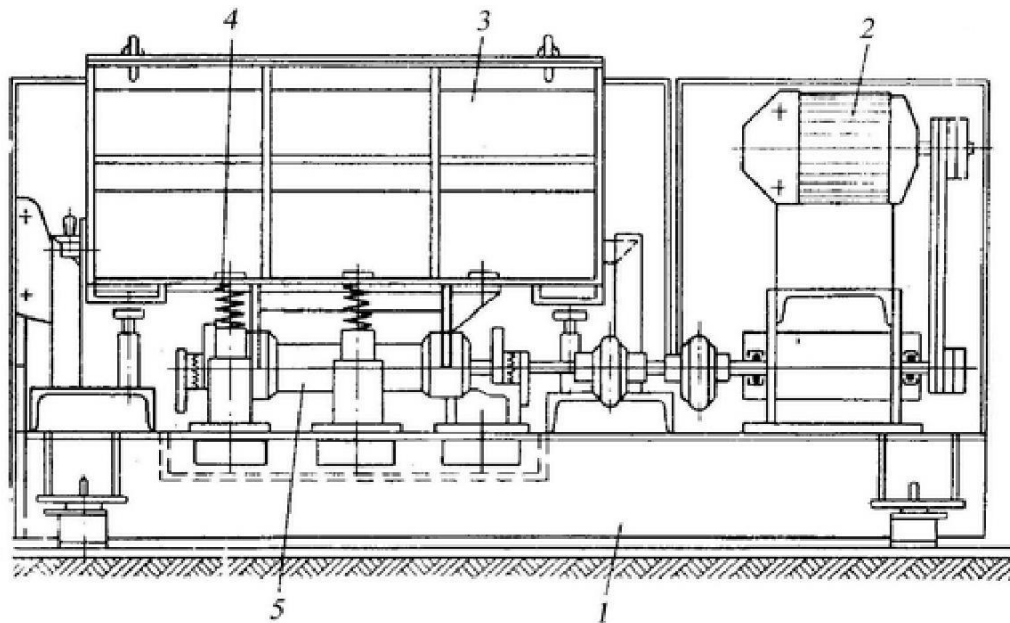


Рис. 1. Схема вибрационной установки УВГ-200:  
1 – основание; 2 – привод; 3 – рабочая камера;  
4 – пружина; 5 – вибратор

Основным узлом вибрационной установки, обеспечивающим выполнение главного движения – вибрирования, является вибратор. Вибраторы могут быть инерционные и электромагнитные. На практике в конструкциях установок в основном применяются инерционные вибраторы. При этом встречаются вибраторы с встроенным электродвигателем (рис. 4). Неуравновешенные грузы располагаются на валу ротора электродвигателя.

Наибольшее распространение получили вибраторы, изготавливаемые без собственного привода, получающие вращение через гибкие элементы от отдельного электродвигателя, закреплённого неподвижно. Такие конструкции вибраторов представляют собой вал с двумя опорами, размещёнными в сварном или литом корпусе и расположенными в конце вала дисками с несбалансированными грузами. Смещением подвижного груза относительно неподвижного осуществляется изменение возмущающей силы вибратора и соответственно амплитуды колебаний. В некоторых случаях изменение амплитуды достигается за счет добав-

ления на диск пластин в виде секторов. Схема привода вала вибратора показана на рис. 2.

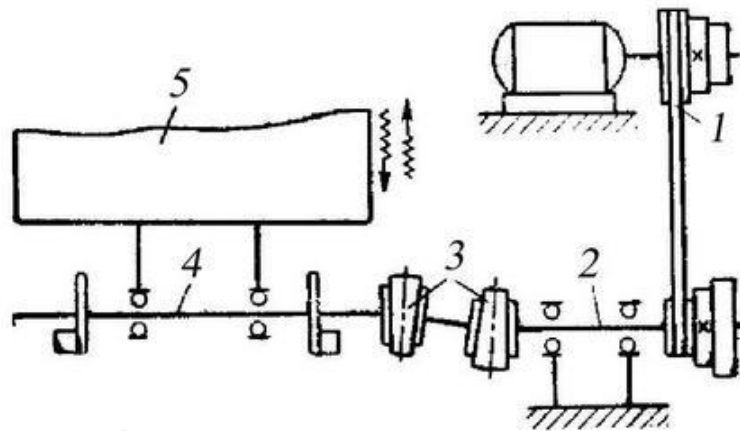


Рис. 2. Схема привода вала вибратора: 1 – электродвигатель; 2 – промежуточный вал; 3 – эластичные муфты; 4 – вал вибратора; 5 – рабочая камера

Расчёт основных элементов конструкции вибратора обычно производят исходя из условий, что его вал при наличии неуравновешенных грузов создает неуравновешенную центробежную силу, которая может быть выражена уравнением:

$$F = \frac{M_n}{g} \omega^2 = \frac{Q_{гр}}{g} r \omega^2 = m_{гр} r \omega^2, \quad (1)$$

где  $M_n = Q_{гр}r$  – момент неуравновешенности ( $Q_{гр}$  – вес неуравновешенных грузов;  $r$  – расстояние от центра тяжести груза до оси вращения;  $g$  – ускорение силы тяжести);  $\omega$  – угловая частота;  $m_{гр}$  – неуравновешенная масса грузов.

Неуравновешенные центробежные силы, действуя на рабочую среду и детали, загруженные в рабочую камеру и имеющие возможность колебаться в плоскости, перпендикулярной оси вращения вала, вызывают интенсивное перемешивание загруженной массы и вибрирование каждого элемента этой массы с частотой колебаний рабочей камеры. Расчет параметров вибратора, наряду с расчетом упругих элементов (пружин), составляет основную часть расчета виброустановки и осуществляется с учётом следующих исходных данных: объёма рабочей камеры; ам-



плитуды и частоты вибраций; приведенного веса колеблющейся массы  $Q_{\Pi}$ , который определяется из выражения

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{м}} + KQ_{\text{р.к}}, \quad (2)$$

где  $Q_{\text{м}}$  – вес колеблющихся частей машины, рабочей камеры, вибратора, виброплощадки;  $K = 0,4$  – коэффициент, учитывающий, что колебание содержимого рабочей камеры происходит с меньшей амплитудой, чем колебание элементов конструкции;  $Q_{\text{р.к.}}$  – вес загрузки рабочей камеры.

Вес загрузки на основе опытных данных принимается равным 2,5–3,0 кг на 1 л объема загрузки. Заполнение рабочей камеры принимается 0,7–0,8 ее объема.

В качестве привода вибратора применяются электродвигатели постоянного или переменного тока. Двигатели постоянного тока обеспечивают бесступенчатое регулирование числа оборотов вала вибратора (следовательно, частоты колебаний) и наиболее широко применяются в конструкциях установок зарубежных фирм. На практике применяются электродвигатели переменного тока с установкой вариатора для бесступенчатого регулирования числа оборотов вала вибратора или промежуточной опоры с валом и двух- или трехступенчатым шкивом и клиноременной передачей, обеспечивающих соответственно двух- и трехступенчатое регулирование числа оборотов вала вибратора.

При выборе или расчете мощности электродвигателя привода вибратора обычно используют опытные данные. Так, например, установка с объемом рабочей камеры 100 дм<sup>3</sup> имеет электродвигатель мощностью 1,7 кВт, а установка с объемом рабочей камеры 200 дм<sup>3</sup> имеет соответственно мощность электродвигателя 4,0 кВт.

Передача вращения от отдельно закрепленного электродвигателя вала вибратора обычно передается через эластичную муфту. Для большей изоляции вибрирующих частей установки от неподвижных в цепи передачи крутящего момента на валу вибратора помещают две эластичные муфты, разделенные промежуточным валом небольшой длины. Обязательным в большинстве случаев является установка в этой цепи промежуточного вала с

закреплённым на его свободном конце ступенчатым шкивом. Вместе с другим ступенчатым шкивом, закреплённым на валу электродвигателя, эта пара обеспечивает ступенчатое регулирование числа оборотов вала вибратора (рис. 2).

Существуют и другие конструкции гибких связей между валом вибратора и промежуточным валом. Например, применяют отрезки шланга, цилиндрические пружины, диски из прорезиненных материалов, установленные на концах соответствующих валов и соединенные болтами. Однако работоспособность эластичных муфт с резиновой оболочкой является наиболее высокой.

Рабочая камера выполняется обычно из листовой стали путем сварки. Внутри камера может быть облицована резиной, пластмассой, абразивным материалом и т. п. Особенностью формы рабочей камеры является ее U-образное (рис. 3, а) или V-образное сечения (рис. 3, б), обеспечивающие наиболее интенсивное перемещение рабочей среды. Изменение формы сечения рабочей камеры путем скругления одной из стенок улучшает и ускоряет процесс обработки вследствие исключения дополнительного завихрения в верхней части рабочей камеры с U-образным сечением (рис. 3, а).

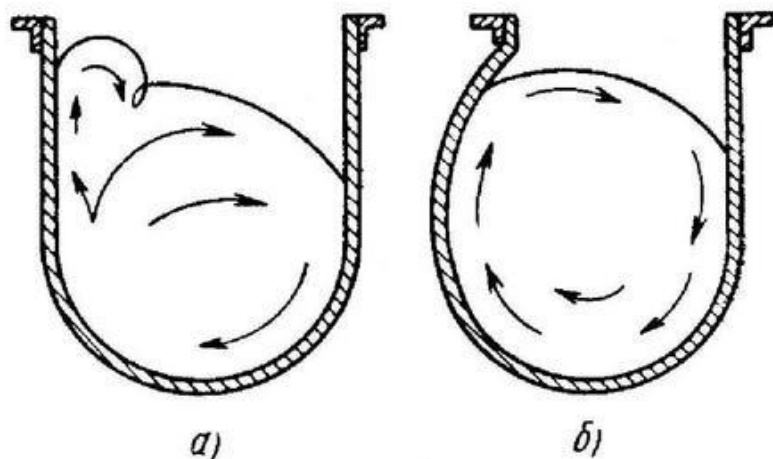


Рис. 3. Схемы сечений рабочих камер

Рабочие камеры больших размеров имеют в боковой стенке разгрузочное окно для выгрузки деталей и рабочей среды. Рабочие камеры объемом до 10–50 дм<sup>3</sup> часто разгружаются путем

опрокидывания. Для удаления продуктов износа рабочей среды и обрабатываемых деталей на дне рабочей камеры имеется одно или несколько сетчатых отверстий. В некоторых случаях для уменьшения шума (или пылеобразования при сухом способе) камеры снабжаются быстросъемными крышками.

Рабочая камера устанавливается на пружинах, обеспечивающих ей необходимую свободу колебаний. Эти пружины должны иметь определенные размеры, которые находят расчетным путем. Жесткость пружин, также зависящая от их размеров и модуля упругости материала, должна быть такой, чтобы частота собственных колебаний системы была меньше частоты вибрации машины, тогда вынужденные колебания будут совершаться в более устойчивом для работы виброустановки режиме. Кроме того, виброустановка должна иметь возможность работать как с полной нагрузкой, так и при холостом режиме. При полной нагрузке величина прогиба пружин не должна превышать допустимый прогиб, чтобы не нарушить нормальную работу эластичных муфт.

Основание вибрационной установки служит для монтажа на нем всех рабочих узлов: рабочей камеры с вибратором и пружинами, привода вибратора с промежуточной опорой и некоторых вспомогательных устройств. Основание выполняют в виде массивной коробки, сваренной из швеллеров и залитой бетоном или отходами чугуна. Большой вес основания повышает устойчивость работы установки и существенно снижает уровень вибраций, передаваемых на пол или фундамент помещения. Основание опирается на амортизаторы, которые являются разделяющим элементом между вибрационной установкой и полом или фундаментом помещения и обеспечивают гашение вибраций, передаваемых основанием. Основание воспринимает нагрузки от действия вертикальной составляющей вибрации рабочей камеры и вибратора. Действие этой нагрузки на основание может рассматриваться как действие моментов неуравновешенности.

Эффективность амортизаторов зависит от их жесткости. Жесткость амортизаторов должна быть такой, чтобы частота собственных колебаний основания на амортизаторах была в несколько раз меньше частоты колебаний рабочей камеры и vibra-

тора. В конструкциях вибрационных установок встречаются амортизаторы, имеющие эластичные элементы в виде пружин или резиновых деталей, располагаемых между металлическими пластинами, связанными с основанием. Амортизаторы с резиновыми деталями обычно компактны и имеют простую конструкцию, более удобны в эксплуатации и применяются сравнительно чаще других.

Важную роль в работе виброустановки играет система циркуляции жидкого наполнителя с баком-отстойником, обеспечивающая подачу жидкости в рабочую камеру в необходимых количествах, отвод ее из рабочей камеры вместе с продуктами износа рабочей среды и обрабатываемых деталей, очистку для последующей подачи вновь в рабочую камеру. Система циркуляции состоит из бака-отстойника, трубопровода, насоса с фильтром и кранов. Бак-отстойник изготавливается обычно сварным из листовой стали с внутренними перегородками. Емкость бака выбирается приближенно из расчета 0,7–1,2 л на 1 л объема рабочей камеры. К основному баку-отстойнику рекомендуется устанавливать (сверху) дополнительный приемный бачок для грубой очистки стекаемой жидкости. В этом бачке оседают наиболее крупные частицы, и он сравнительно быстро засоряется (особенно при работе абразивами пониженной твердости). Небольшие размеры и вес бака, а также свободный доступ позволяют сравнительно легко и часто очищать его. Вместе с тем, наличие бака грубой очистки предохраняет основной бак-отстойник большого объема от частых загрязнений и уменьшает число периодических промывок. Бак-отстойник можно располагать рядом с установкой или под ней. Для отвода раствора с продуктами износа из рабочей камеры применяют гибкий шланг. Длина шланга должна быть небольшой. Кроме того, нельзя допускать перегибов с малыми радиусами. При несоблюдении этих условий в местах изгиба шланга или на участках большей длины образуются пробки из продуктов износа, которые трудно удалить.

Установка имеет кожух, служащий для поглощения шума. Установки небольших размеров с объемом рабочей камеры до 100–150 дм<sup>3</sup> обычно полностью закрывают кожухом, у более крупных установок рабочая камера сверху открыта. Для обслу-

живания в процессе работы и наладки в кожухе изготавливают проемы, закрываемые соответствующими крышками.

Наряду с вибрационными установками, имеющими прямоугольную форму рабочей камеры, находят применение и установки с кольцевой (или тороидной) формой рабочей камеры (рис. 4). Основные элементы и принцип работы вибрационной

установки этого типа те же, что и установок с прямоугольным сечением рабочей камеры. Некоторые особенности имеет только принцип перемешивания рабочей среды и обрабатываемых деталей. Наиболее существенным параметром, характеризующим различные типы установок, является объем рабочей камеры ( $\text{дм}^3$  или  $\text{м}^3$ ). Этот параметр определяет как технологические возможности данной установки (количество и размеры обрабатываемых деталей, потребное количество рабочей среды), так и конструкцию основных ее узлов. Пределы изменений амплитуды и частоты колебаний в основном являются постоянными для различных типов установок.

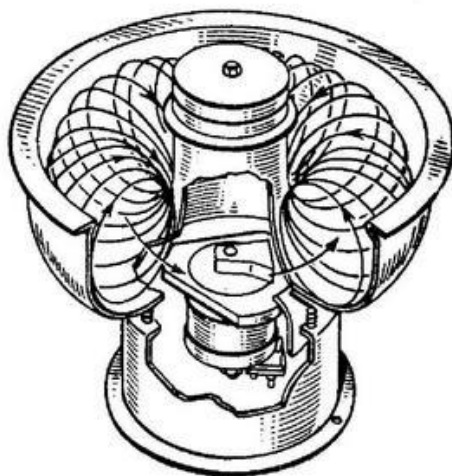


Рис. 4. Вибрационная установка кольцевого типа

В нашей стране разработана гамма вибрационных установок с объемом рабочих камер (прямоугольной формы)  $4 \times 10$ ,  $4 \times 25$ ,  $2 \times 50$ , 100, 200, 300, 500 и  $1000 \text{ дм}^3$ .

### 2.3. Рабочие среды

Одним из основных этапов разработки технологического процесса вибрационной обработки, оказывающих решающее влияние на достижение требуемых результатов, с точки зрения

качества поверхности и производительности, является выбор рабочей среды. В зависимости от назначения выполняемой операции, материала детали и применяемого способа ведения процесса (сухой или с непрерывной промывкой) состав рабочей среды может быть различным.

В состав рабочей среды входят: твердый наполнитель в виде абразивов и неабразивных материалов, жидкий наполнитель (СОЖ) в виде водных растворов с различного рода добавками, обладающими необходимыми свойствами (моющими, разделяющими, травящими, пассивирующими, блескообразующими и т. п.), циркулирующий непрерывно через рабочую камеру или сменяемый периодически (при сухом способе для регенерации рабочей среды применяется сжатый воздух).

### **2.3.1. Классификация рабочих сред**

Классифицируют рабочие среды по нескольким признакам. По роду материала рабочие среды бывают из различных абразивных материалов (искусственных и естественных) и неабразивных. Из числа искусственных абразивных материалов применяют электрокорунд белый и нормальный, карбид кремния зеленый и черный, шлак литейный и др. Среди абразивных материалов естественного происхождения применяют кварцевые породы, известняк, гранит, базальт, мрамор и др. Абразивные материалы применяют в виде крошки различных размеров и формы, шлифовальных зерен и шлифовальных порошков. На операциях тонкой отделки абразивные материалы часто применяются в составе различного рода паст.

В качестве неабразивных материалов применяют предметы различной формы из древесины, пластмасс, резины, войлока, фетра, кожи, картона, некоторых тканей и т. п. Некоторые из этих материалов могут применяться самостоятельно в качестве твердого наполнителя.

По форме частицы рабочих сред подразделяют на частицы правильной геометрической формы (рис. 5) (цилиндр, шар, призма, конус, пирамида, звездочка и т. д.) и частицы произвольной формы. Частицы правильной геометрической формы получают

путем прессования, штамповки, прокатки, выдавливания и другими способами, частицы произвольной формы получают в результате дробления или размалывания твердых материалов.

По размеру частиц рабочие среды бывают в виде шлифовальных зерен или шлифовальных порошков различной зернистости, формованных частиц и крошки различной грануляции от 3 до 60 мм. Твердый наполнитель играет основную роль в процессе обработки, обеспечивая съем металла и его окислов с обрабатываемой поверхности или ее пластическое деформирование.

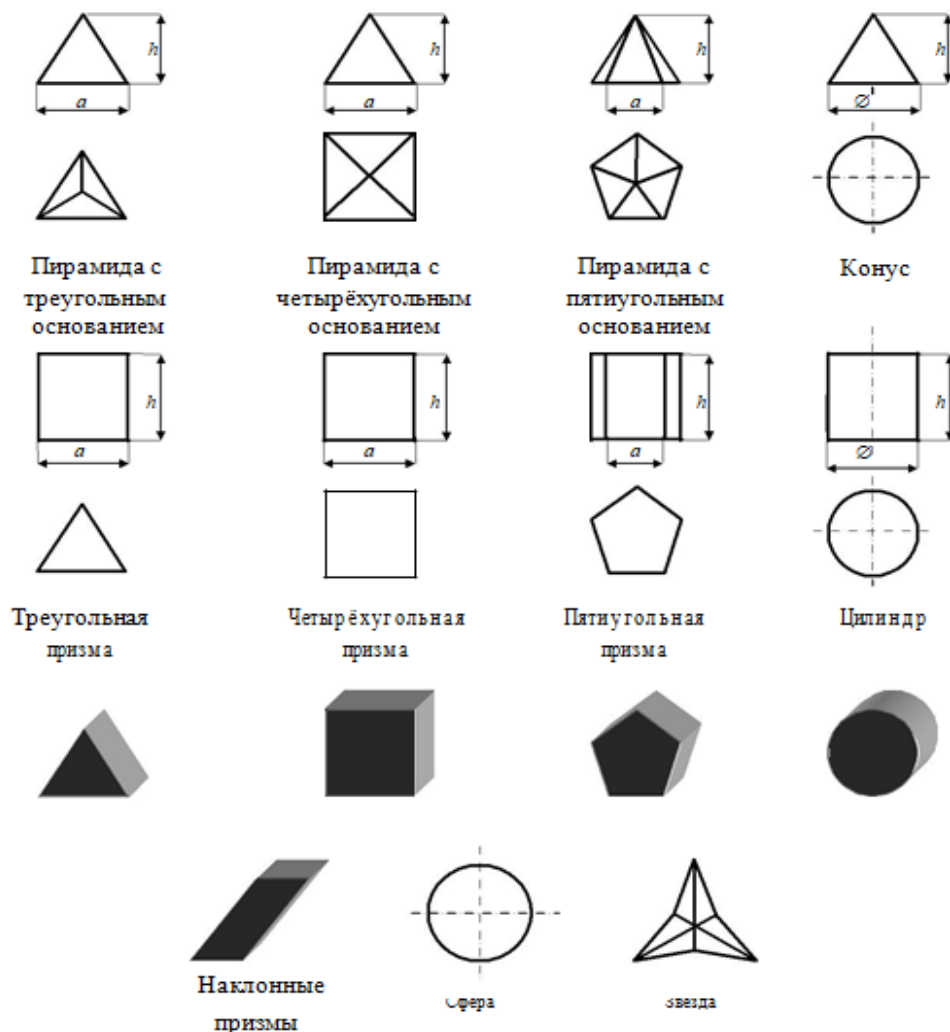


Рис. 5. Часто применяемые формы галтовочных тел

В зависимости от характера операций можно применять только абразивные материалы или неабразивные или сочетания тех и других. Абразивная среда обычно осуществляет работу по диспергированию металла в процессе вибрационной обработки. Абразивные материалы определяются характеристикой, разме-

рами и формой. Они в подавляющем большинстве случаев представляют основную часть состава твердого наполнителя и играют роль режущего элемента. Кроме того, абразивная среда разделяет детали и предотвращает столкновение их между собой. Абразивные материалы применяются также в качестве добавок в небольших количествах к среде в виде металлических, деревянных, войлочных, кожаных, резиновых и других предметов. В этом случае абразивные материалы также являются режущими элементами, а неабразивные предметы – носителями абразивных частиц.

### 2.3.2. Твердые наполнители для вибрационной обработки

Применяются формованные галтовочные тела, изготовленные из абразивных зерен и различных связок (керамической, органической, вулканитовой и др.). Твердость галтовочных тел может быть различной в зависимости от конкретных условий выполнения той или иной операции. Характеристика абразивного зерна определяется видом выполняемой операции и материалом обрабатываемых деталей, а размеры и форма определяются соответственно формой и размерами детали. Некоторые виды абразивных формованных галтовочных тел на органической связке для объемно-абразивной обработки представлены на рис. 6.

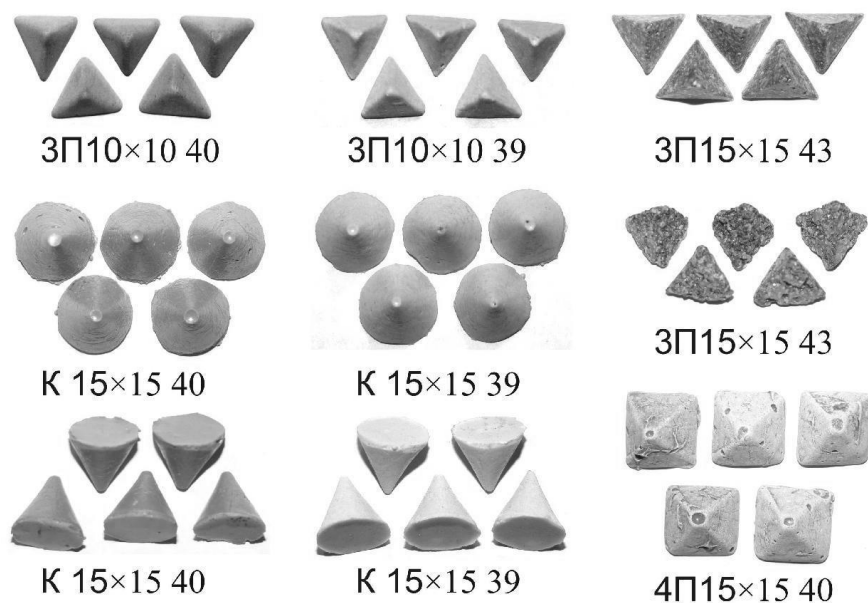


Рис. 6. Галтовочные тела на органической связке



Среди наполнителей из неабразивных материалов широкое применение в практике вибрационной обработки получили стальная и чугунная дробь, литые звездочки, рубленая проволока, мелкие отходы листовой штамповки, стальные полированные шарики, войлочные пыжи, древесная крошка различной формы, косточковые материалы. Некоторые виды наполнителей этой группы показаны на рис. 7.

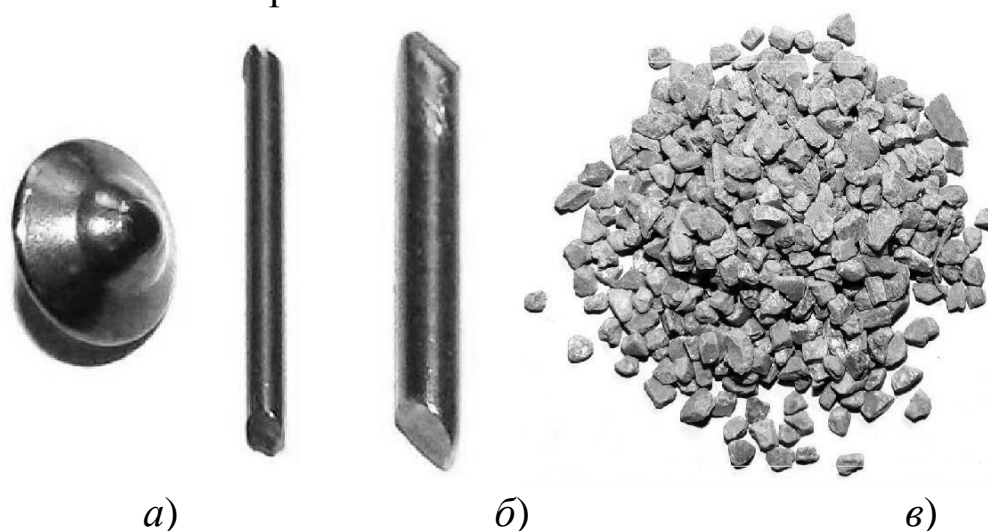


Рис. 7. Наполнитель фирмы ОТЕС (Германия):

*а* – металлический наполнитель планета;  
*б* – рубленая проволока; *в* – крошка из скорлупы грецкого ореха

### 2.3.3. Жидкие наполнители для вибрационной обработки

Жидкий наполнитель (СОЖ) оказывает существенное влияние на протекание процесса вибрационной обработки и обеспечивает удаление продуктов износа с поверхности обрабатываемых деталей и рабочей среды, смачивает детали и твердый наполнитель, помогает их разделению и равномерному распределению в рабочей среде, охлаждает детали и рабочую среду, исключает пылеобразование, обеспечивая нормальные условия для обслуживания. Путем регулирования уровня жидкости в рабочей камере достигается изменение интенсивности обработки. Наличие жидкого наполнителя обеспечивает наибольшие удобства для введения в состав раствора химических веществ с различными свойствами.

Основой СОЖ в большинстве случаев являются водные растворы щелочей, кислот и солей, которые в зависимости от характера выполняемой операции дополняются различного рода химическими добавками.

Введение в раствор химических веществ расширяет служебные функции СОЖ. Вводимые добавки способствуют увеличению съема металла и сохранению режущих свойств абразива; повышают антикоррозионные, смазывающие или смачивающие свойства растворов; могут образовывать сильную пенистую подушку, способствующую лучшему сглаживанию и осветлению обрабатываемой поверхности; способствуют лучшей обрабатываемости мягких и вязких материалов (чистовая обработки таких материалов, как известно, встречает серьезные затруднения); обладают свойствами блескообразования; препятствуют загрязнению и затемнению полируемых поверхностей и полирующих тел; предотвращают слипание плоских поверхностей и обеспечивают равномерную обработку плоских поверхностей всех загруженных в рабочую камеру деталей.

Щелочи применяются наиболее часто как антикоррозионное средство, а также как средство, ускоряющее процесс обработки черных металлов. Например, раствор кальцинированной соды (2–3 %) применяется при выполнении операций шлифования, удалении заусенцев и окалины. При этом обеспечивается удовлетворительная очистка поверхности деталей и твердого наполнителя от продуктов износа и предохранение от коррозии обрабатываемых деталей из стали и чугуна.

Кислоты (серная, соляная и др.) применяются в растворах как средство для травления поверхности металлов. Наиболее часто кислотные растворы слабой концентрации применяются на операциях очистки от окалины. В составе с другими веществами (в том числе и ингибиторами) кислоты добавляют в растворы и при шлифовании металлов. В практике вибрационной обработки находят применение медный купорос, олеиновая и стеариновая кислоты, главным образом на операциях шлифования и отделки.

При экспериментальной проверке удовлетворительные результаты по шлифованию черных металлов достигнуты при применении раствора хлористого олова или хлористого железа. На

операциях отделки применяют добавки скипидара, олеиновой и стеариновой кислот.

При обработке деталей из алюминиевых сплавов с целью исключения потемнения поверхности применяется водный раствор с добавлением следующих веществ при комнатной температуре: 27 мл/л  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ; 27 г/л ОП-7; 5 г/л тиомочевины. Удовлетворительные результаты дает также раствор хромпика.

При обработке деталей из латуни хорошие результаты достигнуты с применением раствора следующего состава:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 30 мл/л;  $\text{HNO}_3$  – 15 мл/л;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – 5 г/л; ОП-7 – 20 г/л.

## 2.4. Описание оборудования

Вибрационная обработка выполняется на установке с техническими характеристиками:

- амплитуда колебания бункера 0,1–5 мм;
- частота колебаний 2800 кол./мин;
- емкость бункера 10 л.

Амплитуда колебаний изменяется путем изменения угла между несбалансированными грузами вибратора от 0 до 180°. Чем меньше угол между грузами, тем больше амплитуда.

Пуск установки осуществляется выключателем, расположенным на панели управления.

Для взвешивания образцов используются весы марки ВЛКТ-500г-М, 4 класса точности, ГОСТ Р 53228-2008.

Для взвешивания наполнителя используются электронные весы любой марки с точностью взвешивания до 0,5 г и максимально допустимым весом не менее 5 кг.

## 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Вибрационная обработка деталей производится в следующем порядке:

3.1. Получить у преподавателя номер варианта. По табл. 1, прил. 1, определить номер наполнителя, номер набора образцов и номер режимов обработки.

3.2. Получить у лаборанта необходимое оборудование для выполнения работы.

3.3. Подготовить образцы для обработки: протереть ветошью и взвесить на весах. Занести данные в табл. 5, прил. 2.

3.4. Подготовить наполнитель для осуществления обработки. Просеять на сите с соответствующим размером ячейки и взвесить заданный объем наполнителя на весах. Данные занести в табл. 6, прил. 2. Соотношение объема образцов и наполнителя принимать 1:10.

3.5. Подготовить СОЖ заданного объема. Соотношение объема СОЖ и наполнителя принимать 3:10.

3.6. Загрузить образцы, наполнитель и СОЖ в рабочую емкость устройства для вибрационной обработки и запустить обработку в заданном режиме.

3.7. По окончании времени обработки остановить устройство и отделить образцы от наполнителя. Тщательно промыть образцы и наполнитель в проточной воде. После этого образцы протереть чистой ветошью и взвесить, данные занести в табл. 5, прил. 2. Наполнитель просушить в течение 20 минут под вентилятором, просеять на сите и взвесить. Данные занести в табл. 6, прил. 2.

3.8. Рассчитать массу снятого металла  $m_i$  по формуле

$$\Delta m_i = m_{i1} - m_{i2}, \text{ г} \quad (3)$$

и производительность  $Q_i$  по формуле

$$Q_i = \frac{\Delta m_i}{t}, \text{ г/мин.} \quad (4)$$

Значения занести в табл. 5, прил. 2.

Построить гистограмму для обработанных образцов по данным производительности обработки  $Q_i$ .

3.9. Рассчитать коэффициент галтования по формуле

$$K_e = \frac{\sum \Delta m_{i1} \cdot M_{n1}}{\sum m_{i1} \cdot \Delta M_n} \quad (5)$$

Значение занести в табл. 5, прил. 2.

3.10. По полученным в ходе работы данным сделать выводы:

- об эффективности вибрационной обработки;
- об эффективности обработки различных материалов;
- об эффективности наполнителя.

3.11. Оформить отчет о выполненной работе на листах формата А4, который должен содержать титульный лист с необходимыми сведениями, цель работы, полученные результаты и вывод о проделанной работе. Готовый отчет сдать преподавателю на проверку.

3.12. Защитить выполненную работу, ответив на вопросы преподавателя.

## **4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

4.1. Перечислите конструкции вибрационных установок.

4.2. Изобразите кинематическую схему вибрационной установки и опишите принцип ее работы.

4.3. Перечислите основные узлы вибрационных установок.

4.4. Какие формы рабочих камер используются на вибрационных установках?

4.5. Что называют рабочей средой при вибрационной обработке?

4.6. По каким признакам классифицируют рабочие среды?

4.7. Галтовочные тела какой формы используются в вибрационной обработке?

4.8. Из каких материалов изготавливают галтовочные тела?

4.9. С какой целью используются жидкие наполнители?

4.10. Какие составы СОЖ используются при объемной абразивной обработке?

# Приложение 1

Таблица 1

## Варианты заданий для вибрационной обработки образцов

№ варианта	№ наполнителя по табл. 2.	№ набора образцов по табл.3.	№ режимов для обработки по табл. 4.	№ варианта	№ наполнителя по табл. 2.	№ набора образцов по табл. 3.	№ режимов для обработки по табл. 4.
1	1	1	1	26	26	6	6
2	2	2	2	27	27	7	7
3	3	3	3	28	28	8	8
4	4	4	4	29	29	9	9
5	5	5	5	30	30	10	10
6	6	6	6	31	31	1	1
7	7	7	7	32	32	2	2
8	8	8	8	33	33	3	3
9	9	9	9	34	34	4	4
10	10	10	10	35	35	5	5
11	11	1	1	36	36	6	6
12	12	2	2	37	37	7	7
13	13	3	3	38	38	8	8
14	14	4	4	39	39	9	9
15	15	5	5	40	40	10	10
16	16	6	6	41	41	1	1
17	17	7	7	42	42	2	2
18	18	8	8	43	43	3	3
19	19	9	9	44	44	4	4
20	20	10	10	45	45	5	5
21	21	1	1	46	1	6	6
22	22	2	2	47	2	7	7
23	23	3	3	48	3	8	8
24	24	4	4	49	4	9	9
25	25	5	5	50	5	10	10

Таблица 2

## Тип наполнителя

№ наполнителя	Наполнитель		
	Вид наполнителя, форма	Размеры, мм	Марка абразива
1.	Треугольная пирамида	15×15	13AM10
2.	Четырехугольная пирамида	15×15	13AM10
3.	Конус	15×15	13AM10
4.	Треугольная пирамида	10×10	13AM10
5.	Четырехугольная пирамида	10×10	13AM10
6.	Конус	10×10	13AM10
7.	Треугольная пирамида	15×15	13AM20
8.	Четырехугольная пирамида	15×15	13AM20
9.	Конус	15×15	13AM20
10.	Треугольная пирамида	10×10	13AM20
11.	Четырехугольная пирамида	10×10	13AM20
12.	Конус	10×10	13AM20
13.	Треугольная пирамида	10×10	24AM20
14.	Четырехугольная пирамида	10×10	24AM20
15.	Конус	10×10	24AM20
16.	Треугольная пирамида	15×15	13AM40
17.	Четырехугольная пирамида	15×15	13AM40
18.	Конус	15×15	13AM40
19.	Треугольная пирамида	10×10	13AM40
20.	Четырехугольная пирамида	10×10	13AM40
21.	Конус	10×10	13AM40
22.	Треугольная пирамида	15×15	13AM63
23.	Четырехугольная пирамида	15×15	13AM63
24.	Конус	15×15	13AM63
25.	Треугольная пирамида	10×10	13AM63
26.	Четырехугольная пирамида	10×10	13AM63
27.	Конус	10×10	13AM63
28.	Свободный абразивный материал	—	13AM10
29.	Свободный абразивный материал	—	24AM10
30.	Свободный абразивный материал	—	13AM20
31.	Свободный абразивный материал	—	24AM20
32.	Свободный абразивный материал	—	13AM40
33.	Свободный абразивный материал	—	24AM40
34.	Свободный абразивный материал	—	13AM50
35.	Свободный абразивный материал	—	24AM50

Продолжение табл. 2

№ наполнителя	Наполнитель		
	Вид наполнителя, форма	Размеры, мм	Марка абразива
36.	Свободный абразивный материал	—	13АМ63
37.	Свободный абразивный материал	—	13АМ80
38.	Свободный абразивный материал	—	13АМ100
39.	Свободный абразивный материал	—	13АМ120
40.	Стальной наполнитель рубленая проволока	0,5×5	—
41.	Стальной наполнитель рубленая проволока	1×5	—
42.	Стальной наполнитель рубленая проволока	1,5×10	—
43.	Стальной наполнитель рубленая проволока	2×10	—
44.	Стальная дробь	5	—
45.	Другой наполнитель	—	—

Таблица 3

Набор образцов

№ на- бора образ- цов	Образцы						
	Размеры $l \times b \times h$ (рис. 11)	Объем, мл	№1	№2	№3	№4	№5
1.	50×30×20	30	ШХ15	20Х13	09Г2С	АК6	Л9
2.	50×30×20	30	ШХ15	12Х18	Сталь 3	АК6	Л9
3.	50×30×20	30	ШХ15	20Х13	Сталь 45	АК6	Л9
4.	45×15×15	10,125	ШХ15	20Х13	09Г2С	АК6	Л9
5.	45×15×15	10,125	ШХ15	12Х18	Сталь 3	АК6	Л9
6.	45×15×15	10,125	ШХ15	20Х13	Сталь 45	АК6	Л9
7.	45×15×2	1,35	ШХ15	20Х13	09Г2С	АК6	Л9
8.	45×15×2	1,35	ШХ15	12Х18	Сталь 3	АК6	Л9
9.	45×15×2	1,35	ШХ15	20Х13	Сталь 45	АК6	Л9
10.	Другой	—	—	—	—	—	—



## Эскиз образца

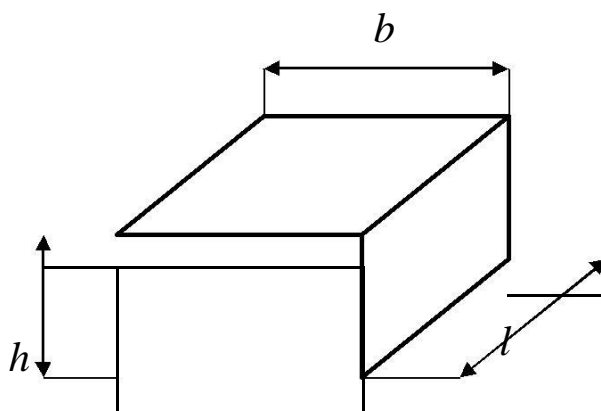


Таблица 4

## Режимы вибрационной обработки образцов

№ режимов	Амплитуда колебания бункера, мм	Время обработки $t$ , мин
1.	0,5	40
2.	1	40
3.	1,5	40
4.	2	40
5.	3	40
6.	4	60
7.	5	60
8.	0,5	30
9.	2	30
10.	3	30

## Приложение 2

Таблица 5

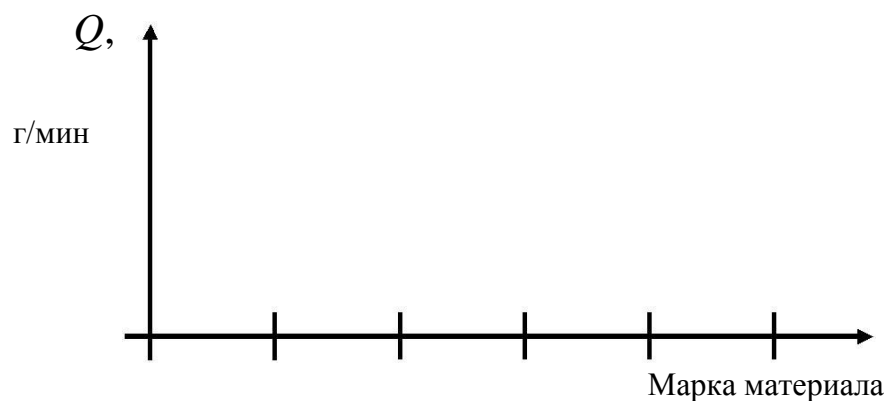
Номер образца	№1	№2	№3	№4	№5	Сумма
Марка материала						
Масса до обработки $m_{i1}$ , г						
Масса после обработки $m_{i2}$ , г						
Масса снятого металла $m_i$ , г						
Производительность $Q_i$ , г/мин						

Таблица 6

## Данные о наполнителе

Вид наполнителя
Объем наполнителя перед обработкой
Масса до обработки $M_{H1}$ , г
Масса после обработки $M_{H2}$ , г
Износ наполнителя $M_H$ , г
Износ наполнителя $U$ , г/мин
Коэффициент галтования $K_{\Gamma}$

## Оси для построения гистограммы



# **Лабораторное занятие № 3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ**

## **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Практическое ознакомление студентов с технологией изготовления моделей шлифовальных кругов из реальных зерен и оптически прозрачной связки.

## **2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Знание механизма износа инструментов является ключевым моментом в вопросе повышения их стойкости и отыскания наиболее оптимальной области применения. Для лезвийных инструментов данная задача во многом уже решена, абразивных же инструментов это касается в меньшей степени. Основная причина здесь состоит в том, что режущие элементы шлифовальных инструментов зерна имеют малые размеры, большое число на единице рабочей площади, произвольную форму и расположение в пространстве. Все это весьма усложняет процесс изучения износа отдельных зерен, и потому в большинстве случаев речь ведется о размерном износе всего инструмента, хотя понятно, что первопричиной износа инструмента в целом является износ отдельных зерен.

### **2.1. Изучение износа отдельных шлифовальных зерен**

По общепринятой классификации процесс износа единичных зерен подразделяется на четыре разновидности (рис. 1). Первый вид износа – это износ истиранием (рис. 1, *а*), когда происходит постепенное сглаживание задней поверхности зерна и образуется площадка износа. Другая разновидность износа состоит в том, что в результате действующих ударных нагрузок от зерна откалываются небольшие осколки (рис. 1, *б*) и происходит процесс самозатачивания. При больших действующих нагрузках или малой прочности зерна такой износ перерастает в третью разновидность (рис. 1, *в*), когда происходит глобальное разрушение зерна на части. В случае слабой адгезии зерна со связкой зерно практически не работает и уже при мини-

мальных нагрузках вырывается из связки (рис. 1, *г*), характеризую четвертую разновидность износа.

Анализируя эти виды износа, можно прийти к выводу, что положительную роль при резании выполняют износ истиранием в износ скалыванием. Здесь зерна участвуют в работе и постепенно изнашиваются. Другие виды износа практически не способствуют процессу обработки, и их можно рассматривать как потерю режущих элементов без выполнения своих функций. Такой вид износа может быть приемлем только на операциях правки, когда принудительным образом снимают слой абразива для обновления засаленной, либо неровной рабочей поверхности инструмента.

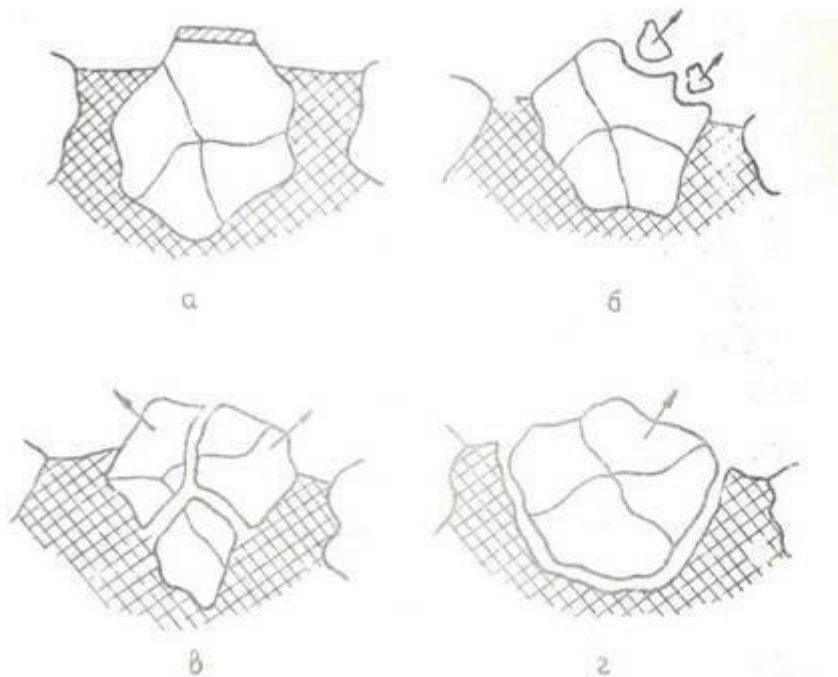


Рис. 1. Разновидности износа шлифовальных зерен:

- а*) образование площадки износа; *б*) скалывание;  
*в*) объемное разрушение; *г*) вырыв из связки

В условиях шлифования, когда осуществляется групповое микропoreзание одновременно большим числом зерен, имеющих произвольную форму и расположение в пространстве, соседствуют и имеют место все перечисленные виды износа. Эффективность протекания процесса обработки и стойкость инструмента зависят от баланса видов износа. Если зерна изнашиваются преимущественно истиранием и скалыванием, то инструмент, работает в благоприятных условиях, и стойкость его велика. Если же зерна в своем большинстве рас-

крашиваются или вылетают из связки, то инструмент охрупчивается, теряет свою форму и интенсивно изнашивается.

Зернам свойствен также переход из одной стадии износа в другую – например, от износа на площадке к износу путем скалывания, и наоборот.

Таким образом, характер протекания износа зерен на рабочей поверхности инструмента представляет собой сложный и многообразный процесс, зависящий от массы факторов – условий обработки, механических свойств зерен, их формы и ориентации и инструменте относительно плоскости резания, свойств связки, режимов резания и др.

Поскольку учесть все эти факторы при изготовлении и эксплуатации шлифовальных инструментов весьма сложно, то процесс изнашивания зерен в существующих шлифовальных инструментах протекает далеко не в оптимальном режиме. Об этом говорят, например, данные по использованию алмазных зерен в кругах на бакелитовой связке. При шлифовании молибдена эффективность их применения составляет 9 %, жаропрочных сплавов – 6 %, титана – 3 %, стали 40 – 2 %, никеля – 0,09 % и чугуна – 0,07 %. Очевидно, что для абразивных инструментов эти цифры имеют тот же порядок или даже меньший.

Следовательно, существует значительный резерв повышения эксплуатационных возможностей шлифовальных инструментов, и одним из перспективных путей решения этой задачи является всестороннее исследование износа шлифовальных зерен, отыскание особенностей и закономерностей его протекания.

Как уже отмечалось, в силу сложности изучения износа отдельных зерен преимущественно контролируют и измеряют размерный износ всего шлифовального инструмента. В то же время существуют методы исследования износа и отдельных зерен. К самым распространенным из них относился метод резания единичным горном и его модификации. В этом случае наблюдение ведут за отдельным зерном, как правило, специальной формы, чтобы можно было вычислить его изношенную часть в процессе резания в тех или иных условиях. Недостаток метода очевиден – в инструменте зерна, как правило, не имеют специальной формы и заданной ориентации, их количество измеряется тысячами штук и характер износа зерен весьма разнообразен. Поэтому делать заключение о свойствах абразива на основании работы нескольких единичных зерен не вполне точно.

Другим направлением исследования износа являемся анализ частиц шлама, образующихся при работе шлифовальным инструментом. Шлам сепарируется от частиц стружки и рассеивается на наборе сит или изучается под микроскопом с целью определения размеров и числа осколков абразива. По этим параметрам судят об интенсивности и особенностях процесса износа зерен. Поскольку анализ частиц шлама весьма трудоемкая работа, то известен, случай, когда для этой цели используют специально спроектированную автоматизированную оптико-механическую систему фирмы «Цейсс».

Изучение износа по шламу устраняет недостаток предыдущего метода – здесь осуществляется массовое микрорезание большой группой зерен, находящихся на рабочей поверхности инструмента. В то же время в данном случае нельзя установить, какие осколки шлама какому зерну принадлежат, т. е. износ каждого конкретного зерна остается скрытым. Кроме того, в шламе, наряду с осколками зерен, находятся и частицы связки, которые затрудняют правильность понимания процесса износа зерен, а вариант износа зерен на площадке, без скалывания граней, вообще этим методом не регистрируется.

Износ зерен можно изучать также снятием профилограмм с рабочей поверхности инструмента. Сравнивая профилограммы одного и того же участка рабочей поверхности шлифовального инструмента, получаемые периодически в процессе резания, формируют представление о величине интенсивности износа. Для снятия профилограмм используют специальные приспособления, гарантирующие попадание измерительной иглы на один и тот же участок инструмента.

Недостаток данного метода состоит в том, что профилограмма дает обширную картину неровностей на поверхности инструмента, по которой трудно распознать местоположения, границы контуров режущих элементов и связки. Поэтому судить об износе конкретных зерен можно только с известной долей вероятности.

Для исследования износа находит применение также фотометрический метод. Здесь с помощью фотодиодов регистрируется отраженный свет, направленный на локальный участок рабочей поверхности инструмента. Светотеневые эффекты, воспринимаемые фотодиодом непосредственно при работе шлифовального инструмента, регистрируется специальной аппаратурой, преобразующей свет в частотные импульсы, которые затем анализируются на экране осциллографа или с помощью ЭВМ и соответствующих программ. Анализ ведется с предположением о том, что темный цвет (и соответствующий ему импульс)

отображает встречающиеся на беговой дорожке зерна, а светлые участки – это связка. Постепенное увеличение темных участков, по данной концепции, характеризует появление и рост площадок износа на зернах, величину которых можно измерить или вычислить.

Такой утрированный подход, несет в себе элементы неточности, т. к. светлым участком, который воспринимает фотодиод, может оказаться и кусок стружки, капля СОЖ, да и само зерно не всегда бывает темным. Поэтому достоверность получаемой информации недостаточно высока.

Весьма точно износ зерен можно изучать с помощью сканирующего электронного микроскопа, а также телекамеры или сверхскоростной кинокамеры.

Использование сканирующего электронного микроскопа сопряжено с необходимостью периодически вынимать сегмент из шлифовального круга и рассматривать в нем один и тот же локальный участок. Телекамера и кинокамера могут применяться непосредственно в процессе шлифования, но требуют очень интенсивного освещения и точной фокусировки на узкий участок рабочей поверхности инструмента.

В целом названные методы, несмотря на их достоинства, трудно реализовать из-за технических сложностей проведения испытаний.

Анализ перечисленных методов и их недостатков позволил синтезировать метод исследования износа шлифовальных зерен, отличающийся простотой исполнения, надежностью и точностью измерений. Он базируется на использовании специальных шлифовальных кругов, особенностью которых является применение в качестве связки оптически прозрачного материала. Это дает возможность непосредственного визуального наблюдения за любым зерном в теле инструмента. Технология изготовления таких кругов (моделей кругов) в целом подобна типовой технологии. Суть состоит в том, что оптически прозрачный материал (эпоксидная смола) смешивается в необходимой пропорции со шлифовальными зернами исследуемой марки и зернистости. Предварительно в смолу вводится такое количество пластификатора, чтобы она в кристаллизованном состоянии приближалась к механическим характеристикам (в частности, модулю упругости) бакелитовой связки.

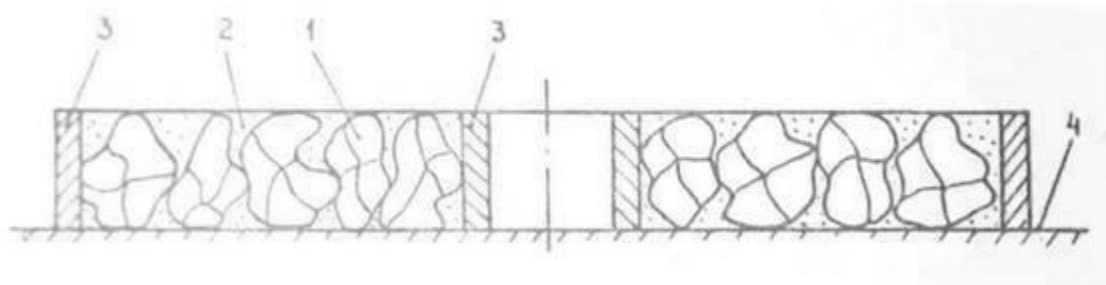


Рис. 2. Форма для изготовления кругов  
из оптически прозрачной связки

Приготовленную смесь зерен 1 со связкой 2 заливают в форму (рис. 2), состоящую из внутреннего и наружного стальных колец 3 и опорной поверхности 4, которые покрыты пленкой, предохраняющей от прилипания смолы. Количество заливаемой смеси подбирается так, чтобы зерна по высоте инструмента располагались в один ряд и между соседними зернами оставались промежутки из связующего. Такое условие необходимо выполнять для обеспечения свободного наблюдения за зернами при рассматривании готового инструмента на просвет. Если необходимо целенаправленно сориентировать зерна, то их предварительно укладывают в форме под требуемым углом к гипотетической плоскости резания, а затем заливают смолой.

Отверждение смеси в форме может осуществляться горячим или холодным способами, в зависимости от необходимости приведения в соответствие механических характеристик готового изделия имитируемому им инструменту. Изготовленный по такой технологии инструмент практически ничем не отличается от обычного, поэтому получаемые на нем результаты исследований правомерно экстраполировать на реальный процесс шлифования и типовой инструмент.

Форма, изображенная на рис. 2, позволит изготавливать модели шлифовальных кругов, подобные отрезным. Если же требуется получить шлифовальный круг прямого профиля, то такие модели собираются и фиксируются на оправке для формирования единого инструмента необходимых размеров. Для получения других конфигураций кругов можно изготовить формы соответствующего профиля.

Испытание моделей кругов, брусков, сегментов, изготовленных по описанной технологии, показали, что они обладают приемлемой работоспособностью и поэтому могут использоваться не только в научных, но и производственных целях (например, в случаях, когда необходим нестандартный инструмент).



В соответствии с предложенным методом изготовленный инструмент из оптически прозрачной связки испытывают в тех же условиях, что и типовой инструмент, и периодически рассматривают на просвет с помощью микроскопа. Другой путь состоит, в проецировании инструмента 1 на экран 2 через увеличитель 3 и получении теневых картин 4 (рис. 3). При этом внимание обращают на зерна, находящиеся на рабочей поверхности инструмента, которые зарисовывают (обводят тени зерен на экране) или фотографируют. Более совершенной и производительной является метод сканирования моделей кругов.

В зону рассмотрения включают как можно большее число отдельных зерен для формирования полного представления об особенностях износа исследуемого абразива. Сравнивая последовательные картины износа одних и тех же зерен за некоторые промежутки времени или определенное число проходов, можно проследить за характером их работы до полного исчезновения из тела инструмента.

На основе наблюдений за отдельными зернами представляется возможным сформировать интегральную картину износа зерен данной марки и зернистости.

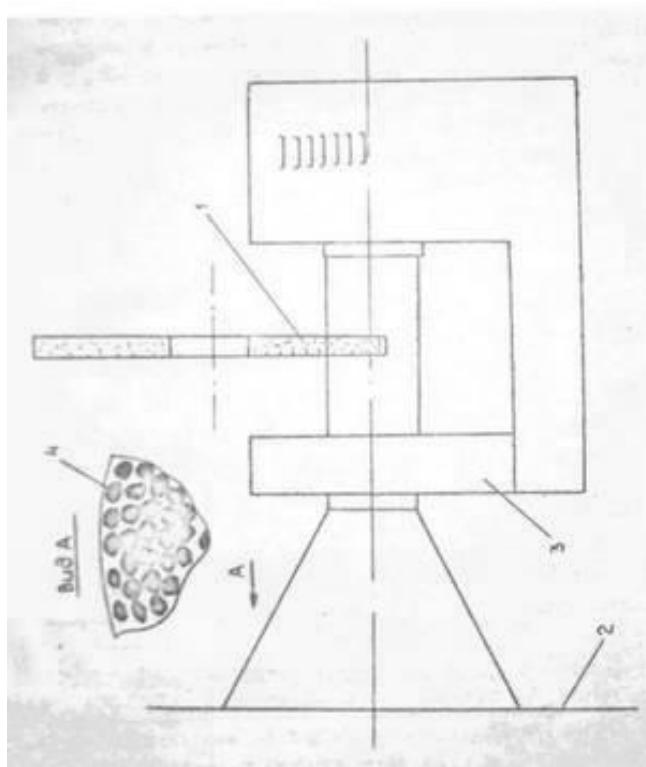


Рис. 3. Изучение износа зерен по теневым картинам их проекций

### **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

3.1. На листе бумаги прочерчиваются окружности, соответствующие диаметрам металлических колец для наружной и внутренней цилиндрических поверхностей изготавливаемой модели шлифовального круга. В области между окружностями размечается схема расположения зерен.

3.2. Поверх листа бумаги с разметкой кладется оргстекло, которое натирается тонким слоем парафина или воска. На него устанавливаются металлические кольца и укладываются зерна, согласно разметке на листе бумаги.

3.3. В пространство между кольцами заливается эпоксидная смола, смешанная с отвердителем.

3.4. После полного затвердевания модель круга вместе с кольцами отделяется от оргстекла, металлические кольца аккуратно снимаются. Края круга обтачиваются напильником для удаления заусенцев. Модель шлифовального круга готова.

### **4. ОБОРУДОВАНИЕ**

Шлифовальные зерна различных марок, зернистостей и форм, эпоксидная смола, металлические кольца для наружного диаметра и посадочного отверстия моделей кругов.

### **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

5.1. Какие виды износа шлифовальных зерен известны?

5.2. Какие из видов износа играют положительную роль, а какие отрицательную и почему?

5.3. Какие преимущества дает моделирование шлифовальных кругов?

5.4. Как изготавливается модель шлифовального круга из оптически прозрачной связки?

5.5. Какой метод исследования применяется при испытании моделей шлифовальных кругов из оптически прозрачной связки?

## **Лабораторное занятие № 4.**

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОДЕЛЕЙ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ И ОЦЕНКА ИЗНОСА ЕДИНИЧНЫХ ЗЕРЕН В НИХ ПРИ ШЛИФОВАНИИ**

### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Ознакомление студентов с методикой оценки эксплуатационных показателей моделей шлифовальных кругов и износа единичных зерен в них при резании.

### **2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

По общепринятой классификации износ единичных шлифовальных зерен подразделяется на следующие разновидности:

- износ истиранием (когда происходит постепенное истирание и выглаживание задней поверхности зерна с образованием площадки износа);
- износ скалыванием (когда в результате динамических нагрузок от зерна откалываются небольшие осколки);
- объемное разрушение зерна (при больших действующих нагрузках или малой прочности зерно раскалывается на несколько крупных частей и вылетает из связки);
- вырыв зерна из связки (при слабой адгезии зерна со связкой или неудачном расположении на рабочей поверхности инструмента оно под действием сил резания целиком вырывается из тела инструмента).

При шлифовании, когда осуществляется групповое микрорезание одновременно большим числом зерен, имеющих произвольную форму и расположение в инструменте, одновременно могут иметь место все перечисленные виды износа. Эффективность обработки и стойкость инструмента зависит от баланса видов износа. Например, если зерна изнашиваются преимущественно истиранием и скалыванием, то инструмент работает в благоприятных условиях и стойкость его будет велика. Если же большинство зерен раскалываются и вылетают из связки, то инструмент работает с интенсивным износом и будет иметь невысокую стойкость. При изменении условий работы зерен (режимов резания, физико-механических свойств обрабатываемого материала, применения СОЖ и пр.) возможен переход от одной

стадии износа к другой: например, от износа по площадке к износу путем скалывания или к износу за счет объемного разрушения и наоборот.

Установление закономерностей механизма износа зерен дает возможность повысить эффективность работы инструмента в целом. Однако, непосредственное исследование износа отдельных зерен, находящихся на рабочей поверхности инструмента, на основе методов, используемых для лезвийных инструментов, реализовать технически трудно. Причина состоит в том, что зерна являются весьма мелкими объектами, размеры передних и задних поверхностей которых составляют всего десятые и сотые доли миллиметра, и их можно наблюдать только через микроскоп. Кроме того, зерна перемещаются в пространстве со скоростями десятки метров в секунду и прямое наблюдение за ними можно организовать только с использованием скоростных и сверхскоростных кино- или телекамер. Сюда добавляется также то, что на единице поверхности шлифовального инструмента могут находиться сотни зерен, каждое из которых обладает своими особенностями и изнашивается по-своему. В силу этих причин на практике преимущественно изучают не износ отдельных зерен, а всего инструмента в целом, контролируя его размерный (объемный) или массовый износ.

Вместе с тем, существуют и методы оценки износа отдельных зерен. К ним относятся: метод резания единичным зерном, анализ частиц шлама, образующегося при шлифовании, снятие профилограмм с рабочей поверхности инструмента, фотометрический метод, использование растрового электронного микроскопа, телекамер или сверхскоростных кинокамер.

### **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

#### **3.1. Метод моделирования и оценка износа единичных зерен в моделях шлифовальных кругов**

Сущность метода состоит в том, что изготавливаются модели шлифовальных кругов (рис. 1), отличающиеся от стандартных инструментов только двумя особенностями – наличием оптически прозрачной связки и однорядным расположением зерен.



Рис. 1. Внешний вид модели отрезного шлифовального круга из оптически прозрачной связки и однорядным расположением зерен с размерами  $100 \times 2,2 \times 32$  мм

Прозрачная связка обеспечивает возможность визуального изучения контуров зерен на рабочей поверхности инструмента, а однорядное расположение зерен в теле инструмента исключает перекрытие одних контуров зерен другими. В качестве оптически прозрачной связки для моделей кругов используется эпоксидная смола, физико-механические свойства которой близки к свойствам бакелитовой связки (фенолформальдегидной смолы). Применение эпоксидной смолы обусловлено также тем, что данный материал применяется в качестве связующего при изготовлении некоторых типов шлифовальных инструментов, например, – кругов для шлифования шевелов.

Абразивным материалом в моделях круг служат зерна различных марок крупных зернистостей, например нормальный электрокорунда марки 13А, зернистость 200. Крупный номер зернистости выбирается с целью облегчения наблюдений за износом отдельных зерен. Соотношение зерен со связкой в моделях кругов берется в соответствии с открытой структурой № 12 и твердостью ЧТ (с целью максимально увеличить расстояния между зернами). Объем, отведенный под поры, также заменяется связкой. Размеры моделей кругов выбираются небольшими (например,  $D \times H \times d$  может соответствовать  $100 \times 2,2 \times 32$  мм). Модели шлифовальных кругов испытываются в

условиях реальной абразивно-отрезной операции на установке, смонтированной на базе станка 3А64Д (рис. 2).

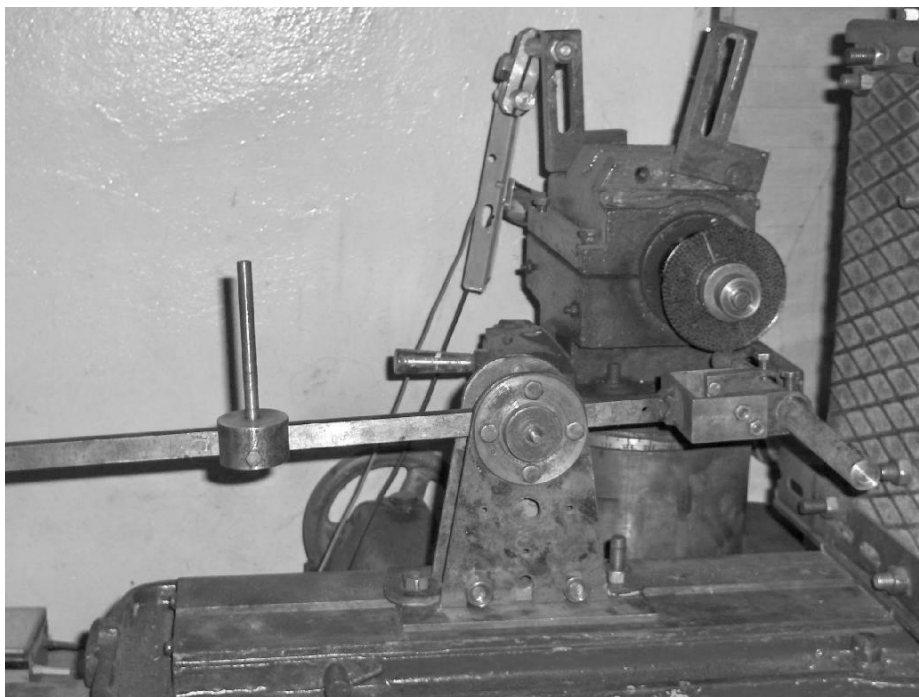


Рис. 2. Установка на базе станка 3А64Д для испытания резанием моделей отрезных шлифовальных кругов

В качестве обрабатываемой заготовки может быть использован, например, прутки из стали 10, диаметром 20 мм, а скорость резания моделей кругов из эпоксидной смолы может составлять  $V = 35$  м/с. В процессе испытаний обеспечивается постоянное усилие прижатия заготовки к кругу за счет рычажно-балансирного механизма и может составлять, например, 3Н. Испытания моделей кругов на указанных режимах проводятся путем осуществления резов, каждый продолжительностью 60 с. Испытуемым кругом осуществляется 25 резов, причем после каждого реза производится анализ износа всех зерен, находящихся на рабочей поверхности круга. Измеряется также длина линии реза на заготовке. Перед началом испытаний и после каждого реза модель круга укладывается торцовой поверхностью на планшетный сканер. Изображения, получаемые сканированием, обрабатываются и анализируются при помощи специально разработанной для этой цели программы для ЭВМ «Износ шлифовальных зерен» (свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008610817, авторы Коротков В. А., Рылов Г. М.).

Методика оценки износа единичных зерен и алгоритм специальной программы состоят в следующем. Исследуемую модель шлифовального круга после каждого реза устанавливают на сканере при

помощи кондукторного устройства, обеспечивающего точную координатную и угловую фиксацию круга на поверхности сканера. Получаемые цветные изображения в первом блоке программы преобразовываются в черно-белые. Причем, при осуществлении каждого цикла преобразования получают два изображения модели круга. Первое изображение получают при оптических настройках, позволяющих зафиксировать связующее круга (эпоксидную смолу). Второе – с оптическими настройками для фиксации только изображений зерен. Во втором блоке программы производится анализ (рис. 3).

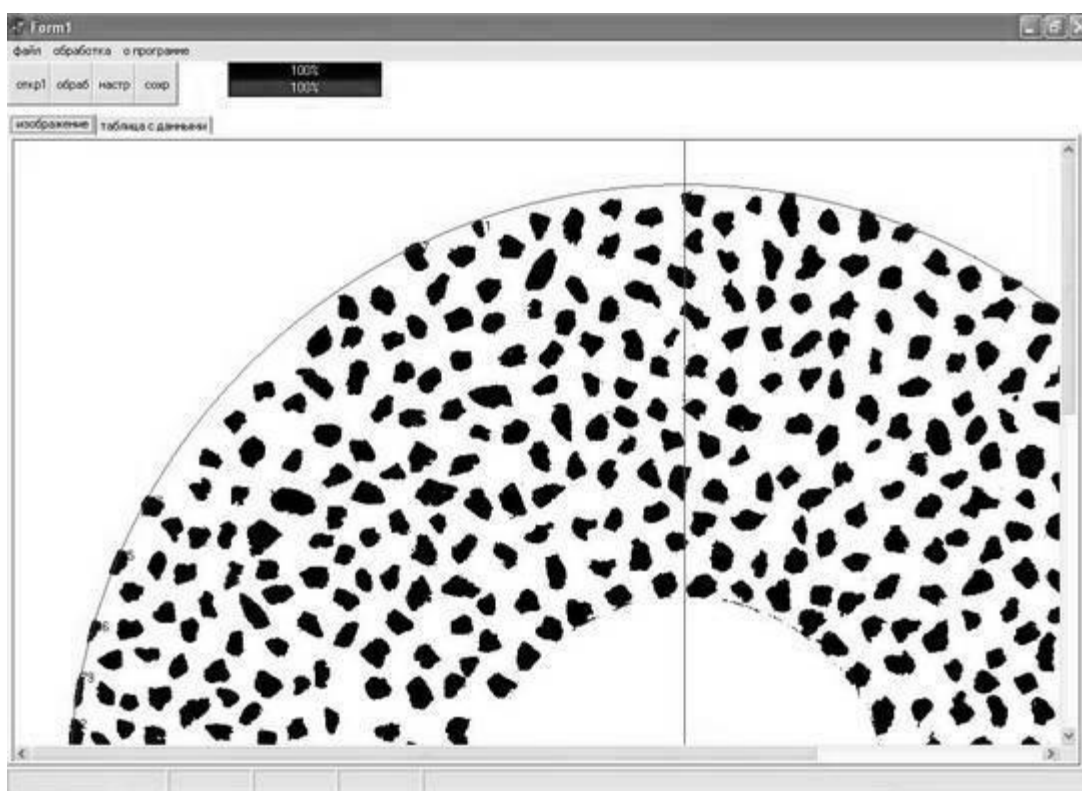


Рис. 3. Интерфейс программы для оценки износа единичных зерен в моделях шлифовальных кругов

Здесь первым исследуется изображение круга, полученное перед началом его испытаний. В результате, каждому зерну присваивается свой номер, запоминается его координатная область и определяется коэффициент формы, равный отношению диаметра описанной окружности к диаметру вписанной в проекцию зерна окружности. При последующем анализе изображений кругов (с зафиксированным связующим) получают конфигурацию контура рабочей поверхности круга. Совмещая данные контуры с изображениями, на которых зафиксированы только зерна, программа устанавливает, какие из них находятся на рабочей поверхности инструмента и определяются раз-

меры площадок их износа. Получаемые данные сохраняются в виде таблиц Excel.

Таким образом, в процессе анализа видеоряда изображений зерен измеряются образующиеся площадки износа и визуально регистрируются разновидности износа – вырыв фрагментов зерен, разрушение их на части или удаление целиком из связки. В итоге удастся проследить за работой каждого единичного зерна, находящегося на поверхности круга, до момента его полного удаления из рабочего слоя. При известной частоте вращения круга и длине линии реза можно также определить стойкость каждого единичного зерна, т. е. время его контакта с металлом. Получаемые экспериментальные данные позволяют установить зависимости стойкости шлифовальных зерен и длины их площадок износа от марки и зернистости абразива, процента связки, коэффициента формы зерен и угла их ориентации.

### **3.2. Оценка эксплуатационных показателей моделей шлифовальных кругов**

Помимо оценки износа единичных зерен в моделях шлифовальных кругов целесообразным также является контроль параметров, которые являются стандартными при проведении испытаний любых шлифовальных инструментов. В их число входят:

Режущая способность ( $Q_m$ ) (производительность шлифования), определяемая как отношение массы снятого материала заготовки ( $M_3$ ) ко времени обработки ( $t$ ):

$$Q_m = M_3 / t; \text{ (г/мин)} \quad (1)$$

Коэффициент шлифования ( $K_{ш}$ ), вычисляемый как отношение массы снятого материала заготовки ( $M_3$ ) к израсходованной массе круга ( $M_k$ ):

$$K_{ш} = M_3 / M_k; \quad (2)$$

Эффективная мощность резания ( $W_{эф}$ ), характеризующая уровень энергозатрат при работе шлифовального круга и выражаемая через разницу мощностей рабочего ( $W_{рх}$ ) и холостого ходов ( $W_{хх}$ ):

$$W_{эф} = W_{рх} - W_{хх}; \text{ (Вт)} \quad (3)$$



Качество отрезки заготовок, оцениваемое по теплонапряженности этого процесса, а также по изменению микротвердости и микроструктуры металла вблизи плоскости отрезки.

Наиболее важными и обязательными для контроля среди перечисленных параметров являются режущая способность и коэффициент шлифования у моделей кругов. Для их оценки, перед началом испытаний, после каждых 5 резов и после завершения испытаний измеряются массы модели круга и обрабатываемой заготовки на весах ВЛКТ-500-г-М с ценой деления 0,01 г. Кроме того, контролируется время резов с помощью механического секундомера с ценой деления 0,2 с.

#### **4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

4.1. Какие методы применяются для оценки износа единичных абразивных зерен?

4.2. Из чего изготавливают модели шлифовальных кругов?

4.3. Каких соотношений зерен, связки и пор придерживаются при изготовлении моделей кругов?

4.4. По каким параметрам оценивают износ зерен в моделях шлифовальных кругов?

4.5. Особенности методики оценки износа зерен в моделях шлифовальных кругов.

4.6. Как оценивают коэффициент шлифования и режущую способность моделей кругов?

4.7. Какое оборудование необходимо для испытания моделей шлифовальных кругов, оценки их эксплуатационных показателей и износа зерен?

## Лабораторное занятие № 5. МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с устройством металлографического микроскопа, методикой исследования микроструктуры металлов и сплавов. Научиться пользоваться металлографическим микроскопом для исследования микроструктуры.

Ознакомиться с основными методами определения механических свойств, твердости металлов и сплавов, в частности приобрести навыки измерения твердости на различных приборах.

### 2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Свойства металлов и сплавов весьма разнообразны и обуславливаются, прежде всего, химическим составом, а затем строением или структурой.

Существуют методы оценки материалов путем определения твердости, микротвердости, механических и технологических свойств, а также проведения химического и спектрального анализов и пр.

#### 2.1. Микроскопические методы исследования металлов и сплавов

*Макроструктура металлов* изучается по виду изломов или шлифованных и протравленных макрошлифов невооруженным глазом или при небольших увеличениях – до  $30\times$ . С помощью макроscopicкого анализа исследуются изломы, выявляются дефекты в литых заготовках, после обработки давлением, в сварных швах, определяют химическую неоднородность (ликвацию), и т. д.

*Микроструктура металлов* изучается с помощью металлографических микроскопов, которые, в отличие от биологических, позволяют рассматривать непрозрачные тела в отраженном свете с увеличением до  $1500\times$ , а также с применением электронного микроскопа с увеличением до  $200\times$  тыс. Наряду с исследованием металлов, они пригодны также для изучения горных пород, пластмасс, древесины. Для этого применяют металлографическое оборудование, в том числе

вертикальные металлографические микроскопы МИМ–6, МИМ–7 и горизонтальный МИМ–8 (для изучения микроструктуры), аналитический структурный анализатор EPIQUANT (для количественного расчета составляющих микроструктуры).

Микроскопический анализ включает приготовление микрошлифа, выявления микроструктуры (травление), исследование микроструктуры под микроскопом. Микроанализ применяется для определения формы и размеров и взаимного расположения фаз, для выявления микропороков металла – микротрещин, раковин, пористости, микровключений, ликвации.

Вертикальные микроскопы МИМ–6, МИМ–7 (рис. 1, а) и горизонтальный МИМ–8 имеют три системы: оптическую, осветительную с фотографической аппаратурой и механическую. Рабочие параметры любого микроскопа определяются его оптической системой. Основные элементы оптической системы – объектив и окуляр. Возможные варианты увеличений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Увеличение микроскопов в зависимости  
от сочетания объектива и окуляра

МИМ–6				МИМ–7				
Объективы	Окуляры для визуального наблюдения			Объективы	Окуляры для визуального наблюдения			
	7 <sup>×</sup>	10 <sup>×</sup>	15 <sup>×</sup>		7 <sup>×</sup>	10 <sup>×</sup>	15 <sup>×</sup>	20 <sup>×</sup>
9×0,20	63	90	135	F = 23,3; A = 0,17	60	90	130	170
21×0,40	147	210	315	F = 13,9; A = 0,30	100	140	200	300
40×0,65	280	400	600	F = 8,3; A = 0,37	170	240	360	500
				F = 6,2; A = 0,65	250	320	500	650

Более современным прибором для структурно-аналитических исследований гетерогенных веществ, которые имеют различный коэффициент отражения, является оптический аналитический структурный анализатор EPIQUANT (см. рис. 1, б). Прибор работает по принципу линейного анализа и обеспечивает увеличение до  $2000\times$ . Количественный расчет составляющих микроструктуры на этом приборе осуществляется аналитическими автоматами, в основу работы которых положен линейный метод количественной металлографии. Принцип проведения исследований заключается в наложении и измерении на поверхность образца световой линии произвольной ориентации. Получаемые от различных составляющих структуры световые потоки вдоль охваченной линии измерения дают аналоговые сигналы разной высоты. Высота сигнала является мерой интенсивности света, а продолжительность сигнала – мерой длины пересечения измеряемого объекта. Полученные результаты измерения пересчитываются в данные, с помощью которых можно охарактеризовать количество, размер, вес, распределение и частично также расположение составляющих структуры.

На оптических микроскопах наноструктурированные объекты неразличимы, так как на них можно достоверно исследовать микроструктуру с размером до 1 мкм.

Атомно-кристаллическую структуру исследуют с помощью рентгенографического анализа, позволяющего различать расстояния порядка 0,1 нм.

**Наноструктуры материалов** исследуются методом электронной микроскопии, что дает возможность определять как химический состав материала, так и размеры наночастиц с точностью до 0,1–0,2 А. Это объясняется тем, что достаточно большой длинной световой волны, которая отражается от обширной площади, включающее большое количество наночастиц.

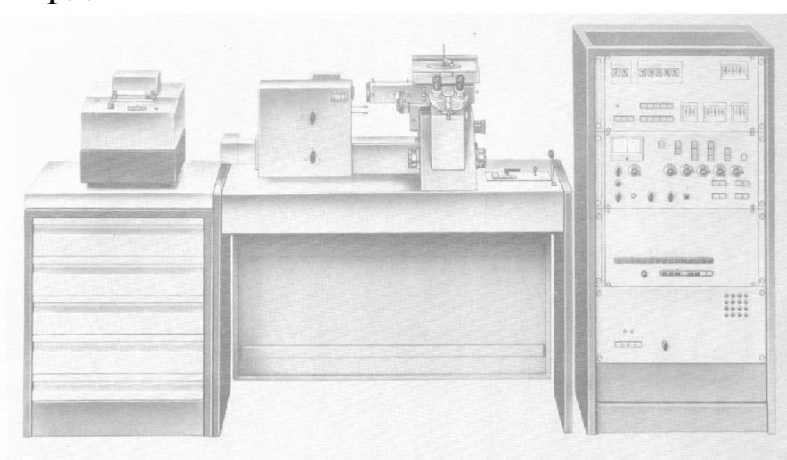
В настоящее время появилось более современное оборудование, снабженное цифровой аппаратурой и микропроцессорной техникой. Использование современного оборудования повышает качество и скорость исследований, открываются возможности для новых открытий. Приборами нового поколения являются: оптический микроскоп Carl Zeiss AxioObserver A1m, EDS X-Act (Oxford Instruments), просвечивающий электронный микроскоп Technai G2 FEI, оптико-эмиссионный спектрометр ARL Quantris, рентгеновский дифракто-

метр ARL X'TRA, растровый электронный микроскоп Carl Zeiss EVO50 (рис. 1, в).

Растровый электронный микроскоп (ускоряющее напряжение 0,2–30 кВ; максимальное разрешение: 3 нм; детекторы вторичных и обратнорассеянных электронов; работа в низком вакууме; максимальный размер образца 200×200×100 мм) является универсальным прибором, позволяющим исследовать и анализировать микроструктурные характеристики твердых тел.



*a*



*б*



*в*

Рис. 1. Внешний вид оборудования: *a* – микроскоп МИМ–7;  
*б* – аналитический структурный анализатор EPIQUANT;  
*в* – растровый электронный микроскоп Carl Zeiss EVO50

Другой важной его чертой является объемность получаемых изображений, обусловленная большой глубиной фокуса прибора (рис. 2). Также он позволяет исследовать объекты при очень малых увеличениях, что особенно важно при исследовании физических свойств твердых тел и в ряде других областей, например, криминалистике. Прибор также оснащен устройствами для рентгеновского анализа. Таким образом, быстро и эффективно можно получить информацию о топографии, кристаллографии и составе исследуемого образца.

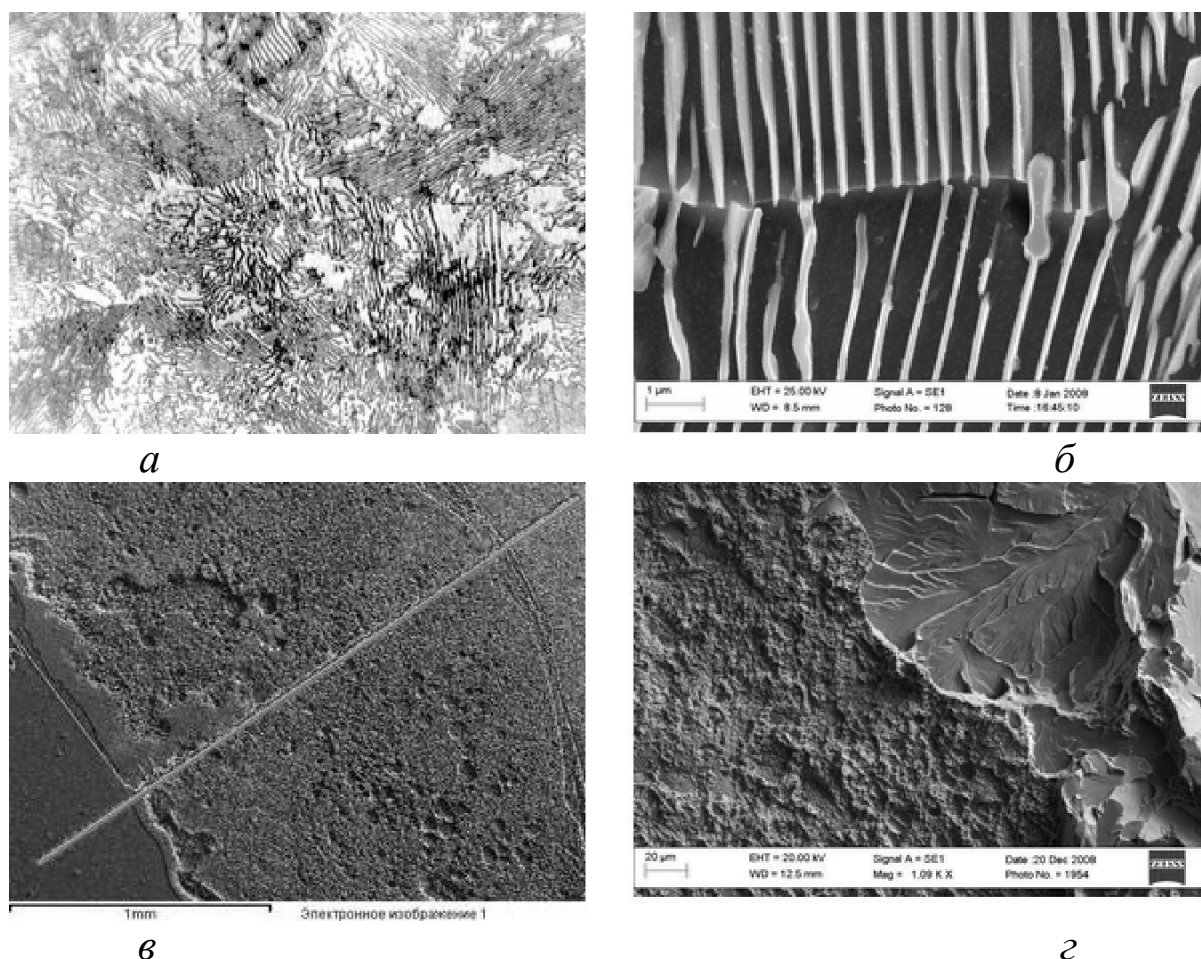


Рис. 2. Получаемые изображения: *а* – микроструктура перлита на оптическом микроскопе; *б* – зерно перлита на растровом микроскопе; *в* – структура сварного шва с наложением распределения химических элементов по результатам химического анализа; *г* – вязкий усталостный излом переходящий в хрупкий излом – зона доламыывания

Видеоконтрольное устройство воспроизводит телевизионное изображение поверхности исследуемого объекта на экране электроннолучевой трубки (кинескопа). Приспособление для фотографирова-

ния (фотоприставка) предназначено для визуального наблюдения и фотографирования изображения с экрана (см. рис. 2).

Переход к технологиям современного уровня позволяет исследовать, в том числе, принципиально новые материалы, функциональные параметры которых определяются свойствами микрообластей, формирующихся целенаправленным образом в монослоях и нанобъемах.

## 2.2. Испытания материалов на механические свойства

Под **механическими свойствами** понимают характеристики, определяющие поведение металла (сплава) под действием внешних сил. К механическим свойствам относят сопротивление металла деформации (прочность, твердость) и сопротивление разрушению (пластичность, вязкость). В результате механических испытаний получают количественные значения механических свойств, т. е. значения напряжений или деформаций, при которых происходят изменения механического состояния материала.

В зависимости от характера напряженного состояния, создаваемого в испытуемом материале, и условий его нагружения различают несколько видов механических испытаний:

1. **Статические** кратковременные однократным нагружением на одноосное растяжение – сжатие ( $\sigma_{сж}$ ), твердость (НВ), изгиб ( $\sigma_{изг}$ ) и кручение.

2. **Динамические** – когда нагрузка прилагается с ударом и с большой скоростью – ударное растяжение, ударный изгиб с определением ударной вязкости (КС) и ее составляющих – удельной работы зарождения и развития трещины.

3. **Испытания долговечности**: усталостные испытания на ползучесть и длительную прочность, износ ( $\sigma_R$ ,  $\sigma_{-1}$ ).

4. **Испытания на сопротивление развитию трещины** с определением параметров вязкости разрушения.

5. **Испытания материалов в условиях сложнонапряженного состояния**, а также *натурные* испытания деталей, узлов и готовых конструкций.

**Твердость** имеет большое практическое значение, так как характеризует многие рабочие свойства металлов и сплавов, например, износостойкость, режущие свойства и др., это структурно-чувствительная характеристика. Поэтому сложные и требующие вре-

мени испытания на растяжение, ударную вязкость и т. д. часто заменяют испытаниями на твердость, которые выполняются значительно быстрее и не требуют изготовления специальных образцов. Методика испытаний весьма проста и может осуществляться непосредственно на готовой детали без ее разрушения. Поэтому этот метод применяется при выполнении лабораторных работ для оценки качества материалов и их термообработки.

Твердость определяют при помощи воздействия на поверхность металла наконечника (индентора), изготовленного из закаленной стали, алмаза или твердого сплава и имеющего форму шарика, конуса или четырехгранной пирамиды. Выбор формы индентора и величины нагрузки зависит от целей испытания, ожидаемых свойств, состояния поверхности и размеров испытуемого образца.

В зависимости от формы индентора и измеряемой величины (отношение нагрузки к площади полученного отпечатка) различают три основных метода определения твердости материала: определение твердости по Бринеллю, Роквеллу и Виккерсу.

О величине твердости судят по глубине проникновения индентора (твердость по Роквеллу HRC, HRA, HRB), либо по величине отпечатка от вдавливания индентора при соответствующей нагрузке (твердость по Бринеллю HB, Виккерсу HV). Во всех перечисленных случаях при вдавливании индентора происходит пластическая деформация материала под индентором.

Для примера модернизированный полуавтоматический цифровой твердомер Роквелла (рис. 3) оснащен ж/к дисплеем, измеряет твердость по стандартным шкалам HRA, HRB, HRC, переводит значение твердости в шкалы Виккерса и Бринелля, также оснащен мини-принтером и портом для подключения к компьютеру, нагрузка выбирается с помощью ручного переключателя.

При исследовании микроструктуры используют приборы для измерения микротвердости ПМТ-2 и ПМТ-3. Это позволяет определить микротвердость различных структурных составляющих, распределение твердости в небольших объемах. Испытание на микротвердость не имеет ограничения со стороны величины твердости испытуемого объекта: самый мягкий может иметь число твердости менее  $1 \text{ кг/мм}^2$ , самый твердый (алмаз) – число твердости свыше  $10\,000 \text{ кг/мм}^2$ .



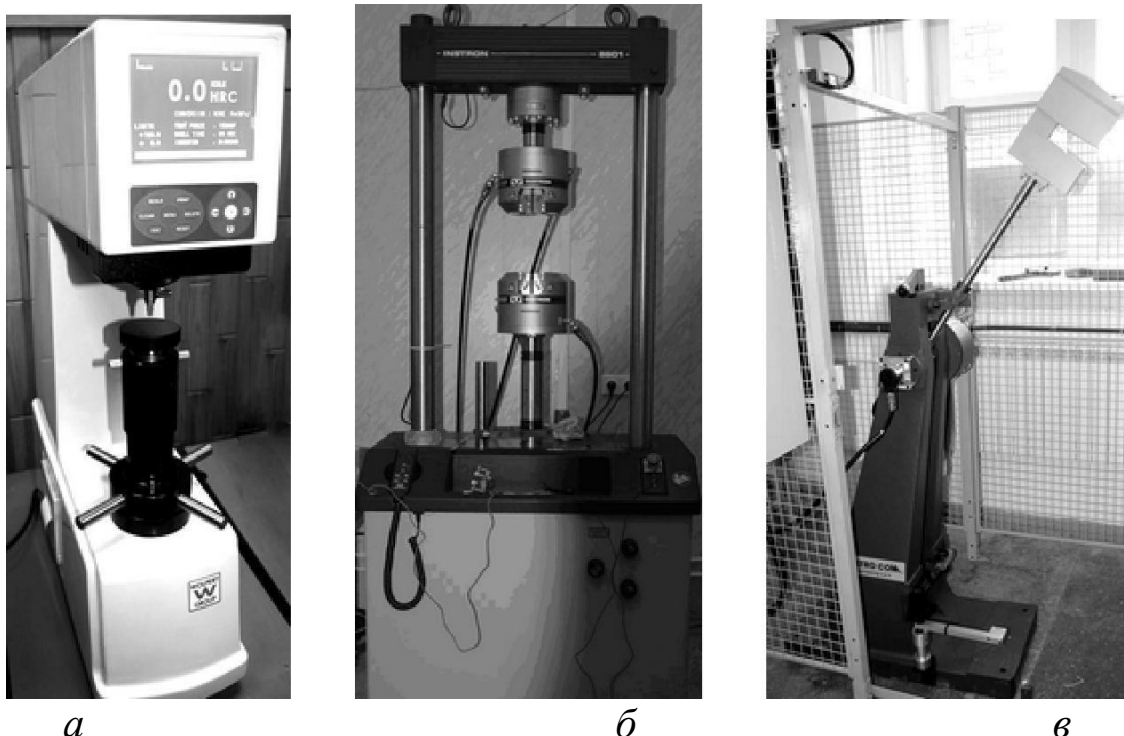


Рис. 3. Внешний вид оборудования:  
*а* – твердомер для проведения испытаний по Роквеллу 600MRD;  
*б* – система универсальная, тип Instron 8801;  
*в* – копер маятниковый, тип Metrocom

Приборы ПМТ–2 и ПМТ–3 (рис. 4, *а*) предназначены для испытания материалов на твердость вдавливанием под нагрузкой от 2 до 200 г.; в качестве вдавливаемого инструмента в них применена алмазная пирамида с квадратным основанием и углом при вершине между противоположащими гранями  $136^\circ$ . Прибор снабжен микроскопом, который предназначен для увеличения отпечатка и определения величины диагонали отпечатка в виде темного ромба на светлом фоне. Схема измерения диагонали представлена на рис. 4, *б*.

Испытания механических свойств наноматериалов на обычных приборах невозможны. Для решения такого рода задач в настоящее время используют приборы нового поколения: микротвердомер для проведения испытаний по Виккерсу 402MVD, твердомер для проведения испытаний по Роквеллу 600MRD (рис. 3, *а*), стандартную машину трения, копер маятниковый, тип Metrocom (рис. 3, *в*), систему универсальную электромеханическую типа Instron 3369, систему универсальную сервогидравлическую типа Instron 300DX, систему универсальную типа Instron 8801 (рис. 3, *б*), твердомер по Шору и другое.

Переход к технологиям современного уровня требует принципиально новых материалов, функциональные параметры которых определяются свойствами микрообластей, формирующихся целенаправленным образом в монослоях и нанобъемах. Испытания механических свойств таких материалов на обычных приборах невозможны. Для решения такого рода задач в настоящее время используют приборы нового поколения CSM Instruments (рис. 4, в). Эти приборы уникальны тем, что с их помощью можно определить микротвердость, модуль упругости, вязкость разрушения, в том числе в нанобъеме.

Прибор представляет из себя платформу и включает различные тестирующие модули и модули визуализации. В зависимости от потребностей, можно сконфигурировать инструмент из модулей ультрананоиндентирования, наноиндентирования, микроиндентирования, наноскретч модуль, микроскретч модуль. Платформа снабжена оптическим видеомикроскопом, автоматизированным предметным столиком, антивибрационным столом, персональным компьютером с двумя ЖК мониторами, а также держателем для крепления образцов.

На приборе CSM Instruments твердость материалов определяют методом индентирования, а модуль упругости и жесткости, как функцию глубины проникновения индентора. При этом поиск отпечатка индентора под видеомикроскопом автоматизирован. Мультифокусный режим позволяет видеокамере сделать снимок с большой глубиной резкости поля. В течение съемки система перемещает столик по оси  $Z$  для того чтобы снять и скомбинировать снимки с различным фокусом и объединить их в один резкий снимок по всей глубине образца (рис. 4, г).

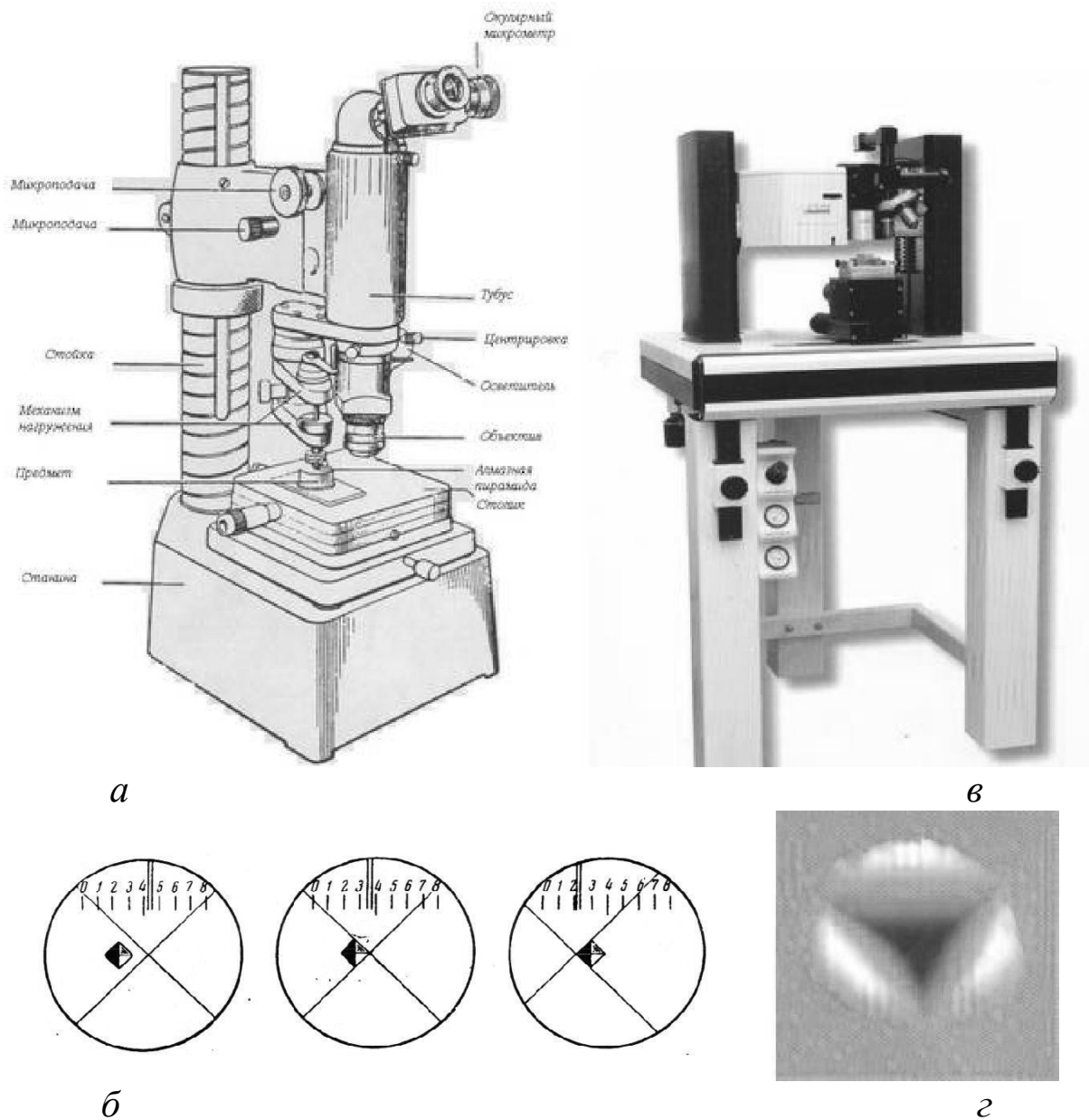


Рис. 4. Прибор ПМТ–7: *а* – схема прибора;  
*б* – порядок измерения отпечатка;  
 прибор CSM Instruments: *в* – внешний вид платформы;  
*г* – снимок отпечатка

### 3. ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТАЖ, МАТЕРИАЛЫ

Для выполнения лабораторной работы необходимо:

- рабочее место – двухместный стол, оснащенный розеткой, понижающим трансформатором и микроскопом одного из рассмотренных в п. 2 типов;
- сменные объектив и окуляр;
- образец – микрошлиф для практической работы.

## **4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

4.1. Студентом изучается по методическим указаниям и в натуре устройство металлографического микроскопа, которым оснащено рабочее место.

4.2. Под руководством преподавателя осваиваются приемы настройки микроскопа на заданное увеличение и работу с образцом.

4.3. Изучается и зарисовывается микроструктура предложенного преподавателем образца.

## **5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ**

При выполнении работы необходимо соблюдать правила безопасности в лаборатории материаловедения.

## **6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА**

Отчет должен содержать описание и оптическую схему металлографического микроскопа, с которым работал студент, краткие характеристики микроскопа и рисунок микроструктуры.

## **7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

7.1. Каковы основные методы исследования строения металлов и сплавов?

7.2. Дайте определение макроанализа; микроанализа.

7.3. Принцип проведения исследований на аналитическом структурном анализаторе EPIQUANT.

7.4. Назовите возможности растрового электронного микроскопа Carl Zeiss EVO50.

7.5. Назовите приборы для определения твердости.

7.6. Опишите принцип действия приборов для испытания на твердость.

7.7. Чем объясняется широкое применение способа измерения твердости?

## **Лабораторное занятие № 6.**

### **НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ МЕТЧИКАМИ И ПЛАШКАМИ**

#### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

- 1.1. Ознакомиться с классификацией и элементами резьбы.
- 1.2. Ознакомиться с методами получения резьбы.
- 1.3. Научиться нарезать резьбу метчиками и плашками.

#### **2. ПОРЯДОК РАБОТЫ**

- 2.1. Изучить классификацию резьб.
- 2.2. Изучить элементы резьбы.
- 2.3. Изучить классификацию и конструкцию метчиков и плашек.
- 2.4. Произвести подготовку деталей для нарезания внутренней и наружной резьбы.
- 2.5. Научиться нарезать метрическую резьбу плашками и метчиками на деталях, закрепленных в слесарных тисках.

#### **3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

##### **3.1. Нарезание резьбы метчиками и плашками**

Резьбовые разъемные соединения находят широкое применение в машиностроении. Основными деталями резьбового соединения являются винт и гайка.

Чаще всего применяют метрическую треугольную резьбу (рис. 1, *а*), которую обычно называют крепежной и используют для крепежных деталей: болтов, винтов, шпилек, гаек. Помимо треугольной резьбы бывают резьбы с прямоугольным (рис. 1, *б*), трапецидальным (рис. 1, *в*), круглым (рис. 1, *д*) профилями и профилем в виде неравнобокой трапеции – упорной резьбы (рис. 1, *г*). Резьбы бывают правые и левые. У правых резьб винтовая линия поднимается слева направо (по ходу часовой стрелки).

Винтовой выступ резьбы, получившийся после одного полного оборота обращаемой ее фигуры, называется винтом.

Профилем резьбы называется сечение ее винта плоскостью, проходящей через ось цилиндра, на котором образована резьба. Эле-

ментами профиля резьбы являются его боковые стороны, угол, вершина, впадина.

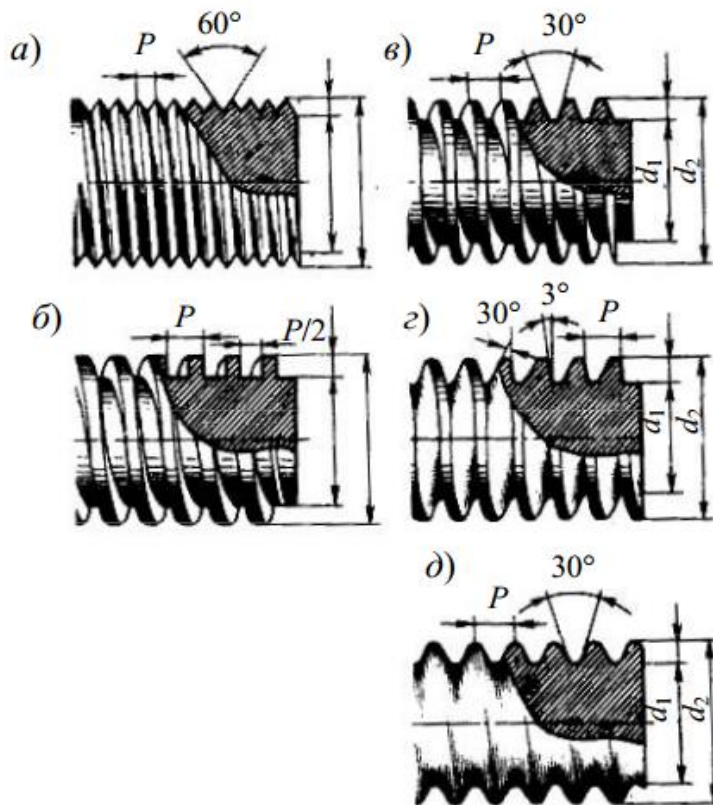


Рис. 1. Профили и элементы резьбы

Углом профиля называется угол между боковыми сторонами витка, измеренный в диаметральной плоскости.

Вершиной профиля называется линия, соединяющая боковые стороны его по верху витка.

Впадиной профиля называется линия, образующая дно винтовой канавки.

Очертания вершины и впадины могут быть плоскосрезанными или закругленными.

**Шаг резьбы** – это расстояние между двумя одноименными (т. е. правыми или левыми) точками двух соседних витков, измеренное параллельно оси резьбы.

Различают три диаметра резьбы: наружный, внутренний и средний.

Нарезание резьбы можно производить на станках и вручную.

Для нарезания внутренней резьбы в отверстиях применяют метчики, а для нарезания наружной резьбы – плашки различной конструкции.

Метчики по названиям делятся на: ручные, машинно-ручные, машинные и гаечные. Метчик имеет рабочую часть и хвостовик, заканчивающийся квадратом для воротка (рис. 2, а). Перо метчика имеет форму клина с соответствующими углами: передним  $\gamma$ , полученным путем заточки передней поверхности канавки (рис. 2, б), и задним  $\alpha$ , полученным путем заточки (затылования) по наружному диаметру режущей части (рис. 2, в). Ручные (слесарные) метчики для метрической и дюймовой резьбы изготавливают комплектами из двух и трех метчиков (рис. 3). Полученный профиль резьбы имеет только чистовой метчик. Каждый метчик в комплекте имеет на хвостовике соответственно одну, две, три риски (кольца). В таком же порядке их используют для нарезания резьбы.

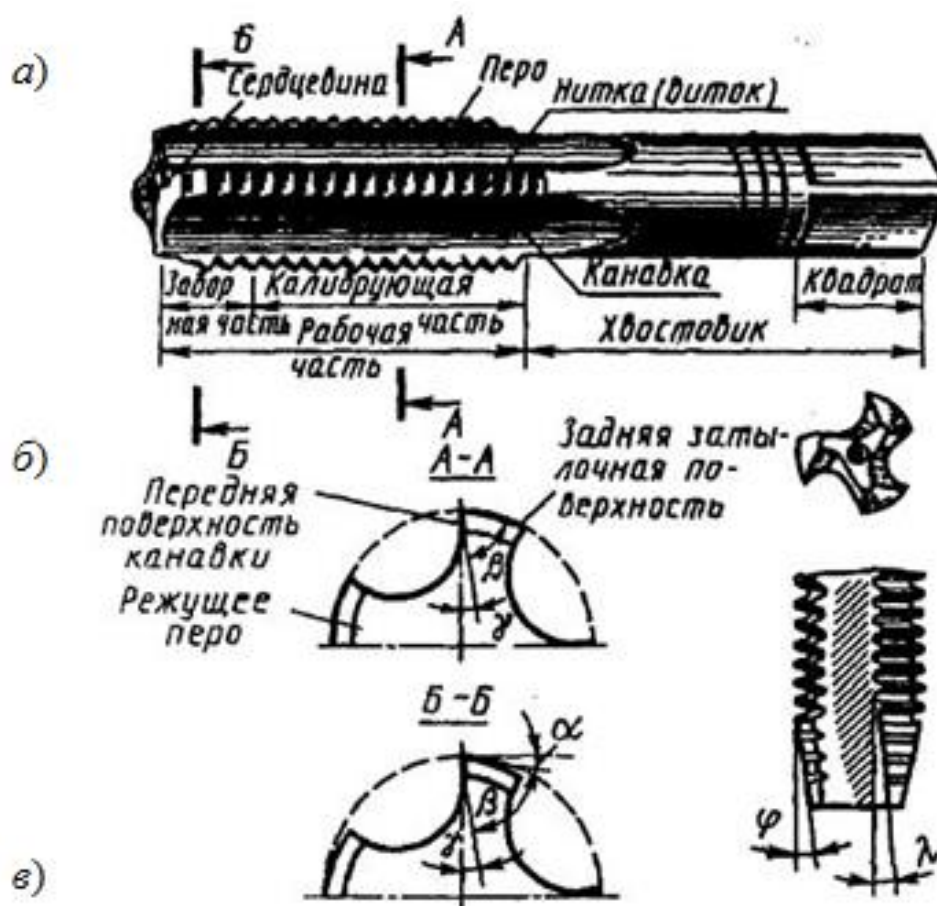


Рис. 2. Части и элементы метчика

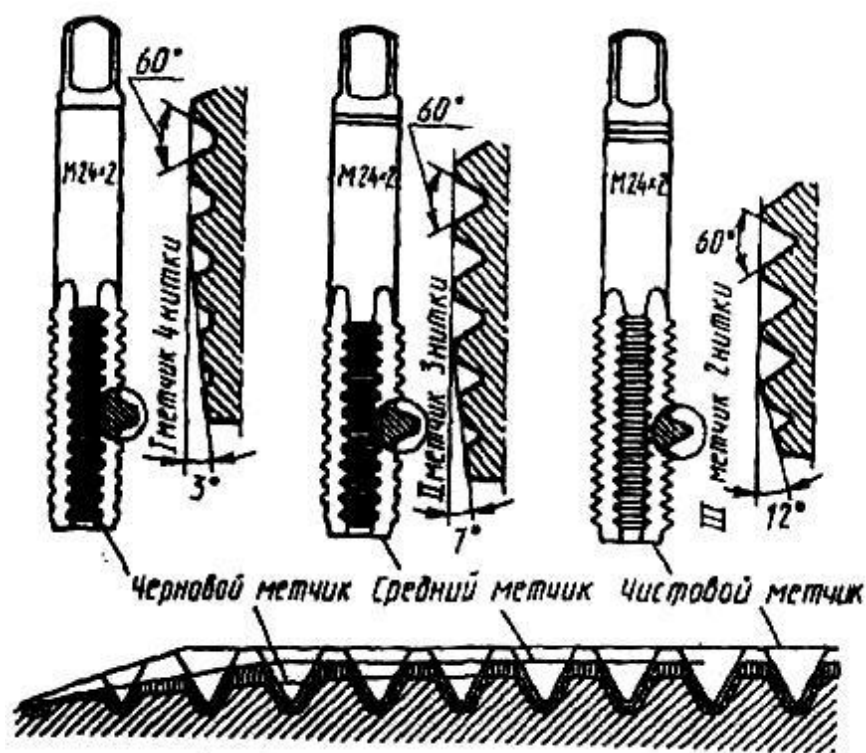


Рис. 3. Комплект ручных метчиков

При нарезании внутренних резьб большое значение имеет правильный выбор диаметра отверстия под резьбу. Если диаметр отверстия выполнен больше требуемого, то резьба не имеет полного профиля. При меньшем диаметре отверстия вход метчика в него затруднен, что ведет либо к срыву резьбы, либо к заклиниванию и поломке метчика. Диаметр сверла для отверстия под нарезание резьб выбирают по специальным таблицам справочника.

Наружную резьбу нарезают плашками вручную и на станках. В зависимости от конструкции плашки подразделяют на круглые (лерки) и раздвижные (призматические). Круглые плашки изготавливают цельными (рис. 4, а) и разрезными (рис. 4, б), которые имеют прорезь, позволяющую регулировать диаметр резьбы в пределах 0,1...0,15 мм. Плашку крепят в специальном воротке (плашкодержателе) с одним или двумя крепежными и тремя установочными винтами. Крайние винты служат для уменьшения (сжатия), средний – для увеличения (разжима) размера плашки. Нарезание резьбы производят за один ход. Раздвижные (призматические) плашки (рис. 5) состоят из двух половинок – полуплашек 1 и 2. На боковых сторонах полуплашек имеются угловые пазы, которыми они устанавливаются и направляющие выступы клуппа (воротка) и поджимаются винтом. Этим же винтом можно изменять расстояние между полуплашками и



обеспечивать диаметр резьбы в нужных пределах. Нарезание резьбы можно производить в несколько проходов, что значительно облегчает процесс резания. При выборе диаметра стержня под наружную резьбу нужно учитывать: если диаметр выполнен больше требуемого, то увеличивается давление на зубья плашки, что приводит либо к срыву резьбы, либо к поломке зубьев плашки.

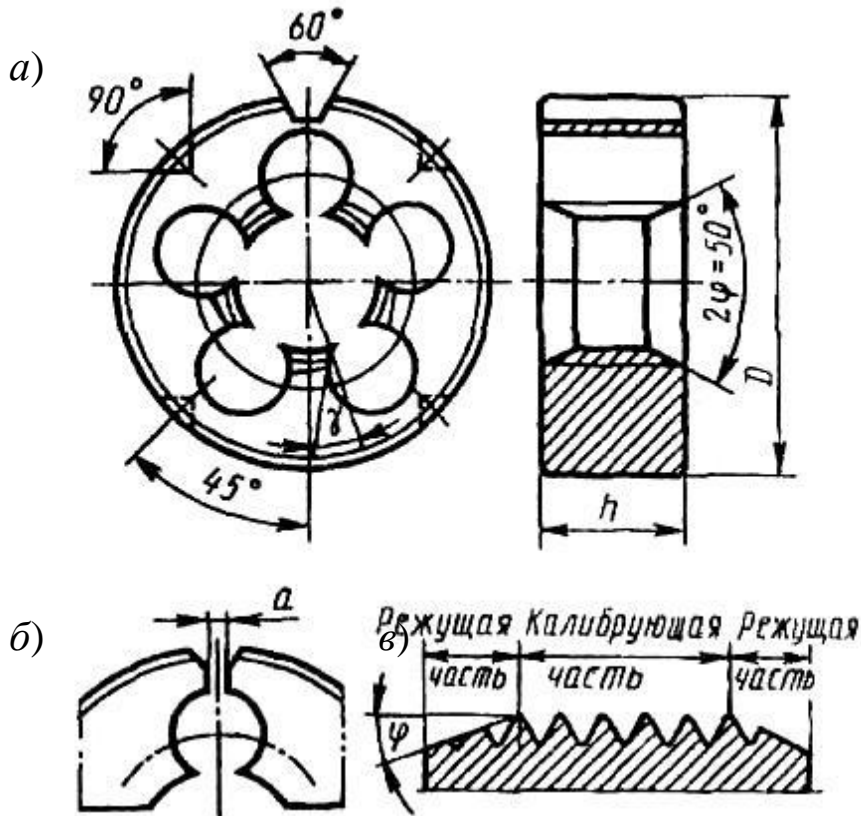


Рис. 4. Части и элементы круглой плашки:

*a* – круглая до разрезания; *б* – разрезанная круглая плашка;  
*в* – профиль резьбы рабочей части

При значительно меньшем диаметре стержня резьба не имеет полного профиля. Для получения качественной резьбы диаметр стержня выбирают по таблицам справочника или принимают на 0,1 мм меньше наружного диаметра резьбы.

Нарезание резьбы на станках может осуществляться резьбовыми резцами. На специальных станках производят накатывание резьбы плоскими плашками, роликами без снятия стружки.

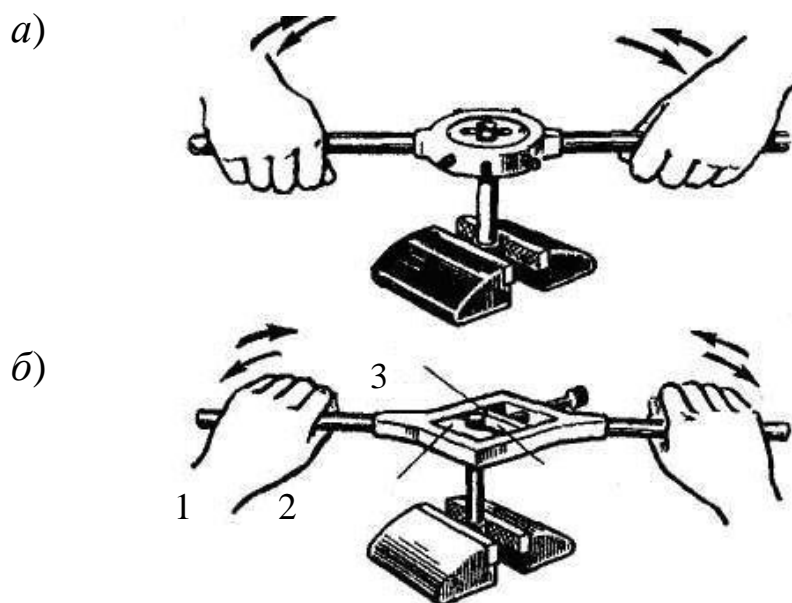


Рис. 5. Приемы нарезания резьбы плашками

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть отражены разновидности резьб, элементы профиля и шаг резьбы, классификация и конструкция метчиков и плашек.

#### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Какие различают резьбы по профилю?
- 5.2. Дать определение угла профиля.
- 5.3. Что называется шагом резьбы?
- 5.4. Порядок подготовки детали и нарезание резьбы метчиком.
- 5.5. Порядок подготовки детали и нарезание резьбы плашкой.

#### 6. ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА. НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ МЕТЧИКАМИ И ПЛАШКАМИ

Оснащение рабочего места: верстак, тиски слесарные, метчики ручные, плашки круглые, вороток, плашкодержатель.

## 6.1. Подготовка отверстия для нарезания резьбы метчиком

Отверстия под резьбу сверлятся, к точности которых высоких требований не предъявляют. Правильный выбор диаметра отверстия под резьбу в этом случае имеет особое значение, выбирается согласно таблицам справочника.

После подготовки отверстия приступают к нарезанию резьбы, для чего необходимо выбрать метчики в соответствии с требуемой резьбой по чертежу детали, закрепить заготовку в тисках, смазать рабочую часть чернового метчика маслом и вставить его заборной частью в отверстие строго по его оси (без перекоса), надеть на метчик вороток и, слегка нажимая левой рукой на метчик вниз (к заготовке), правой рукой вращать вороток по ходу часовой стрелки до врезания метчика в металл на несколько витков, пока его положение в отверстии не станет устойчивым; взяв вороток двумя руками, плавно вращать его по ходу часовой стрелки. После одного-двух оборотов необходимо сделать пол-оборота назад для дробления стружки и продолжать нарезание резьбы до полного входа рабочей части метчика в отверстие, вывернуть метчик обратным вращением из отверстия. Прорезать резьбу средним, а затем чистовым метчиком. Приемы нарезания резьбы в сквозных и глухих отверстиях указаны на рис. 6, а и б.

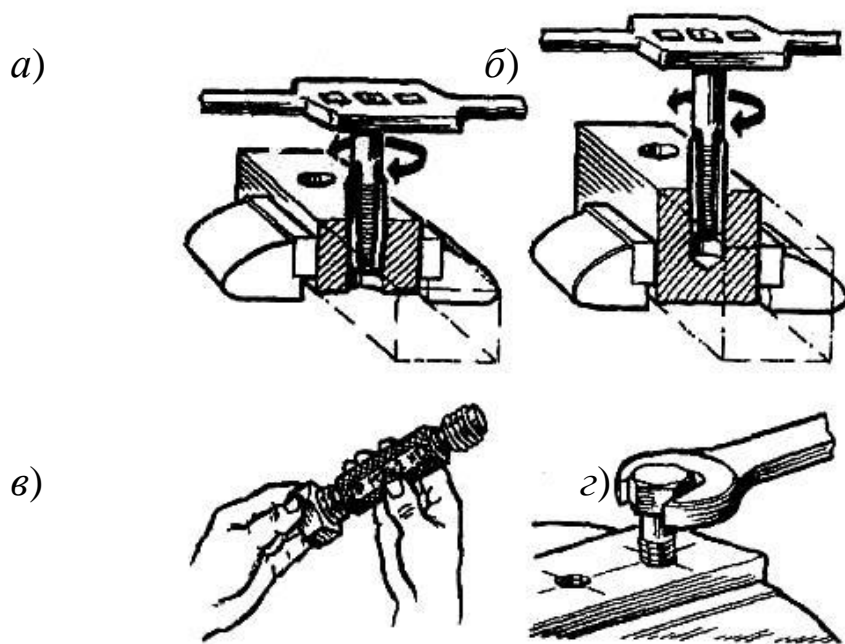


Рис. 6. Приемы нарезания и контроля внутренней резьбы

Качество резьбовой поверхности определяют внешним осмотром для обнаружения задиров, сорванных ниток. Точность резьбы проверяют резьбовыми калибрами-пробками (проходная пробка должна ввинчиваться, непроходная – не ввинчиваться). Резьбу в глухом отверстии проверяют ввертыванием контрольного болта (рис. 6, в, г).

Подготовка деталей для нарезания резьбы плашкой. Подготавливая деталь для нарезания на ней резьбы плашкой, необходимо чисто обточить нарезаемый участок. Диаметр участка должен быть несколько меньше наружного диаметра резьбы (см. справочник). Конец нарезаемой детали на небольшой (2–3 мм) длине следует обработать на конус.

Подготовить инструмент к работе, для чего слегка отвернуть все винты на воротке (плашкодержателе), вставить плашку в гнездо воротка так, чтобы маркировка на плашке была наружу, а углубления располагались против стопорных винтов. Закрепить плашку стопорными винтами.

Закрепить стержень в тисках вертикально так, чтобы его конец выступал над губками тисков на 15...20 мм больше длины нарезаемой части, смазать конец стержня машинным маслом, наложить плашку на конец стержня так, чтобы маркировка была снизу, и, нажимая на корпус воротка ладонью правой руки, левой рукой вращать его за рукоятку по ходу часовой стрелки до полного врезания плашки, взяв вороток двумя руками, плавно вращать его по ходу часовой стрелки. После одного-двух оборотов необходимо сделать пол-оборота обратно, продолжать нарезание резьбы, обильно смазывая стержень маслом, снять плашку со стержня обратным вращением.

Качество резьбы проверяют внешним осмотром, а точность – калибрами-кольцами или контрольной гайкой (гайка должна навинчиваться легко, но без качения). На рис. 5 показаны приемы нарезания наружной резьбы круглыми (рис. 5, а) и раздвижными (рис. 5, б) плашками.

## **Лабораторное занятие № 7. ОБРАБОТКА ОТВЕРСТИЙ**

### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

1.1. Научиться закреплять сверло на токарно-винторезном станке, назначать режимы резания при сверлении, производить сверление отверстий.

1.2. Научиться закреплять сверла и заготовки на вертикально-сверлильном станке, освоить выполнение сверления на сверлильном станке.

1.3. Ознакомиться с различными видами обработки отверстий (расточиванием, зенкерованием, зенкованием, развертыванием), классификацией инструментов, приобрести практические навыки по растачиванию и развертыванию отверстий.

### **2. ПОРЯДОК РАБОТЫ**

2.1. Ознакомиться с процессом сверления.

2.2. Изучить конструкцию спирального сверла.

2.3. Ознакомиться с процессом растачивания.

2.4. Изучить типы расточных резцов и их основные геометрические параметры.

2.5. Ознакомиться с зенкерованием и зенкованием отверстий.

2.6. Ознакомиться с развертыванием отверстий.

2.7. Изучить типы разверток, их части и элементы.

2.8. Изучить приемы сверления и растачивания сквозных и глухих отверстий на токарно-винторезном станке.

2.9. Изучить приемы сверления на сверлильном станке.

2.10. Выполнить практическую часть работы по сверлению, растачиванию и развертыванию отверстий согласно инструкционной карте.

2.11. Оформить отчет.

### 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

#### 3.1. Сверление отверстий

Отверстия могут быть глухие и сквозные, конические и цилиндрические. По форме цилиндрические отверстия бывают гладкие, ступенчатые, с канавкой, с фаской, с нарезанной резьбой.

Приблизительно 30 % операций механической обработки – сверление. **Сверление** – это процесс образования отверстий в сплошном материале режущим инструментом.

Обработку отверстий на токарных станках выполняют различными режущими инструментами, выбор которых зависит от вида заготовок (в сплошном металле или с отверстием, предварительно полученным литьем, ковкой, штамповкой), формы отверстия (цилиндрической, конической, ступенчатой, сквозной и т. д.), точности и шероховатости поверхности отверстия.

Наиболее распространенным инструментом для сверления отверстий является спиральное сверло.

Когда длина отверстия превышает 5...10 его диаметров, при так называемом глубоком сверлении, применяют специальные сверла (ружейные, пушечные, шнековые, кольцевые, центровочные и др.).

Спиральное сверло состоит из рабочей части, шейки и хвостовика. Часть сверла, на которой расположены две режущие кромки, называется режущей частью (рис. 1, а). При заточке сверла контролируют угол при вершине  $2\phi$ , который для обычных спиральных сверл составляет  $118\text{--}120^\circ$ .

Режущие кромки связаны на рабочем конусе поперечной кромкой. По наружной поверхности сверла прошлифованы узкие направляющие ленточки. Спиральные канавки служат для вывода стружки и подачи охлаждающей жидкости в зону резания. Стенка винтовой канавки образует переднюю поверхность.

Для того чтобы сверло не заклинивало в отверстии, оно имеет вид обратного конуса, угол уклона которого составляет около  $1^\circ$ .

Хвостовик служит для закрепления сверла. Хвостовик может иметь цилиндрическую и коническую форму. Конические хвостовики выполнены по стандарту. Конус хвостовика обеспечивает надежное центрирование сверла, лапка удерживает его от проворачивания.

Если конус хвостовика отличается по размеру от конусного отверстия пиноли задней бабки, то при закреплении инструмента применяют переходные втулки.

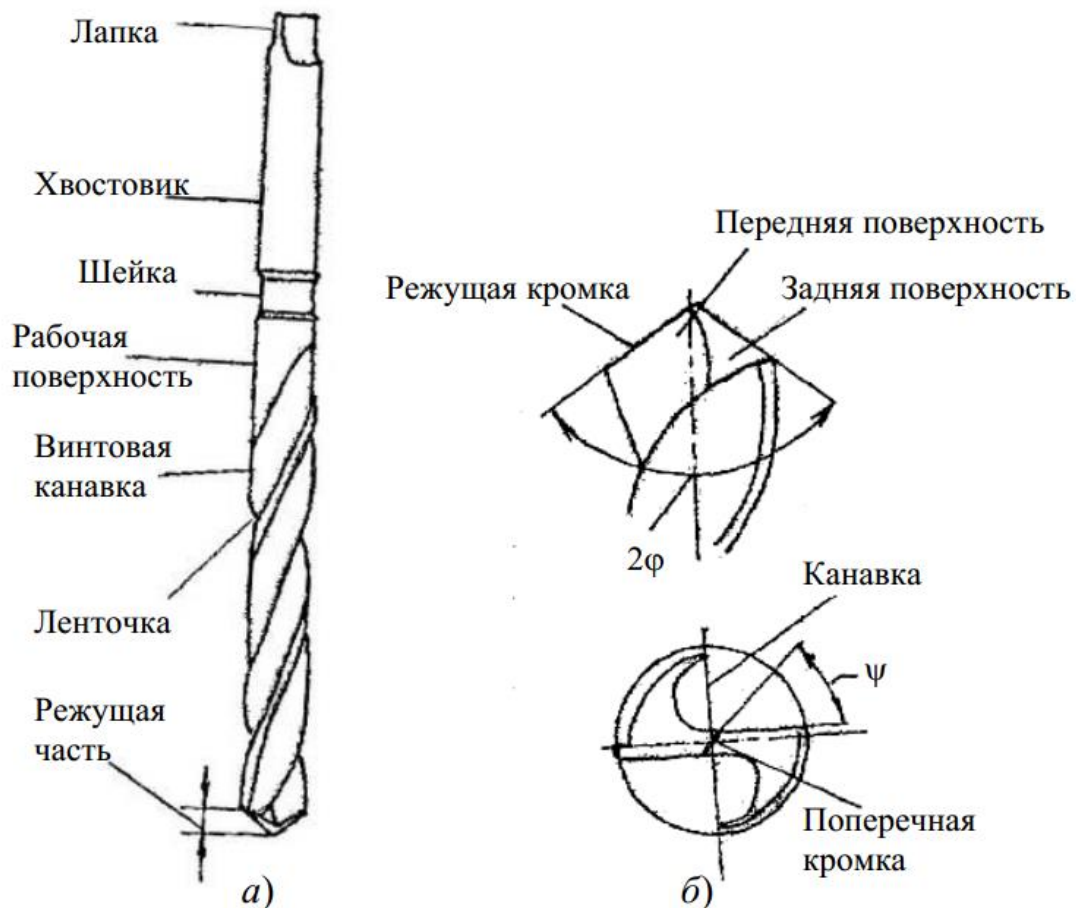


Рис. 1. Части и элементы спирального сверла

Сверла с цилиндрическими хвостовиками закрепляют в пиноли задней бабки при помощи специальных сверлильных патронов.

Если конус хвостовика отличается по размеру от конусного отверстия пиноли задней бабки, то при закреплении инструмента применяют переходные втулки.

Сверла с цилиндрическими хвостовиками закрепляют в пиноли задней бабки при помощи специальных сверлильных патронов.

Главным движением при сверлении отверстий на токарном станке является вращение заготовки. Скорость резания  $V$  зависит от диаметра сверла и частоты вращения заготовки. Скорость подачи  $S$  — путь сверла за один оборот заготовки, мм/об. Скорость подачи при рассверливании должна быть больше в 1,5–2 раза скорости подачи сверла того же диаметра при сверлении отверстия в сплошном материале.

Глубиной резания  $t$  при сверлении является половина диаметра сверла, а при рассверливании – полуразность диаметров после и до обработки.

Глубину отверстия контролируют в процессе сверления по делениям на пиноли или по меловой риске на сверле. Более точно, после остановки станка, глубину отверстия контролируют глубиномером штангенциркуля.

### 3.2. Растачивание отверстий

Увеличение диаметра уже имеющегося в заготовке отверстия и придание ему необходимой формы (цилиндрической, конической, ступенчатой) с помощью расточных резцов называется **расточиванием**.

Геометрические элементы расточных резцов и элементы режимов резания при растачивании аналогичны этим параметрам при обтачивании цилиндрических заготовок проходными резцами. На рис. 2 приведены способы растачивания различных видов отверстий, а на рис. 3 приведены конструктивные и геометрические элементы расточных резцов.

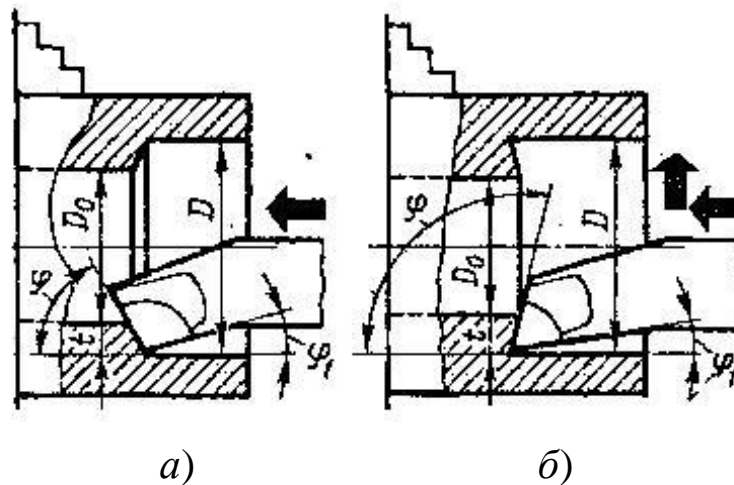


Рис. 2. Способы растачивания: *а* – гладкого отверстия;  
*б* – отверстия с уступом



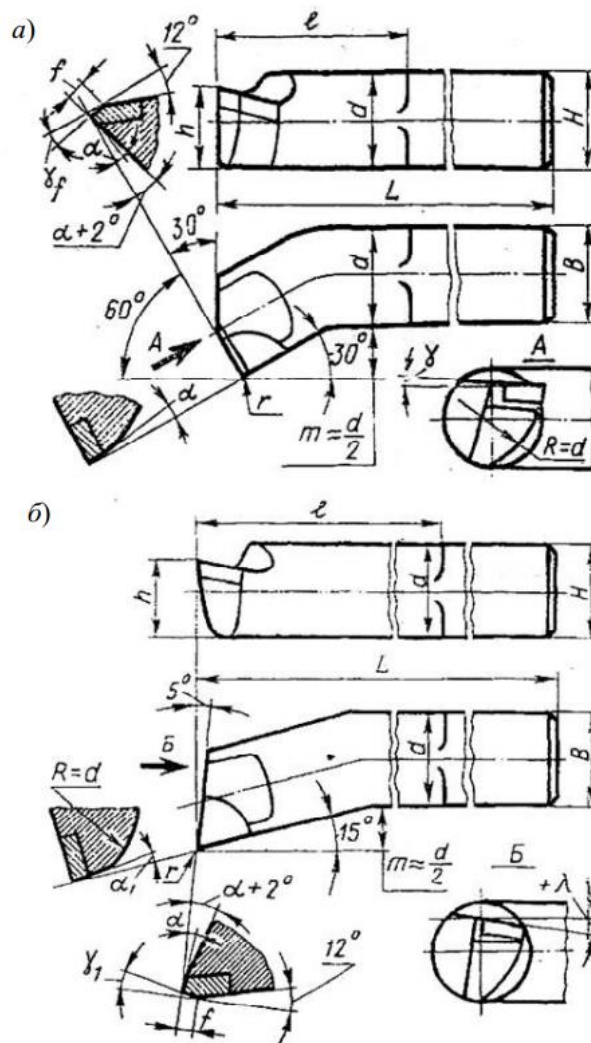


Рис. 3. Токарные расточные резцы:  
 а – для обработки сквозных отверстий;  
 б – для обработки глухих и ступенчатых отверстий

Растачивание производят в следующих случаях:

- когда сверление, рассверливание или зенкерование не обеспечивают необходимой точности размеров отверстия;
- при необходимости обеспечить прямолинейность оси отверстия и точность ее положения;
- при отсутствии сверла или зенкера требуемого диаметра;
- при необходимости обработать отверстие, диаметр которого превышает наибольшие нормальные диаметры сверл и зенкеров;
- при небольшой длине отверстия.

Расточной резец, устанавливаемый в резцедержатель суппорта станка, должен иметь консольную часть, выступающую из резцедержателя на длину, большую длины растачиваемого отверстия заготовки.

### 3.3. Зенкерование и зенкование отверстий

**Зенкерованием** называется процесс обработки предварительно просверленных, штампованных, литых отверстий в целях придания им более правильной геометрической формы (устранение отклонений от круглости и других дефектов), достижения более высокой точности (9...11 квалитетов) и снижения шероховатости поверхности до  $Ra\ 1,25...2,5\ \mu\text{м}$ .

Эта обработка может быть окончательной либо промежуточной (получистовой) перед развертыванием, дающим еще более точные отверстия (6...9-го квалитетов) и шероховатость поверхности до  $Ra\ 0,16...1,25\ \mu\text{м}$ . При обработке точных отверстий диаметром менее 12 мм вместо зенкерования применяют сразу развертывание.

Характер работы зенкера подобен характеру работы сверла при рассверливании отверстия. По конструкции и оформлению режущих кромок зенкер несколько отличается от сверла и имеет три-четыре зуба, что обеспечивает правильное и более устойчивое положение зенкера относительно оси обрабатываемого отверстия.

По конструкции зенкеры бывают цельные (рис. 4, а) и насадные (рис. 4, б). Для экономии быстрорежущей стали зенкеры также делают со вставными ножами или с припаянными пластинами твердого сплава.

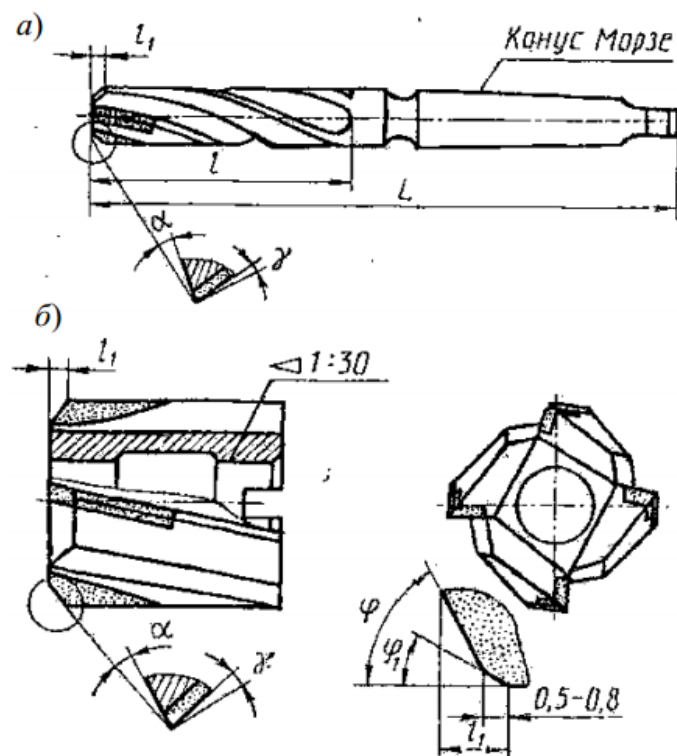


Рис. 4. Конструкции и элементы зенкеров

**Зенкованием** называется процесс обработки специальными инструментами – зенковками. Зенковками выполняют конические углубления и фаски под головки болтов, винтов, заклепок. В отличие от зенкеров зенковки имеют режущие зубья на торце, иногда и направляющие цапфы, которыми зенковки вводятся в просверленное отверстие, что обеспечивает совпадение оси отверстия и образованного зенковкой углубления под головку винта. Крепление зенкеров и зенковок на сверлильных станках ничем не отличается от крепления сверл.

### 3.4. Развертывание отверстий

**Развертыванием** называется процесс окончательной чистовой обработки отверстий, обеспечивающий высокую точность размеров и шероховатость поверхности в пределах  $Ra\ 1,25\ldots 0,16\ \mu\text{м}$ . Развертывание отверстий выполняют как на сверлильных и других металлообрабатывающих станках, так и вручную при слесарной и слесарно-сборочной обработке. Ручные развертки (рис. 5, а) бывают с прямыми и винтовыми зубьями, насадные, регулируемые. Ручные развертки снабжены квадратным концом на хвостовике для вращения их с помощью воротка. Шаг зубьев разверток (угловой шаг) неравномерный, что обеспечивает получение менее шероховатой и волнистой поверхности отверстия и уменьшает возможность образования не цилиндрического, а многогранного отверстия. Развертки, применяемые на станках, называются машинными. Они отличаются от ручных более короткой рабочей частью, наличием конусного хвостовика (рис. 5, б). Их закрепляют в плавающих (качающихся) оправках или патронах, что обеспечивает развертке возможность самоустанавливаться по оси просверленного отверстия и уменьшает разбивку отверстия.

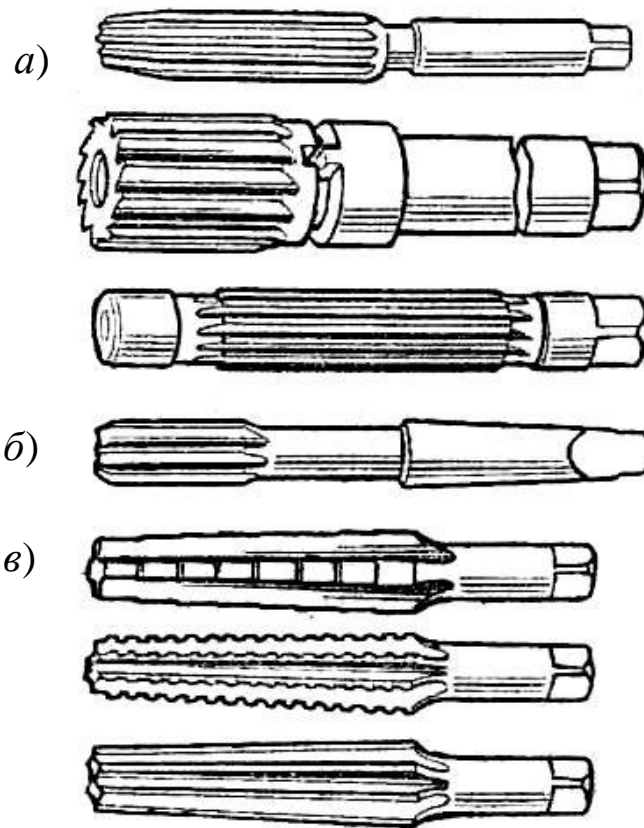


Рис. 5. Типы разверток

Для обработки конических отверстий, чаще всего для конусов Морзе применяют конические ручные развертки комплектами из двух и трех штук (рис. 5, в).

Первая развертка черновая (обдирочная), вторая промежуточная и третья чистовая (окончательная), придающая отверстию окончательные размеры и требуемую шероховатость поверхности.

Основные части и геометрические параметры ручной развертки приведены на рис. 6.

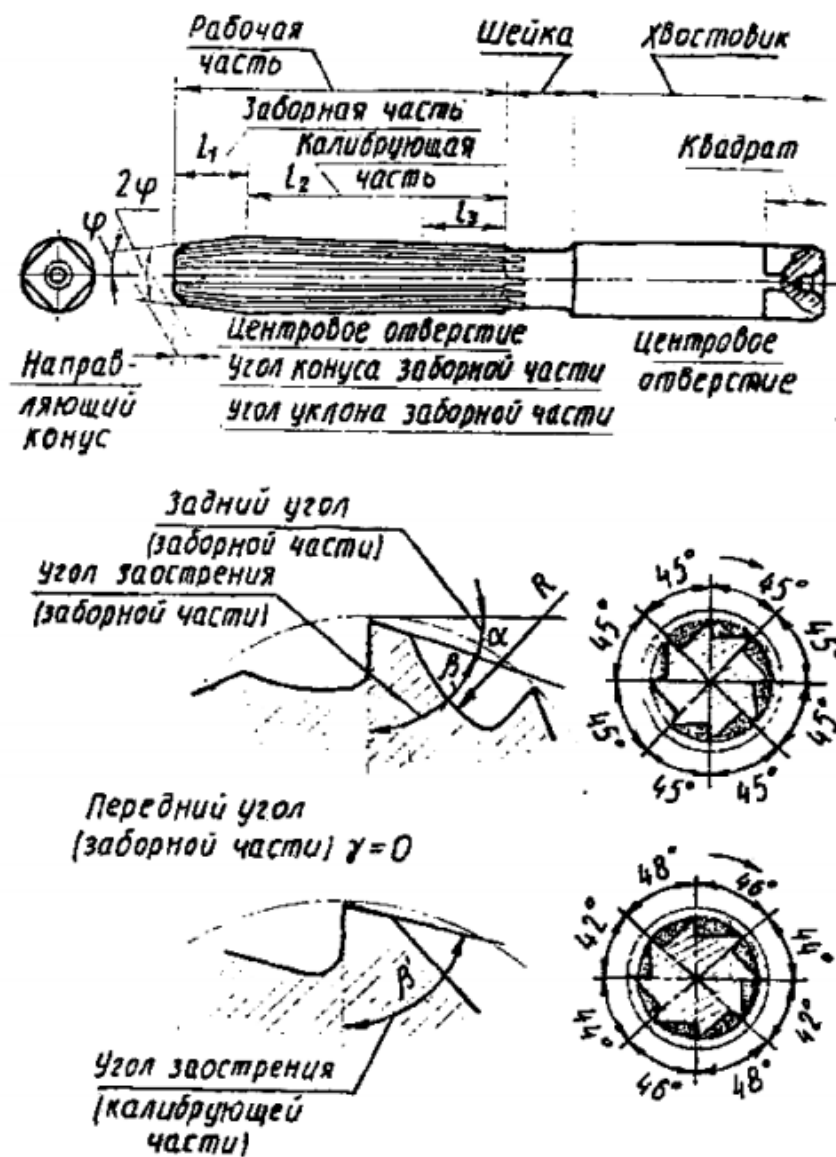


Рис. 6. Части и элементы ручных разверток

Припуск под развертывание должен быть не более 0,05...0,1 мм на сторону. Большой припуск может привести к быстрому затуплению заборной части развертки, повышение шероховатости отверстия и снижению точности обработки.

### 3.5. Сверлильные станки

Сверлильные станки предназначены для сверления сквозных и глухих отверстий в сплошном материале, рассверливания имеющихся отверстий на больший диаметр, зенкерования, развертывания, нарезания внутренней и наружной резьбы и др. Сверлильные станки бывают:

- настольные, для обработки отверстий малого диаметра до 3; 6; 12 мм;
- вертикально-сверлильные;
- радиально-сверлильные;
- горизонтально-сверлильные, для сверления глубоких отверстий (глубина сверления больше 10...12 диаметров);
- сверлильно-центровальные, для получения центровых отверстий на заготовках.

Наибольшее распространение получили вертикально-сверлильные станки для получения отверстий диаметром 18, 25, 35, 50 и 75 мм.

На рис. 7 показан внешний вид станка модели 2Н135–1, который выпускается взамен станка модели 2Н135 и отличается от него наличием «плавающего» поворотного-передвижного стола, позволяющего вести обработку нескольких отверстий без перезакрепления обрабатываемой детали.

Процессы сверления выполняются при двух совместных движениях: вращении инструмента (главном движении) и поступательном движении вдоль оси (движении подачи).

Скорость резания

$$v = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ (м/мин)} \quad (1)$$

где  $D$  – наружный диаметр инструмента, мм;  $n$  – частота вращения сверла, об/мин.

Подача на оборот  $S$  (мм/об) – перемещение сверла вдоль оси за один его оборот, зависит от заданной шероховатости, прочности сверла и жесткости закрепления заготовки.

Глубина резания  $t$  (мм) – расстояние от обработанной поверхности до оси сверла:  $t = D/2$ .

Многие станки не имеют механической подачи, и перемещение инструмента осуществляется вручную плавным нажатием на рукоятку подачи.

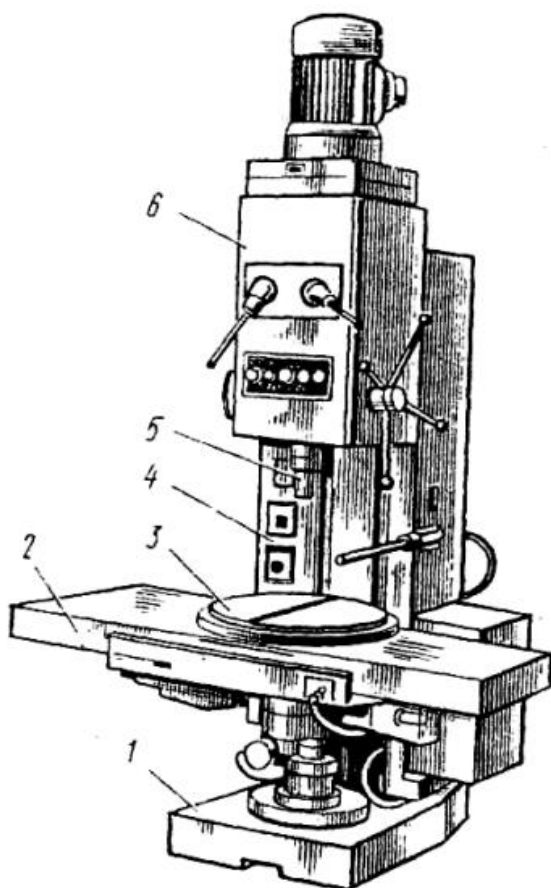


Рис. 7. Внешний вид станка модели 2Н135–1:  
 1 – фундаментальная плита; 2 – плавающий стол;  
 3 – поворотный стол; 4 – колонка; 5 – шпиндель;  
 6 – сверлильная бабка

Наиболее распространенные операции обработки на сверлильных станках показаны на рис. 8.

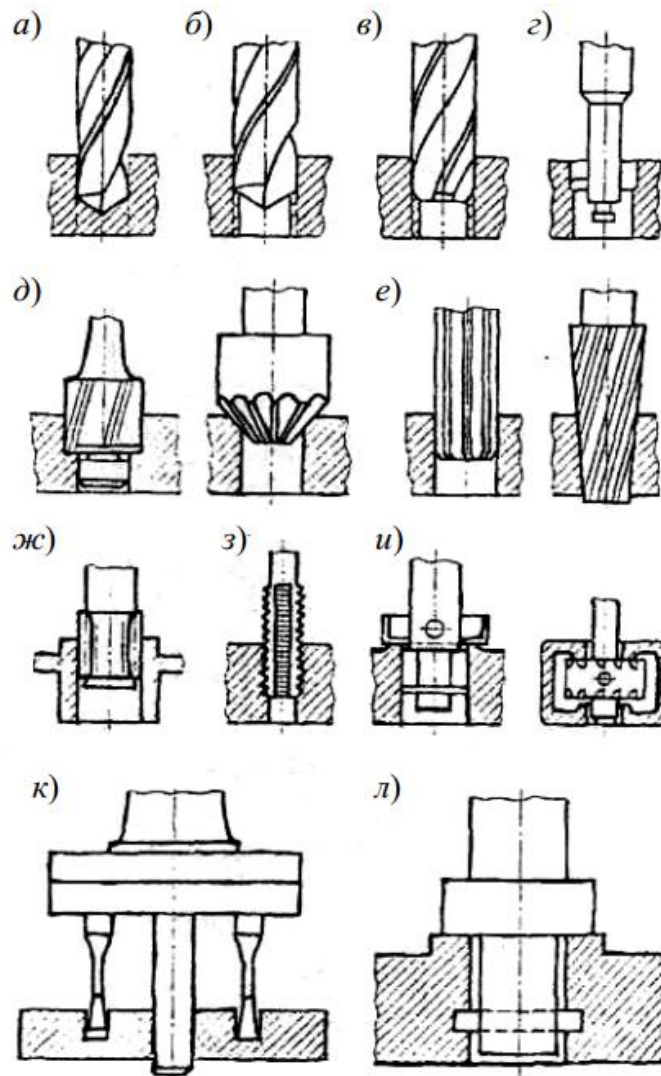


Рис. 8. Работы выполняемые на сверлильных станках:  
*а* – сверление; *б* – рассверливание; *в* – зенкерование;  
*г* – растачивание; *д* – зенкование; *е* – развертывание;  
*ж* – проглаживание; *з* – нарезание внутренней резьбы;  
*и* – цекование (подрезка) торцов; *к* – вырезание дисков (шайб);  
*л* – проточка внутренних канавок

Сверление применяют для получения неответственных отверстий, служащих для облегчения деталей, отверстий под крепежные болты, заклепки, шпильки и т. п., отверстий, предназначенных для дальнейшей обработки: рассверливания, нарезания резьбы и др.



## **4. ИНСТРУКЦИОННАЯ КАРТА**

Провести организацию рабочего места в соответствии с инструкцией по технике безопасности. Проверить защитные кожухи, проверить станок на холостом ходу, убедиться в наличии решетки, щетки и крючка для уборки стружки, патронного ключа, защитных очков (если нет защитного экрана на станке), надеть рабочую одежду.

### **4.1. Сверление отверстий на токарном станке**

Оснащение рабочего места: трехкулачковый сверлильный патрон, спиральные сверла диаметром 8 мм или 15 мм с цилиндрическим хвостовиком и диаметром 20 мм с коническим хвостовиком, заготовка диаметром 20–30 мм, длиной 60–70 мм, переходная коническая втулка.

Произвести подбор и установку сверл в сверлильном патроне и пиноли задней бабки.

Произвести сверление и рассверливание сквозных отверстий по индивидуальному заданию мастера.

Перед сверлением отверстия следует зацентрировать деталь коротким спиральным сверлом большего диаметра или специальным центровочным сверлом. При этом условии в начале сверления поперечная кромка сверла не работает, что способствует меньшему уходу его от правильного положения.

Подача сверла на токарных станках осуществляется, как правило, вручную поворотом маховика пиноли задней бабки. Однако некоторые модели станков имеют устройства для сцепления задней бабки с кареткой суппорта, а также для закрепления сверла в резцедержателе, что значительно облегчает труд токаря.

Отверстия большого диаметра сверлят последовательно несколькими сверлами, вначале сверлом меньшего диаметра, затем рассверливают.

Не следует останавливать станок, когда сверло находится в отверстии. Учитывайте меры предосторожности, когда глубина обрабатываемого отверстия больше длины рабочей части сверла. Если вся винтовая канавка окажется в отверстии, то стружка не будет иметь выхода, заполнит канавки и сверло сломается.

## 4.2. Сверление отверстий на вертикально-сверлильном станке

Оснащение рабочего места: вертикально-сверлильный станок, сверла разного диаметра, сверлильные патроны, переходные конусные втулки, тиски машинные для сверлильного станка, тиски ручные, заготовки для последующего сверления.

После назначения требуемых режимов резания ( $n$  и  $S$ ) приступают к настройке сверлильного станка по этапам.

1. Проверка заземления, наличия ограждения электродвигателя, протирка стола и отверстия шпинделя.

2. Проверка вращения вхолостую, осевого перемещения шпинделя и работы механизма подачи, закрепления стола.

3. Установка и закрепление режущего инструмента (сверла) либо в коническое отверстие шпинделя, либо в сверлильный патрон.

4. Установка и закрепление заготовки на столе станка. Вид закрепления заготовки (рис. 10) зависит от ее формы, массы, габаритных размеров, диаметра обрабатываемого отверстия. Мелкие заготовки закрепляют в ручных или машинных тисках прижимными подкладками или прихватами. При сверлении отверстий большого диаметра заготовки надо закреплять более надежно в кондукторах, призмах, машинных тисках и т. п., которые затем крепят болтами к столу.

В зависимости от качества точности и количества заготовок сверление выполняют по разметке с кернением центров отверстий. Убедившись в правильности настройки и исправности станка, производя его пробный пуск, выполнить задание по сверлению отверстия.

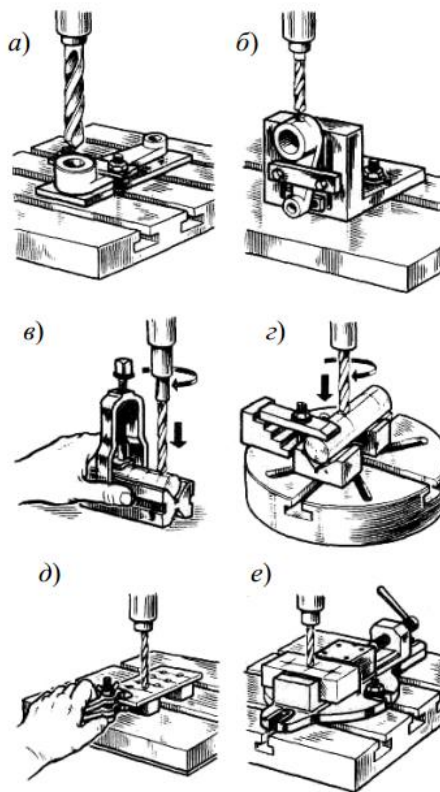


Рис. 10. Крепление заготовок при сверлении:

- а* – непосредственно на столе планками;  
*б* – на угольнике планками; *в* – на призме хомутиком;  
*г* – на призме планкой со ступенчатой опорой;  
*д* – в ручных тисках на подкладках; *е* – в машинных тисках

### 4.3. Растачивание отверстий

Упражнение по растачиванию гладких цилиндрических отверстий заключается в выполнении следующих приемов:

1. Подобрать расточной проходной резец. При закреплении резца вылет из резцедержателя должен быть больше, чем длина растачиваемого отверстия на 5...10 мм.
2. Установить и закрепить заготовку в трехкулачковом патроне.
3. Установить и закрепить расточной проходной резец в резцедержателе суппорта станка.
4. Настроить станок на требуемый режим резания (скорость резания, частоту вращения шпинделя, толщину снимаемого слоя глубины резания) при предварительном растачивании.
5. Поставив резец в исходное положение (на расстоянии 5...10 мм от торца заготовки) установить по лимбу резец на требу-

мую глубину резания и снять пробную стружку против отверстия на 3...5 мм.

6. Измерить штангенциркулем диаметр отверстия. Если действительный диаметр отверстия меньше заданного, снять стружку до получения требуемого диаметра.

7. Расточить отверстие с ручным движением подачи на всю длину заготовки.

8. Расточить отверстие с механическим движением прямой продольной подачи. Вывести резец из отверстия и вторично проверить диаметр растачиваемого отверстия.

#### **4.4. Развертывание отверстий**

Ручное развертывание отверстий включает выполнение ряда приемов. Приступая к развертыванию, необходимо:

- выбрать требуемую по размеру развертку (проверить ее маркировку);
- убедиться в отсутствии забоин и выкрошенных мест на режущих кромках;
- закрепить заготовку в тисках или установить ее на верстаке (плите) в положении, удобном для работы;
- взять черновую развертку;
- смазать заборную часть минеральным маслом и вставить в отверстие без перекоса, проверить положение развертки к оси отверстия угольником ( $90^\circ$ );
- надеть на квадрат хвостовика развертки вороток, слегка нажимая на развертку правой рукой вниз, левой рукой медленно вращая вороток по ходу часовой стрелки, периодически извлекая развертку из отверстия для очистки ее от стружки и смазывания;
- закончить развертывание тогда, когда  $3/4$  рабочей части развертки выйдет из отверстия.

При развертывании глубоких отверстий, расположенных в труднодоступных местах детали, необходимо применять специальные удлинители, надевающиеся на квадрат хвостовика развертки.

В такой же последовательности производится окончательное (чистовое) развертывание.

Вороток нужно вращать медленно, плавно и без рывков. Вращение развертки в обратном направлении недопустимо, так как оно

может вызвать задиры на поверхности отверстия или поломку режущих кромок развертки.

Приемы развертывания ручными развертками показаны на рис. 11.

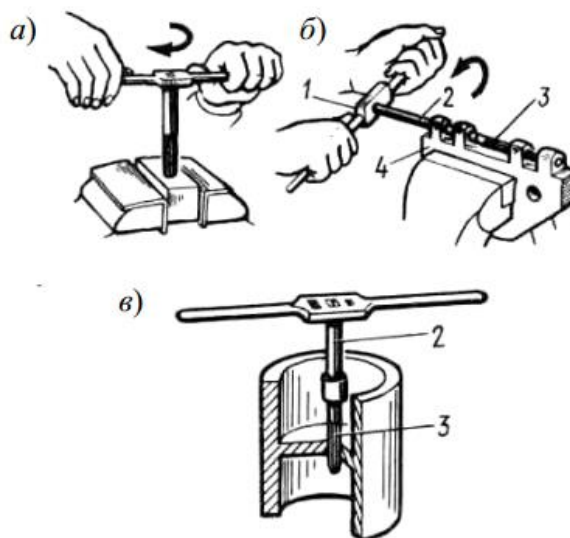


Рис. 11. Приемы развертывания отверстий ручными развертками:  
*а* – вертикального отверстия; *б* – горизонтального отверстия;  
*в* – в труднообрабатываемом месте; 1 – вороток; 2 – удлинитель;  
 3 – развертка; 4 – заготовка

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Назовите основные части и элементы спирального сверла.
- 5.2. Расскажите о приемах сверления на токарном станке.
- 5.3. Основные части вертикально-сверлильного станка, их назначение.
- 5.4. В каких случаях производят растачивание отверстий?
- 5.5. Назовите основные типы разверток.
- 5.6. Назовите основные части ручной развертки и их назначение.
- 5.7. Назначение процесса зенкования и зенкерования.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать схему процессов сверления, растачивания, развертывания на токарно-винторезном и вертикально-сверлильном станках с указанием движений резания, эскизы спирального сверла, ручной развертки, с указанием частей, элементов и геометрических параметров, чертежи обрабатываемых деталей.

## **Лабораторное занятие № 8.**

# **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОФИЛЬНОГО ШЛИФОВАНИЯ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Закрепление теоретических знаний и развитие навыков самостоятельного решения технологических и проектных задач по механизации и автоматизации инструментального производства.

### **2. ПЕРЕЧЕНЬ ВЫПОЛНЯЕМЫХ ЗАДАНИЙ**

В соответствии с индивидуальными заданиями студентам необходимо выполнить следующий объем работы:

- 2.1. Изучить методические указания.
- 2.2. Ответить на контрольные вопросы.
- 2.3. Разработать технологический процесс.
- 2.4. Выбрать технологическое оборудование, инструмент.
- 2.5. Разработать планировку участков профильного оборудования.
- 2.6. Выполнить расчеты для построения и контроля элементов профиля.

### **3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

#### **3.1. Общие сведения**

Метод профильного шлифования нашел широкое применение в инструментальном производстве. Этим методом обрабатываются детали технологической оснастки и инструмента с открытыми, замкнутыми и закрытыми, сквозными и несквозными профилями, а также детали с поверхностью вращения, пуансоны и составные матрицы штампов холодной штамповки, вкладыши и вставки прессформ, специальные режущие и мерительные инструменты и т. п.

Профильное шлифование обеспечивает высокую производительность по сравнению с ручной слесарной обработкой, дает возможность получать большое количество идентичных деталей, позволяет обеспечить высокую точность геометрической формы и разме-

ров шлифуемых деталей при достаточной чистоте обрабатываемой поверхности (до Ra 0,1–0,04 мкм).

Различают профильное шлифование на оптико-шлифовальных, плоскошлифовальных и круглошлифовальных станках. К профильному шлифованию относится и обработка на резьбо- и зубошлифовальных станках.

## **3.2. Профильное шлифование на оптических профилешлифовальных станках**

### **3.2.1. Технология**

Оптическая система станков с экраном представляет собой проектор, с помощью которого изображение детали проектируется на экран в 50-кратном увеличении. На экран накладывают чертеж детали на прозрачной кальке, выполненной в масштабе 50:1.

Таким образом, оператор видит на экране контур детали, контур увеличенного чертежа и контур шлифовального круга. Перемещая круг, оператор совмещает контур обрабатываемой поверхности детали с контуром чертежа.

Работа на станках с экраном менее утомительна по сравнению с работой на станке с оптическим устройством, микроскопом и пантографом. При работе на станках с экраном можно контролировать деталь по всему профилю, в то время как при работе на станках с пантографом лишь по отдельным точкам.

Обработка на профилешлифовальном станке позволяет обеспечить минимальный радиус (0,06–0,1 мм) сопряжения смежных участков.

При шлифовании деталей с профилем, расположенным на образующей цилиндра, применяют специальное приспособление для вращения шлифуемой детали.

Ось шлифовального шпинделя устанавливают на одной высоте с осью приспособления. На станке используют делительные и другие приспособления, расширяющие технологические возможности станка.

Точность обработки без смены чертежа до 0,01 мм, шероховатость поверхности Ra = 0,32÷1,25 мкм. На станке можно обрабатывать детали из закаленных сталей и твердого сплава. При шлифовании детали из твердого сплава следует применять алмазные круги.

### **3.2.2. Оборудование**

Станкостроительные заводы страны выпускают оптические профишлифовальные станки мод. 395 М. Они предназначены для шлифования плоских изделий со сложными контурами, ограниченными прямыми линиями, дугами окружностей и другими кривыми.

Шлифуемое изделие закрепляется на столе, который вручную перемещается в любых направлениях в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Станок снабжен специальным оптическим устройством, проектирующим контур обрабатываемого изделия на экран с увеличением в 50 раз. Этот контур совмещается с чертежом, выполненным в масштабе 50:1, который помещается на экране. Обработка производится посредством перемещения шлифовальной головки вдоль шлифуемого контура. Рекомендуемые модели станков и основные технические характеристики приведены в прил. 1.

### **3.3. Профильное шлифование на плоскошлифовальных станках непрофилированными плоскими кругами**

#### **3.3.1. Технология**

Плоским кругом шлифуют поверхности, профиль которых образован прямыми линиями, в тех случаях, когда можно совместить шлифуемую поверхность с периферией или торцом шлифовального круга. Для этой цели применяют лекальные тиски, синусовые линейки, призмы, магнитные плиты и специальные приспособления.

Лекальные тиски изготавливают по концевым мерам до угла, не превышающего  $45^\circ$ . При больших углах пользуются дополнительной призмой. Удобны поворотные магнитные плиты, устанавливаемые косинусной линейкой.

Для шлифования под углами применяют и универсальный трехповоротный синусный столик с электромагнитной плитой (рис. 1). В нижней плите столика 1 имеются углубления, в которых на расстоянии  $20 \pm 0,005$  мм друг от друга установлены и закреплены два ролика 2.

На верхней части плиты вставлена в пружину ось 3, вокруг которой поворачивается с помощью концевых мер 5. Вокруг оси 6 вместе с электромагнитной плитой 8 поворачивается плита 7, устанавливаемая по концевым мерам 9 на угол  $\alpha$ . Ролики 2 служат для установ-



ки приспособления под углом относительно направления движения продольной подачи стола.

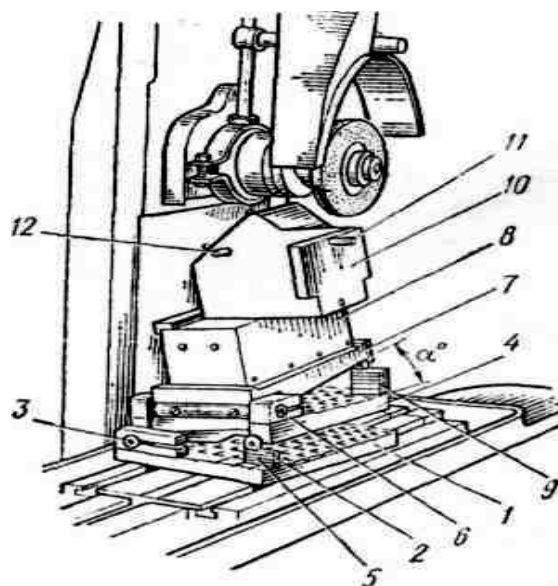


Рис. 1. Универсальный трехповоротный синусный столик

Деталь 10 устанавливается относительно упорного угольника на плите 8. Для контроля размеров используют технологические пальцы 11 и 12.

### 3.3.2. Оборудование

Для профильного шлифования применяются плоскошлифовальные станки 3Е710А, 3 Е710В–1 (125×400 мм). Наибольшее оснащение имеют станки 3Б710В, 3Е711В–1 с проектором 3Е711ЕВ–1 (200×400 мм).

Шероховатость шлифовальной поверхности в значительной мере зависит от режима правки шлифовального круга. Правку круга однокристалльным алмазом при черновом шлифовании рекомендуется производить при глубине  $t = 0,02$  мм и продольной подаче  $S = 0,1 \div 0,2$  мм/об.

Для получения шероховатости  $Ra = 6 \div 10$  мкм глубина  $t = 0,05$  мм; для  $Ra = 1,5 \div 3$  мкм  $t = 0,025$  мм;  $Ra = 0,5 \div 1$  мкм  $t = 0,01$  мм.

### **3.3.3. Приспособления**

Приспособления для профилирования кругов по прямолинейным участкам.

## **3.4. Профильное шлифование на плоскошлифовальных (круглошлифовальных) станках профилированными кругами**

### **3.4.1. Технология**

Профильное шлифование профилированными кругами выполняется на плоско-, круглошлифовальных и других станках.

Профилирование шлифовальных кругов осуществляется за счет удаления части зерен круга с помощью профилирующего инструмента. При этом происходит раскалывание зерен абразива, выламывание их из связок и удаление связки с поверхности круга.

Существует три метода профилирования шлифовальных кругов:

1. Обтачивание алмазным инструментом;
2. Обкатывание безалмазными или алмазными кругами;
3. Шлифование алмазным или абразивным кругом.

При профильном шлифовании детали и оснастки нашли применение первые два метода.

Крепление профилирующих инструментов и перемещение относительно круга осуществляются с помощью группы приспособлений.

Черновое профилирование кругов, имеющих целью снятия основной массы припуска шлифовального круга и получение приближенного профиля круга, выполняется шлифовщиком вручную с помощью осколка шлифовального круга из карбида кремния зеленого.

Для установки и закрепления фасонных деталей, которых невозможно или нецелесообразно устанавливать непосредственно на магнитной плите или приспособлении, применяют магнитные подкладки.

Профилирующий инструмент:

- алмазные карандаши (ГОСТ 607-80) применяются для профилирования шлифовальных кругов по прямолинейным участкам;
- алмазы в оправках и алмазные иглы применяются для профилирования шлифовальных кругов как по прямолинейным, так и по дуговым участкам профиля;

- алмазные фасонные ролики предназначены для профилирования шлифовальных кругов по сложному профилю;
- стальные фасонные ролики.

Приспособления для профилирования:

- приспособление для профилирования кругов по прямолинейным участкам профиля (рис. 2);
- приспособление для профилирования кругов по дуговым участкам профиля (рис. 3);
- приспособление универсальное для профилирования кругов.

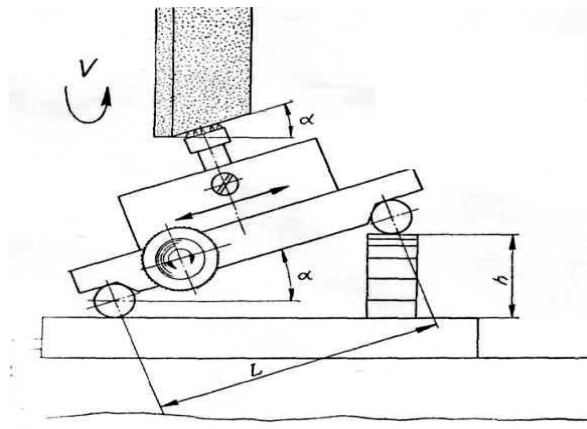


Рис. 2. Приспособление для профилирования кругов по прямолинейным участкам

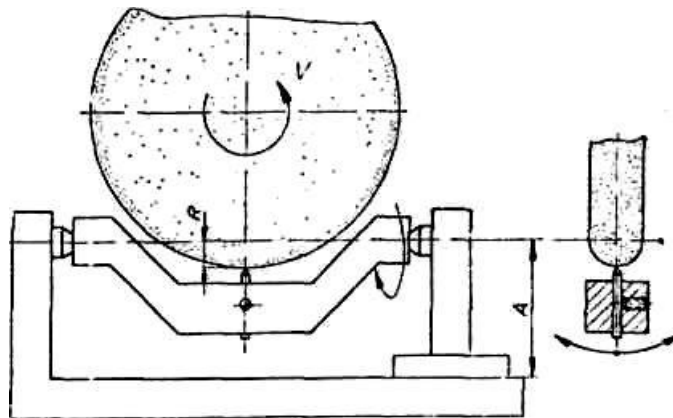


Рис. 3. Приспособление для профилирования кругов по дуговым участкам профиля; схема приспособления

### **3.4.2. Оборудование**

Операции профильного шлифования выполняется на плоскошлифовальных, круглошлифовальных и специальных профилешлифовальных станках (прил. 1). К ним предъявляют ряд требований, невыполнение которых исключает возможность эффективного использования этих станков на операциях профильного шлифования:

а) принадлежность модели станка к повышенному, высокому или особо высокому классам точности, и состояние станка, соответствующее точностным характеристикам этих классов;

б) отсутствие вибраций в шпиндельном узле станка и других узлах;

в) плавная работа механизмов на всех этапах возвратно-поступательного движения: в начале, во время основного хода и в конце;

г) полное отсутствие осевого люфта шпинделя (в известных пределах допускаемого для плоско, и круглошлифовальных станков общего назначения).

## **3.5. Профильное шлифование деталей на координатно-шлифовальных станках**

### **3.5.1. Технология**

Характерным для координатно-шлифовальных станков является высокая точность исполнения основных узлов, а так же отсчета настроечных перемещений. Кроме того, наличие шпинделя с высокой частотой вращения до 100 000 об/мин обеспечивает необходимую скорость шлифования при небольшом диаметре шлифовального круга. Скорость координатного шлифования рекомендуется воздерживать в пределах 25–30 м/с. Круговая подача, осуществляемая с помощью планетарного вращения шпинделя, должна находиться в пределах 6 м/мин.

Ввиду невысокой жесткости шпинделя и оправки шлифовального круга подача круга не должна превышать 0,003 мм при шлифовании отверстий до 4 мм и 0,005 мм при шлифовании отверстий диаметром свыше 4 мм. Скорость возвратно-поступательного движения шпинделя находится в пределах 0,04–0,1 м/мин. Шлифование деталей из закаленных сталей производится электрокорундовыми круга-

ми 16 СМ1–СМ2. При шлифовании отверстий малого диаметра и фасонных полостей более эффективно применение кругов из эльбора, обладающих лучшей режущей способностью и износостойкостью. При шлифовании твердосплавных деталей рекомендуется применять круги из алмаза или карбида кремния.

### **3.5.2. Оборудование**

Для координатного шлифования применяют станки отечественного производства 3А282 и 3Б282 с размером стола 450×250 мм, диаметр обрабатываемого отверстия 1,5–130 мм. Станок 3Б282 оснащен координатным столом с системой предварительного набора координат, точность позиционирования 4 мкм, точность формы отверстия 2 мкм, шероховатость обработанной поверхности  $Ra = 0,16 \div 0,32$  мкм.

Станок 3283 – особо высокой точности с размером стола 560×320 мм. Диаметр шлифуемого отверстия 3–120 мм. Стол станка 3284С имеет размеры 710–400 мм; диаметр шлифуемого отверстия 3–220 мм.

У станка 3284 стол 900×630; глубина шлифуемого отверстия до 100 мм; точность отсчета 0,001 мм; точность установки координат 0,002 мм.

Координатно-шлифовальные станки оснащают круглым столом, предназначенным для установки и шлифования на нем деталей с отверстием, положение которых задано в системе полярных координат, а также точных пазов, ось которых представляет собой дугу окружности. Для обработки деталей с разных сторон с одной установки и отверстий, заданных под углом, применяют универсальный круглоповоротный стол. Для шлифования фасонных пазов у закаленных и твердосплавных деталей применяют координатный столик, устанавливаемый на круглом столе.

## **4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЧАСТКА ДЛЯ ПРОФИЛЬНОГО ШЛИФОВАНИЯ**

Для организации профильного шлифования в инструментальных цехах необходимо выделять специальные участки. В этом случае облегчается организация многостаночного обслуживания, улучшается использование вспомогательного оборудования, приспособлений, инструмента и оргоснастки.

Станки устанавливаются на виброгасящие фундаменты в помещениях, достаточно удаленных от источников сильных вибраций и импульсных нагрузок на фундамент. В помещениях поддерживается постоянная температура 18–20 °С и постоянная влажность.

Помещение должно быть отделено от остальной части цеха стеклянной перегородкой и оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией. Для удаления выделяющейся при шлифовании абразивной пыли от каждого станка, работающего «всухую», должны быть установлены вентиляционные отсасывающие устройства.

Пример типового участка для профильного шлифования приведен в прил. 2.

## **5. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ**

5.1. Метод профильного шлифования позволяет обрабатывать детали технологической оснастки, инструмента с открытыми, замкнутыми и закрытыми, сквозными и несквозными профилями.

5.2. С помощью метода профильного шлифования можно обработать до 70 % сложных формообразующих деталей штампов и до 35 % аналогичных деталей прессформ.

5.3. Профильным шлифованием можно достигнуть точности размеров в пределах шероховатости обработанной поверхности в пределах  $Ra = 0,1 \div 0,04$  мкм.

5.4. Применение метода профильного шлифования в инструментальном производстве позволяет механизировать и автоматизировать труд слесарей – инструментальщиков, лекальщиков и обеспечить увеличение производительности их труда в 5–10 раз.

5.5. Применение профильного шлифования резко сокращает трудоемкость работ при изготовлении технологической оснастки, устранить все погрешности в результате деформаций и процесс термической обработки и создаются условия, обеспечивающие получение соответствующей точности, увеличение стойкости и удлинение срока службы инструментально-штамповой оснастки.

5.6. Сокращаются сроки подготовки профессиональных кадров – если раньше для подготовки высококвалифицированного лекальщика-инструментальщика требовалось 5–10 лет, с применением профильного шлифования для подготовки шлифовщика требуется 8–10 месяцев.

## **6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

6.1. Назовите способы профильного шлифования, применяемые в инструментальном производстве.

6.2. Какие детали, возможно, обработать методом профильного шлифования?

6.3. Какую точность и чистоту обрабатываемой поверхности можно достичь при использовании профильного шлифования?

6.4. Назовите основные модели станков, которые применяются при профильном шлифовании.

6.5. В чем выражается преимущество метода профильного шлифования при использовании его в инструментальном производстве?

## Приложение 1

## Технологическое оборудование

№ п/ п	Наименование	Тип, мо- дель	Технические характе- ристики	Мощность, кВт	Габариты	Масса станка, кг	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
I. Оптико-шлифовальные станки							
1	Оптический про- филешлифоваль- ный станок	395	наиб. р-р обр. плоск. 150×60мм, толщина – 48 мм	0,5	1400×1600×2000	2000	Станконстр. завод – С-Петербург
2	Оптический про- филешлифоваль- ный станок	395 Мф1	наиб. р-р обр. плоск. 150×60 мм, толщина – 48 мм, наиб. диаметр кру- га 125 мм	0,55	1485×1600×2000	2100	Станконстр. завод – С- Петербург



1	2	3	4	5	6	7	8
3	Оптический профилешлифовальный станок	ЗГ95 ф3	наиб. р-р обр. изд. 200×80×80	0,6	1550×1600×2200	2300	Вильнюсский завод шлифовальных станков
II. Плоско-шлифовальные станки для профильного шлифования							
1	Плоскошлифовальный станок	ЗЕ710В-1	р-р раб. пов. 125×250	1,5	1150×1145×1465	950	Оршанский станкостроит. завод
2	Плоскошлифовальный станок	ЗЕ711Вф3-1	р-р раб. пов. 200×50	7,5	2125×1850×2040	4080	Оршанский станкостроит. завод
3	Плоскошлифовальный станок	ЗЕ711ЕВ-1	200×400	2,2	3000×2290	3400	Оршанский станкостроит. завод
4	Станок специальный для профильного шлифования	ОШ-230М	320×125×295	1,5	1200×1150×1690	950	Оршанский станкостроит. завод

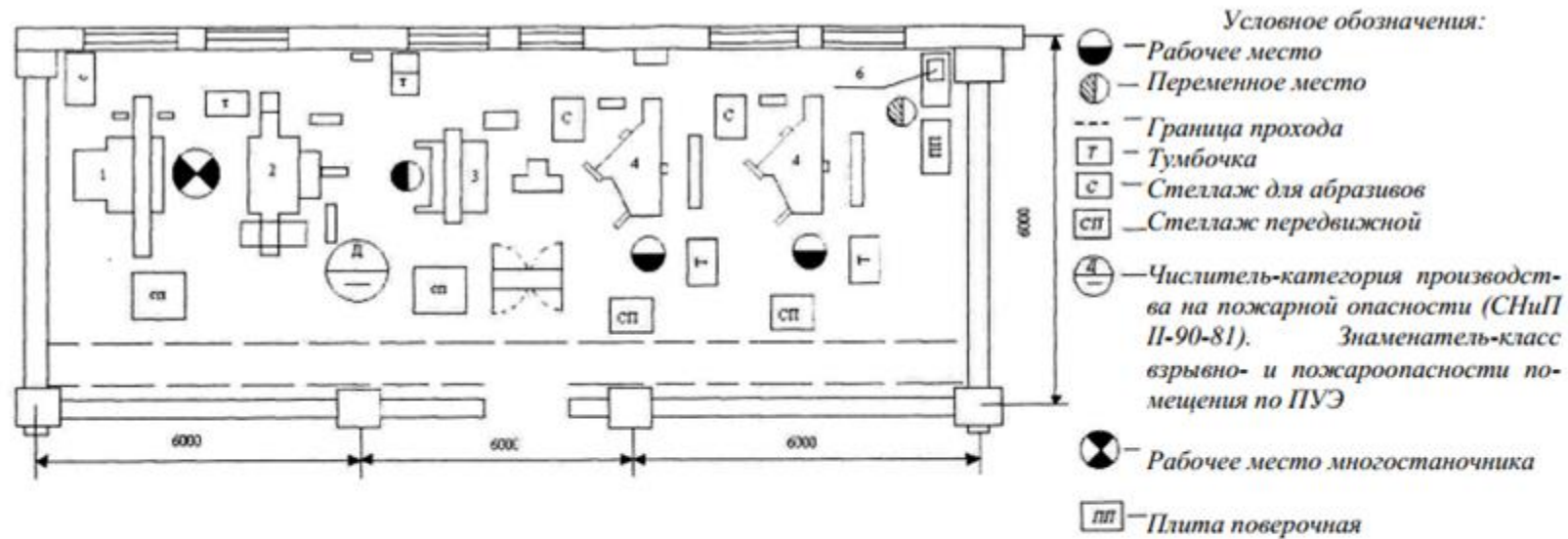
Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
III. Координатно-шлифовальные станки							
1	Координатно-шлифовальный станок	3Б282	Стол 200×320				
2	Координатно-шлифовальный станок	3283С	Наиб. диаметр шлифов. отв., 220 мм	2,5	1790×1580	2800	Каунасский станко-строитель- ный завод
3	Координатно-шлифовальный станок	3284ф4	Раб. повер. 400×800	3,0	1900×	5800	Куйбышев- ский стан- кост. завод
IV. Кругло-шлифовальные станки							
1	Кругло-шлифовальный станок особо выс. точности	3У10А	Ø100	11	1200×1600×1630	1630	Вильнюс- ский завод шлифоваль- ных станков

Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
2	Кругло- шлифовальный станок особо выс. точности	3У12А- ф11	Ø200×300		2260×1760	3500	Вильнюс- ский завод шлифоваль- ных станков
3	Резьбошлифовальный выс. точности	5К822В	Ø200	3	2300×2038×1710	450	Московский завод коор- дин. раст. станков

## Приложение 2



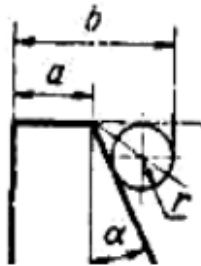
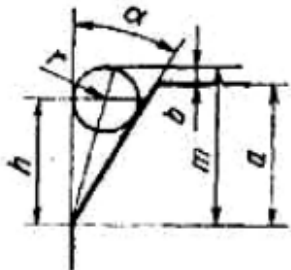
## Оборудование:

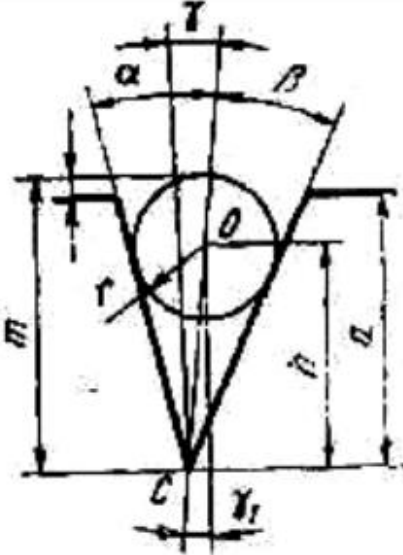
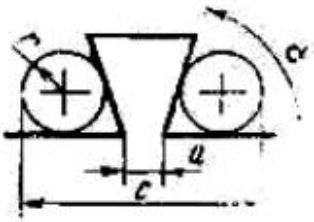
- 1 — Плоскошлифовальный станок 3Г71М
- 2 — Плоскошлифовальный станок 3Е710А
- 3 — Координатно-шлифовальный станок 3283С
- 4, 5 — Профишлифовальный станок 3Б95
- 6 — Микроскоп малый инструментальный ГОСТ 8074-82

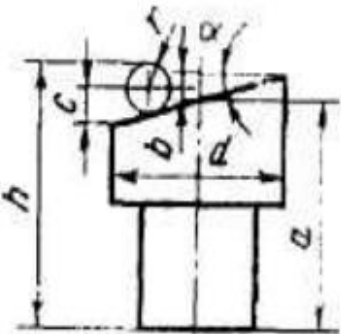
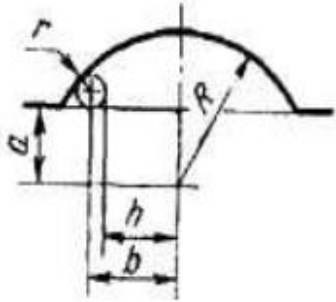
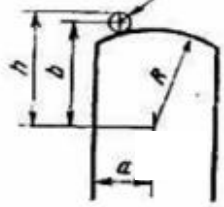
## Типовой участок для профильного шлифования

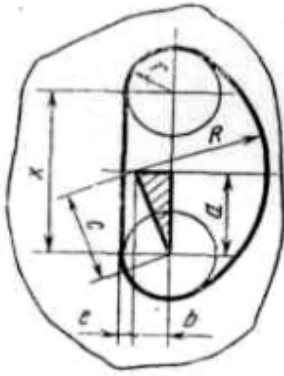
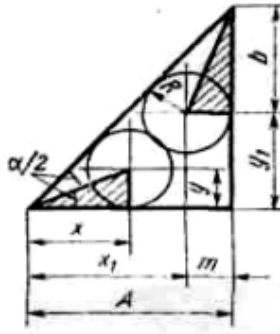
## Приложение 3

## Расчеты для построения и контроля элементов профиля

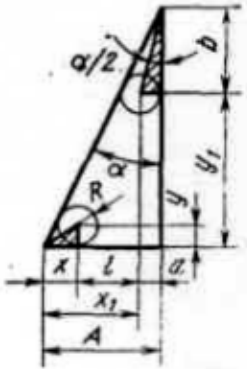
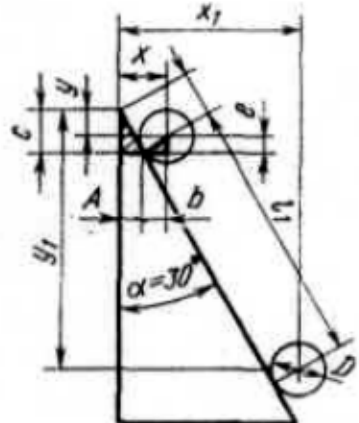
Определяемая величина	Эскиз	Расчет
1	2	3
Координата пересечения прямых по ролику, касательному к ним		<p>Дано: <math>a, r, \alpha</math></p> <p>Найти <math>b</math></p> $b = a + r \operatorname{ctg} \left( \frac{90^\circ - \alpha}{2} \right) + r$
Высота углового профиля по мерному ролику		<p>Дано: <math>a, r, \alpha</math></p> <p>Найти <math>h, m, b</math></p> $h = r \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}; m = h + r; b = m - \alpha$

1	2	3
<p>Глубина угловой впадины по мерному ролику</p>		<p>Дано: <math>a, r, \alpha</math></p> <p>Найти <math>h, m, b, \beta</math></p> $oc = \frac{r}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}}; \gamma = \beta - \alpha; \gamma_1 = \gamma$ $h = \frac{r}{\sin \frac{\alpha + \beta}{2}} \cos(\beta - \alpha);$ $m = h + r; b = m - \alpha$
<p>Ширина углового выступа двух мерных роликов</p>		<p>Дано: <math>a, r, \alpha</math></p> <p>Найти <math>c</math></p> $c = \alpha + 2r \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + 2r$

1	2	3
<p>Высота углового среза по ролику, касательному к плоскости среза и образующей цилиндра</p>		<p>Дано: <math>a, r, \alpha, d</math></p> <p>Найти <math>h, c, b</math></p> $h = a - b + c + r;$ $c = \operatorname{ctg} \frac{90^\circ - \alpha}{2} r; b = \frac{d}{2} \operatorname{tg} \alpha$
<p>Координата центра радиуса дугового участка: вогнутого профиля</p> <p>выпуклого профиля</p>		<p>Дано: <math>R, r, a</math></p> <p>Найти <math>h, b</math></p> $b = \sqrt{(Rr)^2 - (\alpha + r)^2}; h = b - r$
		<p>Дано: <math>R, r, a</math></p> <p>Найти <math>h, b</math></p> $b = \sqrt{(R + r)^2 - (\alpha - r)^2}; h = b + r$

Эскиз	Содержание работы и исходные данные	Основные расчеты	Вспомогательные расчеты
1	2	3	4
	<p>Определение расстояние между центрами двух технологических отверстий, используемых для построения фасонного профиля</p> <p>Дано: <math>R = 25</math> мм, <math>r = 10</math> мм, <math>B = 5</math> мм.</p>	$\chi = 2\alpha$ $\alpha = \sqrt{c^2 - b^2}$ $c = R - r; b = r - e;$ $\chi = 2\alpha = 28,28 \text{ мм}$	$C = 25 - 10 = 15 \text{ мм};$ $B = 10 - 5 = 5 \text{ мм};$ $\alpha = \sqrt{225 - 25} = \sqrt{200} = 14,14 \text{ мм}$
	<p>Определение координат центров технологических отверстий, используемых для построения равнобедренного треугольника</p> <p>Дано: <math>A</math>, <math>\alpha = 45^\circ</math>, <math>R = 8</math> мм</p>	$\chi = R \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$ $y = R; x_1 = A - m; m = R;$ $y_1 = A - b;$ $x = B = R \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2};$ $x = 8 \cdot 2,414 = 19,312;$ $y = 8; x_1 = A - 8;$ $y_1 = A - 19,321$	$\frac{\alpha}{2} = 22^\circ 30';$ $\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 2,414;$ $b = 8 \cdot 2,414 = 19,312$



1	2	3	4
	<p>Определение координат центров технологических отверстий, используемых для построения прямоугольного треугольника</p> <p>Дано: <math>\alpha = 30^\circ</math>,  <math>R = 5 \text{ мм}</math>, <math>A</math></p>	$x = R \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}; y = R;$ $x_1 = A - a; a = R$ $y_1 = A \operatorname{ctg} \beta - b;$ $b = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; x = 8,66 \text{ мм}$ $y = 5 \text{ мм}; x_1 = A - 5;$ $y_1 = 1,73 A - 18,66$	$\frac{\beta}{2} = 30^\circ; \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} = 1,73$ $\operatorname{tg} \beta = 1,73; \frac{\alpha}{2} = 15^\circ$ $\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 3,73$ $b = 5 \cdot 3,73 = 18,66$ $x = 5 \cdot 1,73 = 8,66 \text{ мм}$
	<p>Определение координат центров отверстий, ограничивающих наклонную прямую</p> <p>Дано: <math>\alpha = 30^\circ</math>, <math>D = 12 \text{ мм}</math>,  <math>l = 10 \text{ мм}</math>, <math>l_1 = 40 \text{ мм}</math></p>	$x = A + b; y = c - e;$ $A = l \sin 30^\circ;$ $b = \frac{D}{2} \cos 30^\circ;$ $c = l \cos 30^\circ;$ $e = \frac{D}{2} \sin 30^\circ$ $x_1 = (l + l_1) \sin 30^\circ + b;$ $y_1 = (l + l_1) \cos 30^\circ - e$ $x = 10,196 \text{ мм};$ $y = 5,66 \text{ мм};$ $x_1 = 30,196 \text{ мм};$ $y_1 = 40,3 \text{ мм}$	$A = 10 \cdot 0,5 = 5 \text{ мм}$ $b = 6 \cdot 0,866 = 5,196 \text{ мм}$ $c = 10 \cdot 0,866 = 8,66 \text{ мм}$ $e = 6 \cdot 0,5 = 3 \text{ мм}$

## **Лабораторное занятие № 9.**

# **ПРИМЕНЕНИЕ ХОЛОДНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Закрепление теоретических знаний, развитие навыков самостоятельного решения технологических и проектных задач по выбору оборудования, инструмента для холодного выдавливания деталей пресс-форм и штампов.

### **2. ПЕРЕЧЕНЬ ВЫПОЛНЯЕМЫХ ЗАДАНИЙ**

В соответствии с индивидуальными заданиями студентам необходимо выполнить следующий объем работы:

- 2.1. Изучить методические указания;
- 2.2. Ответить на контрольные вопросы;
- 2.3. Получить индивидуальное задание;
- 2.4. Выбрать технологическое оборудование;
- 2.5. Разработать планировку оборудования.

### **3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

#### **3.1. Технология и инструмент**

##### **3.1.1. Холодное выдавливание**

Холодное выдавливание является эффективным методом обработки глухих формующих полостей пресс-форм, штампов и другой оснастки. Эта операция заключается в том, что пуансон вдавливается в заготовку, образуя в ней полость, соответствующую конфигурации и рельефу рабочей части пуансона или матрицы.

Применяют три способа выдавливания: открытое, закрытое в обойме и полужакрытое.

При открытом выдавливании заготовку матрицы кладут на стол гидравлического пресса, и пуансон вдавливают в заготовку, не имеющую ограничений для радиального течения металла.

При этом значительная часть металла перемещается в радиальном направлении. Точность размеров, получаемая при выдавливании без обоймы, находится в пределах 5–7-го классов.

Выдавливание без обойм обычно применяют при изготовлении рабочих полостей малой глубины. Большая точность и четкость рельефа при холодном выдавливании получается, когда заготовку перед выдавливанием помещают в закаленную обойму.

При закрытом выдавливании (рис. 1) полость образуется в результате вытеснения материала заготовки в зазор, образованный мастер-пуансоном и обоймой. Такой способ обработки приводит к созданию в заготовке схемы напряженного состояния всестороннего неравномерного сжатия. При всестороннем (неравномерном) сжатии пластичность деформируемого материала наивысшая, благодаря чему закрытое выдавливание позволяет получить весьма глубокие (с отношением высоты к диаметру  $h/D = 3-4$ ) полости без опасности разрушения заготовки. Точность размеров при закрытом выдавливании находится в пределах 2-го качества точности. Потребное давление при закрытом выдавливании достигает больших значений (до  $350 \text{ кгс/мм}^2$ ). В настоящее время закрытым выдавливанием изготавливают полости площадью до  $80 \text{ см}^2$ . Основным фактором, ограничивающим применение закрытого выдавливания, является необходимость приложения весьма высоких давлений деформирования, превышающих допускаемые нагрузки на мастер-пуансон. При закрытом выдавливании допускается твердость заготовки более HB 150.

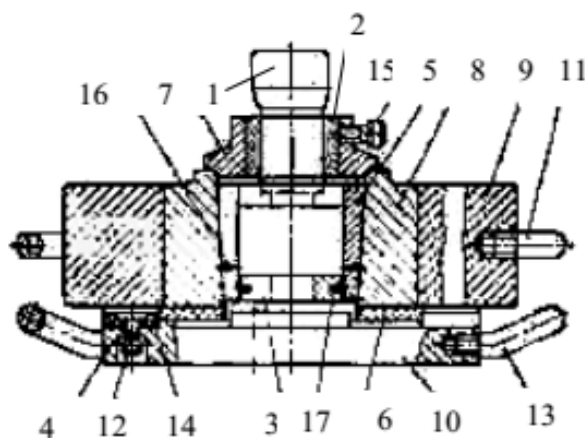


Рис. 1. Универсальный пакет-штамп для холодного выдавливания:

- 1 – давилник; 2 – втулка; 3 – приемник; 4 – болт;
- 5 – разрезное кольцо; 6 – вилка; 7 – направляющее кольцо;
- 8 – обойма; 9 – бандаж; 10 – подкладная плита; 11, 13 – ручки;
- 12 – гайка; 14 – резиновый буфер; 15 – винт; 16 – пружинное кольцо;
- 17 – пружинное кольцо приемника

Полузакрытое выдавливание характеризуется тем, что при вдавливании мастер-пуансона течение материала заготовки в стороны частично ограничено обоймой (на высоте 20–30 % больше глубины полости), в которую она заключена. При выдавливании по этому способу заготовки могут быть как сплошными, так и с облегчающими камерами. Этот способ целесообразно применять при изготовлении больших полостей с наклонными стенками, когда требуется получить поперечные размеры, с точностью по 3-му классу (9 качеству). Удельное давление при этом способе на 15–20 % меньше, чем при закрытом выдавливании. Твердость заготовки при полузакрытом выдавливании не должна превышать HB 140–150.

Применяется ряд способов снижения удельных давлений и сил выдавливания. Облегчение условий течения материала достигается за счет создания в заготовке или инструменте специальных полостей.

Материалом для матриц пресс-форм, изготавливаемых холодным выдавливанием, служат электротехническая сталь Ст3, аккумуляторная сталь А и малоуглеродистые стали 10 и 20. Исключительно высокой пластичностью обладает армко-железо, в котором можно получать методом выдавливания полости глубиной до 100 мм. Заготовки перед выдавливанием отжигают для снятия напряжения и повышения пластичности.

Для матриц пресс-форм со сложными полостями в качестве материала применяют легированные стали 12ХНЗА, 7ХЗ и 5ХНВА.

Матрицы высадочных чеканных штампов, изготовленные из конструкционно-углеродистых и легированных сталей, допускают глубину выдавливания 10–12 мм. Заготовка в плане должна иметь профиль, подобный наружной конфигурации матрицы. Размер заготовки берут в 2,5–3 раза больше ее глубины.

Основные размеры заготовки формообразующей детали определяют по размерам готовой матрицы с полостью по РТМ 113–63 или по формулам:

$$D = (1,8–2,5)d; H = h + (8–15). \quad (1)$$

Поверхность, на которой должна быть выдавлена полость шлифуют до шероховатости  $Ra = 0,32–0,63$  мкм и полируют до зеркального блеска. Область применения холодного выдавливания при изготовлении матриц пресс-форм и штампов ограничивается величиной удельного давления на мастер-пуансон. Необходимая сила холодного выдавливания

$$P = qFK_0, \quad (2)$$

где  $q$  – давление, кгс/мм<sup>2</sup>;  $K_0$  – коэффициент, принимаемый 0,8–0,9 в зависимости от формы облегающей камеры;  $F$  – площадь проекции выдавливаемой полости, мм<sup>2</sup>.

Давление в процессе холодного выдавливания зависит от целого ряда факторов, из которых важнейшими являются механические свойства материала заготовки, относительная глубина выдавливания (отношение глубины выдавливания к диаметру полости) геометрическая форма пуансона и рельеф его торца, вид процесса (выдавливание в обойме, свободное выдавливание), соотношение размера заготовки и выдавливаемой полости и т. д.

По экспериментальным данным давление при холодном выдавливании углеродистых сталей составляет 120–130 кгс/мм<sup>2</sup>, инструментальных сталей 250–350 кгс/мм<sup>2</sup>.

В табл. 1, 2 приведены значения давлений при открытом и полузакрытом выдавливании.

Таблица 1

Давления (кгс/мм<sup>2</sup>) для различных материалов при открытом и закрытом выдавливании без облегчающих камер

h/d	Сталь							
	армико- железо (HB 80–105)		10, 15, Ст3 (HB 100–120)		20 (HB 120–150)		35, 12ХН3А (HB 150–180)	
	Выдавливание							
	от- кры- тое	полу- закры- тое	откры- тое	полуза- крытое	откры- тое	полуза- крытое	от- кры- тое	полуза- крытое
0,2	100	120	120	140	130	150	150	180
0,3	110	130	130	160	140	160	160	190
0,4	120	140	140	170	150	170	170	200
0,5	130	150	150	180	160	180	180	210
0,6	140	160	160	180	180	200	190	220
0,7	150	170	170	190	190	210	200	230
0,8	160	180	180	200	200	220	–	–
0,9	170	190	190	210	210	230	–	–
1,0	180	200	200	220	220	240	–	–
1,2	190	210	210	230	–	–	–	–
1,4	200	220	–	–	–	–	–	–

Таблица 2

Значения отношений  $h/d$  и  $h\sqrt{ab}$ 

Отношение	Сталь				
	Э и А	10	20	У10А	7Х3
$h/d$	2	1,6	1,2	0,6	0,3
$h/\sqrt{ab}$	1,5	1,2	0,9	0,4	0,2

*Примечания:*

1. Для длинных и узких полостей вместо отношения  $h/d$  следует принимать отношение  $h/c$ , где  $c$  – средняя ширина полости ( $c = \frac{a+b}{2}$ ).

2. Для пуансона, сечение которого – многоугольник с числом сторон не менее четырех, за  $d$  следует принимать диаметр описанной окружности.

3. Указанные значения относятся к пуансонам с плоским торцом. Если торец пуансона имеет сложный рельеф, то табличные значения необходимо увеличить на 20–30 %.

Для основных способов холодного выдавливания (закрытого, полузакрытого, открытого) расчетная сила сжатия в рабочем сечении ассиметричного мастер-пуансона с плоским торцом определяется по формуле:

$$q = ABH \left( \frac{h_n}{d_m} \right)^n K_1 \quad (3),$$

где  $h_n$  и  $d_m$  – соответственно глубина и диаметр выдавливаемой полости;  $A$  и  $n$  – коэффициенты, учитывающие влияние способа выдавливания на силовой режим процесса (табл. 3);  $K_1$  – коэффициент формы рабочего торца мастер-пуансона, определяемый приближенно по табл. 4.

Таблица 3

Значения  $A$  и  $n$ 

Выдавливание	Облегчающие камеры	$A$	$n$
Закрытое	Без камеры	0,0216	0,18
	Нижняя или угловая	0,0177	0,19
	Приемник	0,0210	0,265
Полузакрытое	Без камеры	0,0184	0,144
	Нижняя	0,0141	0,10
	Сквозная	0,0162	0,52

Таблица 4

Значения коэффициента  $K_1$ 

Форма полости в осевом сечении	Форма полости в плане			
	круг	многогранник	прямоугольник	
	$a_n=1$	$a_n<1,42$	$a_n<2$	$a_n>2$
Конус	0,84	0,88	0,92	0,96
Сфера	0,88	0,92	0,95	1,00
Закругленная	0,94	1,00	1,03	1,05
Плоская	1,0	1,05	1,08	1,12
Вогнутая	1,12	1,17	1,21	1,25

Мастер-пуансон изготавливается из стали, обладающей хорошей обрабатываемостью, малой деформацией при термической обработке и достаточным сопротивлением сжатию (300 кгс/мм<sup>2</sup>).

Для неглубоких полостей простой формы применяют сталь У10А. Для полости с площадью поперечного сечения до 400 мм<sup>2</sup>.

С глубиной не менее  $(15-20)d$  обтекаемой формы с наличием боковых накаток, цифр, букв, штампов для чеканных работ применяют мастер-пуансоны из стали Х12.

Для полостей сложной формы (с острыми оформляющими углами, со ступенчатым профилем) и для матриц из легированных сталей мастер-пуансоны изготавливают из сталей марок Х12Ф1 и Х12М.

Заготовки пуансонов рекомендуется подвергать многократной ковки. Твердость пуансонов после закалки и отпуска должна быть в пределах HRC 59–61. Исполнительные размеры выбирают того же класса точности, что и полости матрицы, но с отрицательным допуском для диаметральных размеров и положительным допуском на высотные размеры.

### 3.1.2. Горячее и полугорячее выдавливание

При изготовлении матриц пресс-форм и штампов средних и крупных размеров из инструментальных и легированных сталей требуются прессы с большим усилием, но если при этом заготовки нагревают, то усилие уменьшается в 5–10 раз по сравнению с усилием, требуемым для холодного выдавливания. Поверхность, на которой должна быть выдавлена полость перед нагревом, также шлифуют. Нагрев желательно вести в печи с нейтральной атмосферой.

Для предотвращения образования окалины при нагреве в пламенных печах поверхность заготовки засыпают порошком древесного

угля и накрывают железным листом размером больше размера заготовки.

После нагрева лист снимают, поверхность заготовки очищают металлической щеткой, выдавливают полость и затем отштампованную заготовку покрывают порошком древесного угля и помещают в песок для медленного охлаждения. Фигуру остывшей матрицы зачищают и калибруют мастер-пуансоном в холодном состоянии.

Точность размеров рабочей полости при таком способе изготовления соответствует 3–5-му классам, шероховатость поверхности  $Ra = 0,32\text{--}2,5$  мкм.

Горячее выдавливание осуществляется на кривошипном или фрикционных прессах. Мастер-пуансон для горячего выдавливания изготавливают из сталей X12Ф, X12ТФ, 3X2B8Ф, 4X5B2ФС и P18.

Если возможности безокислительного нагрева отсутствуют, то для обработки полостей матриц, имеющих сложную рабочую поверхность, можно применять полугорячее выдавливание. При полугорячем выдавливании процесс происходит при температуре рекристаллизации, т. е. в интервале температур  $400\text{--}800$  °С, когда прочность материала резко падает. При температуре больше  $500$  °С можно снизить удельные давления на  $40\text{--}70$  % при выдавливании сталей У10А, ХВГ, X12М, 5ХВ2С и др. При температуре  $650$  °С окалина не образуется.

Наиболее подходящим материалом для мастер-пуансона являются стали 3X2B8 и P18, сохраняющие достаточную твердость при нагреве до  $650$  °С, и до  $400\text{--}500$  °С. Рекомендуемая твердость мастер-пуансона из стали 3X2B8 HRC 55–57.

При изготовлении полостей с высокой точностью необходимо учитывать тепловое расширение заготовки и мастер-пуансона.

На пуансон наносят слой меди, а затем дисульфидмолибденовой смазки при температуре нагрева ниже  $700$  °С или графита при температуре выше  $700$  °С.

### **3.2. Технологическое оборудование и планировка участка**

Оборудование для холодной штамповки разделяется на механическое и гидравлическое.

Механические вертикальные прессы для холодной штамповки изготавливают с номинальным усилием  $0,63\text{--}40$  МН, длиной хода ползуна  $100\text{--}400$  мм и числом ходов от 10 до 250 в минуту. Эти прес-



сы обычно применяют для штамповки относительно простых деталей за один переход: осадка, чеканка, прямое, обратное или комбинированное выдавливание. В качестве главного исполнительного механизма используются кривошипно-шатунный (обычно эксцентрикового типа) и кривошипно-коленный механизмы.

Гидравлические прессы для холодного выдавливания рельефов и штампов, и пресс-форм целесообразно применять в мелкосерийном производстве для изготовления разнотипных по размерам деталей с усилием до 40 МН и небольшими скоростями выдавливания.

Они изготавливаются в вертикальном и горизонтальном исполнении, с усилием от 0,4 МН (П7636) до 25 МН (П<sub>0</sub>443А и П7644).

К недостаткам гидравлических прессов относятся: задержка в движении ползуна при контакте пуансона с заготовкой, длительность которой зависит от продолжительности периода наращивания давления до значений, достаточных для продолжения рабочего хода; малая быстроходность и экономичность в работе, чем механические прессы.

Основные технические характеристики оборудования для холодного и горячего выдавливания приведены в ведомости технологического оборудования (приложение 1). Планировка типового участка холодного выдавливания приведена в приложении 2.

## **4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

4.1. Назовите основные способы холодного выдавливания.

4.2. Какие материалы применяются для холодного выдавливания?

4.3. Из какого материала изготавливают мастер-пуансоны для холодного выдавливания?

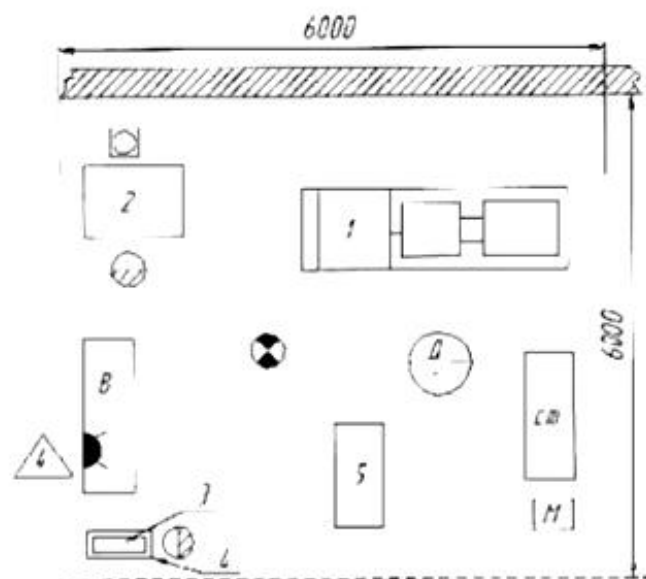
4.4. Назовите основные типы оборудования для холодного выдавливания.

## Приложение 1

## Ведомость технологического оборудования

№ п/п	Наименование	Тип, модель	Технические характеристики	Габариты, мм	Завод-изготовитель	Применение
1	2	3	4	5	6	7
1	Пресс гидравлический	П 7640	Усилие 1000	4300×1200×4	Одесское ПО «Прессмаш»	Для холодного выдавливания
2	Пресс гидравлический	П 7644	Усилие 2500	4500×1300×4		Для холодного выдавливания
3	Пресс гидравлический	П 2940	-	5500×2800×3700		Для холодного выдавливания
4	Пресс	П <sub>о</sub> 545	Усилие 25 МН	-		Для горячего и полугорячего выдавливания

## Приложение 2



Оборудование:

1. Пресс П7644
2. Полировально - шлифовальный двухсторонний станок 3Б852
3. Прибор для измерения твердости ТШ-2М
4. Стол приставной РЧ - 68 - 86
5. Тележка РЧ - 68 - 135

Условные обозначения

- Числитель - категория производства по пожарной опасности (СНИП 90 S1)  
Знаменатель - класс взрыво- и пожароопасности помещения по ПУЭ
- Стеллаж
- Верстак
- Мусоросборник
- Переменное рабочее место
- Рабочее место многостаночника
- Сжатый воздух
- Местный вентиляционный отсос
- Местное освещение 36В

Примечание. При наличии крана-балки поз.5 не требуется

## **Лабораторное занятие № 10. ПРИНУДИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ В АБРАЗИВНОЙ МАССЕ**

### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

- 1.1. Изучение специфики процесса обработки деталей свободным абразивом.
- 1.2. Приобретение практических навыков обработки деталей.
- 1.3. Обработка результатов проведенных экспериментов.

### **2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

В современном машиностроении одним из важных методов обработки являются чистовые (финишные) операции, в процессе которых окончательно формируются качественные характеристики поверхностного слоя деталей, которые в большинстве случаев и обуславливают эксплуатационные свойства деталей. Так как многие детали отличаются сложностью форм, финишные или чистовые виды обработки на металлорежущих станках в большинстве случаев затруднены. Поэтому при выполнении финишных операций значительный объем шлифовальных и полировальных работ выполняется вручную. Однако ручные операции не обеспечивают стабильного качества поверхностного слоя. Механизировать выполнение отделочных операций можно путем применения методов обработки деталей свободным абразивом, которые находят все большее применение в отечественном и зарубежном машиностроении.

К методам обработки свободным абразивом относятся:

- абразивная обработка в струе жидкости,
- абразивная обработка в струе газа,
- виброабразивная обработка,
- магнитоабразивная обработка,
- принудительная обработка свободным абразивом и др.

Отличительной особенностью данных методов обработки является то, что абразив находится в свободном, несвязанном состоянии. При обработке деталей этими способами происходит их соударение между собой, со стенками и дном контейнера и абразивным наполнителем при взаимных перемещениях под воздействием планетарного вращения контейнера, простого вращения либо вибраций.

Финишные методы обработки, как видно из изложенного выше, отличаются разнообразием форм и видов абразивного воздействия, наличием сопутствующих факторов, влияющих на съём металла и качество поверхностного слоя, степенью механизации и другими факторами. У каждого из перечисленных методов имеются определенные достоинства и недостатки, учитывая которые выбирают область оптимального применения методов.

Одним из наиболее широко применяемых способов является обработка свободной массой абразива (галтовка). Таким способом чаще всего обрабатываются мелкие детали. Сущность способа заключается в том, что обрабатываемые детали вместе с абразивным материалом загружаются в барабан (контейнер), которому затем сообщается вращательное движение. В процессе хаотического движения абразивной массы и детали происходит относительное перемещение абразивных частиц и поверхности, в результате чего происходит обработка. Но галтовка имеет невысокую производительность, поэтому в случае необходимости интенсификации процесса применяют метод принудительной обработки деталей в абразивной массе. Отличительной чертой данного метода является то, что обрабатываемая деталь в абразивной массе находится не в свободном состоянии, а закрепляется на специальной оправке и имеет возможность совершать либо вращательные, либо поступательные движения внутри массы абразива.

Таким образом, благодаря вращению барабана и принудительному движению детали, создаются сложные траектории перемещения абразивного материала, обеспечивающие высокую интенсивность и качество обработки.

Схема реализации данного метода приведена ниже.

### **3. ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ**

3.1. Смесительная установка (ее кинематическая схема представлена на рис. 1);

3.2. Абразивный материал различной зернистости;

3.3. Комплект обрабатываемых образцов;

3.4. Аналитические весы.

Вращение чаши 1 посредством клиноременной передачи, заимствуется от электродвигателя  $M_1$ , выходной вал которого через эластичную муфту 2 соединен с редуктором 3.

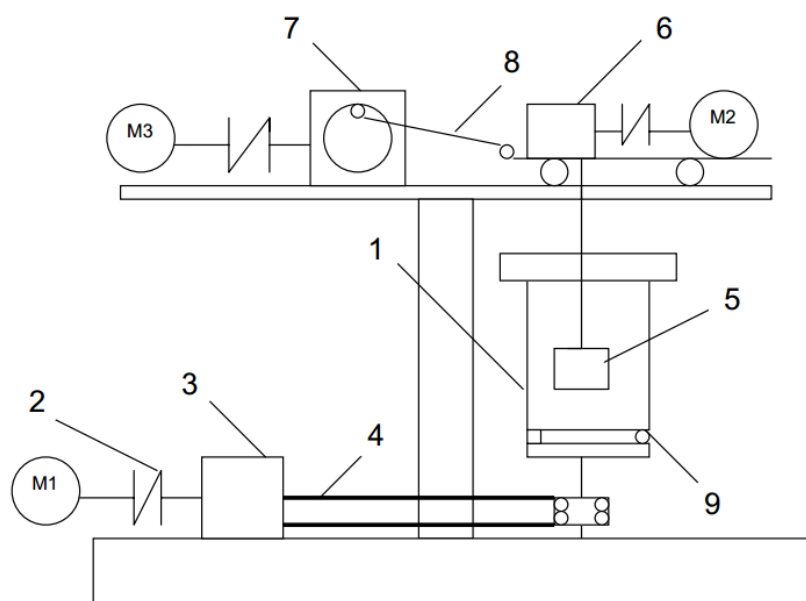


Рис. 1. Кинематическая схема установки

Вращение лопасти 5 осуществляется от отдельного электродвигателя  $M_2$  через червячный редуктор 6. Возвратно-поступательное перемещение лопасти обеспечивается двигателем  $M_3$  через редуктор 7 благодаря кривошипно-шатунному механизму 8. Для обеспечения выгрузки материалов предусмотрена возможность поворота чаши на шарнирах 9 на 120 градусов.

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Предусматривается определение следующих зависимостей:

1. Зависимость интенсивности съема металла от времени обработки;
2. Влияние зернистости абразива на съем металла;
3. Зависимость съема металла от материала обрабатываемого образца;
4. Зависимость степени очистки детали от времени обработки.

Выбор характеристик для оценки интенсивности съема металла осуществляется по усмотрению преподавателя.

##### 4.1. Зависимость интенсивности съема металла от времени обработки

Суть метода заключается в определении величины  $\Delta m$  – разницы массы образца до обработки и после. По данной величине судят об интенсивности съема металла. Этапы выполнения работы:

1. Взвесить образец;

2. Закрепить образец на лопасти;
3. Засыпать абразив в чашу смесителя;
4. Включить приводы вращения чаши, вращения лопасти и возвратно-поступательного перемещения лопасти;
5. Провести обработку в течение времени  $t = 2$  мин;
6. Взвесить образец и определить величину  $\Delta m = m - m_n$ , где  $m$  – масса образца до обработки,  $m_n$  – после.

Затем следует повторить действия, указанные в п. 5 и 6 не менее 5 раз (для построения графика).

По полученным в ходе эксперимента значениям построить график в координатах  $\Delta m, t$  (рис. 2).

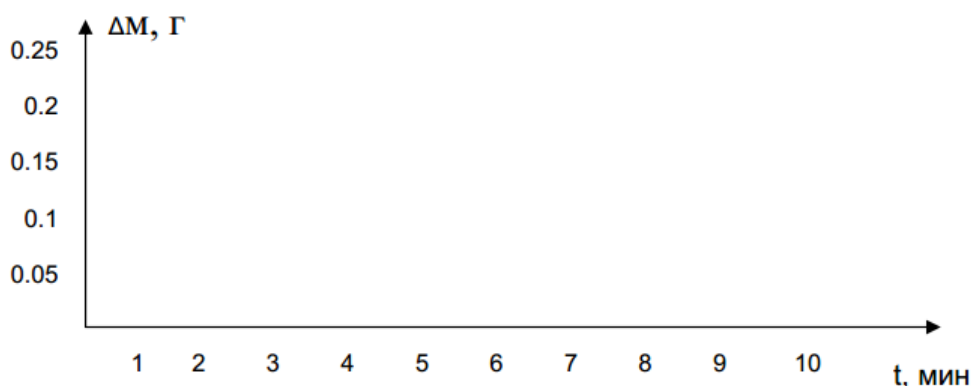


Рис. 2. Влияние времени обработки на съем металла

#### 4.2. Влияние зернистости абразива на съем металла

На данном этапе проводится обработка образца в абразивной массе из зерен различной зернистости (32, 50, 60, 125). Алгоритм выполнения работы аналогичен предыдущему опыту. Как и прежде, необходимо определить величину  $\Delta m$  образца при его обработке в абразивной массе каждой отдельно взятой зернистости.

Для всех зернистостей время обработки постоянное 8–10 мин. Далее строится зависимость  $\Delta m$  от номера зернистости в виде столбцовой диаграммы (рис. 3). Здесь также полезно визуально или с помощью шаблонов оценить чистоту обработанной поверхности образца при его обработке абразивом различной зернистости.

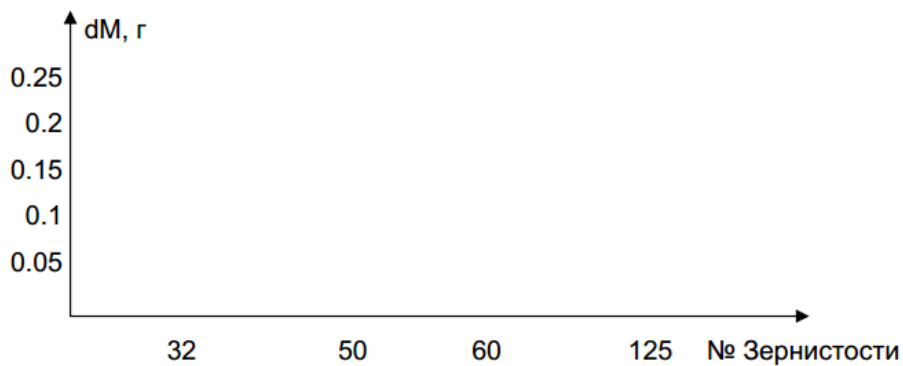


Рис. 3. Влияние зернистости абразива на съем металла

#### 4.3. Зависимость съема металла от обрабатываемого материала

Проводится обработка образцов из сталей различных марок (например, У7, Ст 3, 40Х). Марка абразива и время обработки образцов – одинаковые. По окончании обработки строится диаграмма зависимости  $\Delta m$  от обрабатываемого материала (рис. 4).

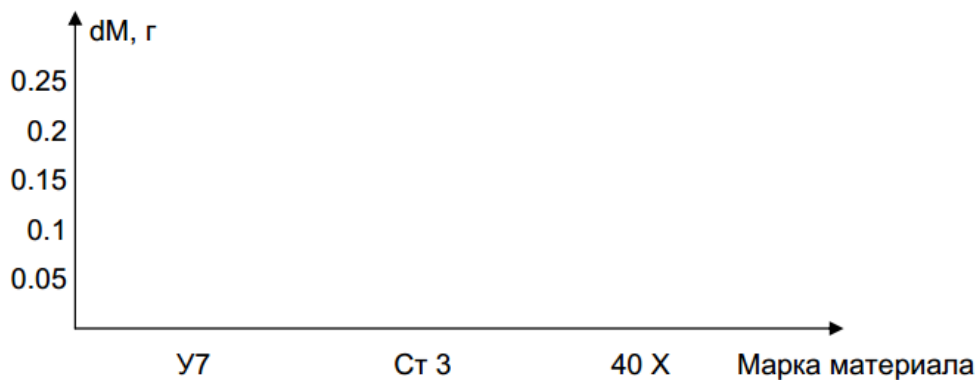


Рис. 4. Зависимость съема металла от обрабатываемого материала

#### 4.4. Зависимость степени очистки детали от времени обработки

Проводится обработка заведомо загрязненных (ржавых) деталей, оценивается чистота получаемой поверхности. Через равные интервалы времени  $\Delta t \approx 1 \div 2$  мм визуально оценивается чистота обработанной поверхности и строится график зависимости степени очистки деталей (в процентах) от времени обработки (рис. 5).



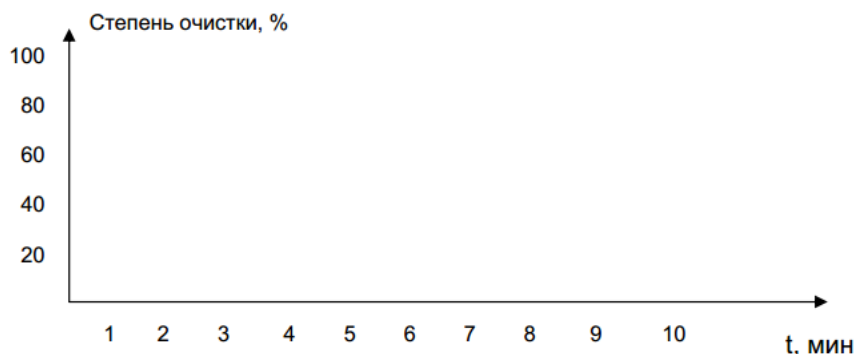


Рис. 5. Степень очистки детали от времени обработки

## 5. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

Отчет пишется на одной стороне листов бумаги формата А4. В отчет должны быть включены зависимости, построенные согласно п. 4. Отчет контролируется и подписывается преподавателем.

### Лабораторное занятие № 11. ПРИТИРКА ДЕТАЛЕЙ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель данной работы – освоение студентами теоретических основ процесса притирки, а также практических приемов ее выполнения.

#### 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССЕ ПРИТИРКИ

##### 2.1. Основные характеристики процесса притирки

**Притирка (доводка)** – процесс окончательной чистовой механической обработки материалов. Притиркой могут быть достигнуты следующие параметры обработанной поверхности: шероховатость по  $R_z$  до 0,01 мкм, отклонения формы и расположения поверхностей до 0,05 мкм. Особая разновидность притирки – доводка – дополнительно позволяет получить точность размеров изделия по 2–3 качеству точности.

По сравнению с другими методами чистовой обработки притирка обеспечивает наивысшие показатели обработанной поверхности, но в то же время она оказывается наименее производительной по

причине малого съема материала и значительного количества промежуточных переходов. Вследствие этого притирка эффективна для обработки высокоточных поверхностей небольшой площади на изделиях из любых материалов (рабочих поверхностей мерительного инструмента, фасок седел клапанов гидроаппаратуры, мелких изделий из керамики, кристаллов полупроводников и т. п.).

Сущность процесса притирки состоит в съеме материала с обрабатываемой поверхности изделия (рис. 1, поз. 2) посредством рабочего инструмента – притира (рис. 1, поз. 1).

Притир имеет рабочую поверхность, в которую вдавлены (шаржированы) зерна абразивного материала (рис. 1, поз. 3). В процессе взаимного перемещения изделия относительно притира при контакте рабочей поверхности притира с изделием зерна абразива снимают микростружки с обрабатываемой поверхности (рис. 1, поз. 4).

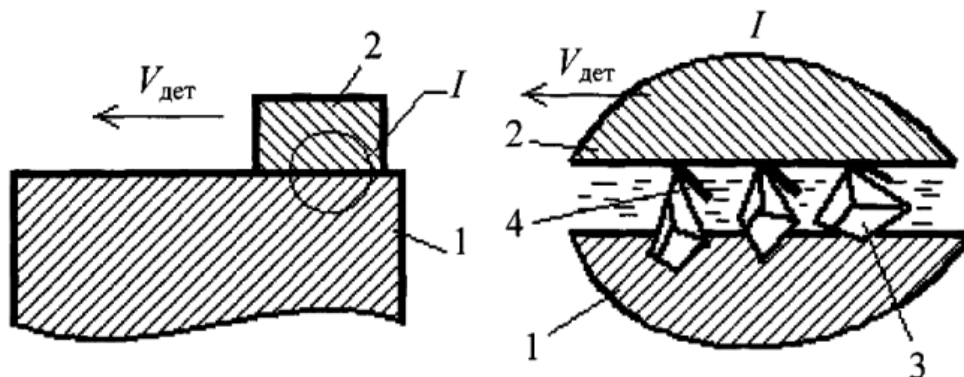


Рис. 1. Сущность процесса притирки

## 2.2. Разновидности притирки, их особенности, классификация, области применения

### 2.2.1. Кинематика процесса

Для осуществления притирки необходимо наличие относительного перемещения сопряженных поверхностей притира и изделия, а также их прижим друг к другу с некоторой постоянной силой. В зависимости от способа приведения в движение притира и изделия различают ручную, машинно-ручную и машинную притирку.

Качество и стабильность результатов обработки при ручной (машинно-ручной) притирке хуже, чем при машинной, но тем не менее она применяется в единичном производстве, для изделий с труднодоступными или фасонными поверхностями. Ручным способом также притираются мелкие изделия, которые вручную прижимаются и перемещаются по поверхности неподвижного притира.

Машинно-ручным способом обрабатываются более крупные изделия, особенно при притирке поверхностей вращения. Изделие закрепляется на любом подходящем оборудовании (например, на токарном станке) и приводится им в движение, а прижим притира и перемещение его вдоль поверхности изделия осуществляются вручную.

Машинная притирка позволяет достичь наилучшей точности и стабильности результатов обработки. Данным способом обрабатываются большие партии однотипных изделий или изделия с плоской поверхностью большой площади. Процесс притирки осуществляется на специальном оборудовании – притирочно-доводочных станках, которое приводит в движение притир и изделие и обеспечивает их постоянный прижим друг к другу.

В настоящее время выпускается обширная гамма притирочных станков – модели 3803, 3805, 3809, 3813Б, 3Б814, 3Е816, 3Д817 и прочие. Эти станки различаются между собой кинематикой обработки, формой обрабатываемой поверхности изделия, количеством одновременно притираемых изделий и прочими характеристиками.

Притир (рис.2, поз. 1) обрабатывает изделие (рис.2, поз. 2), установленное в приспособлении (рис.3, поз. 3), причем одновременно обработке может подвергаться несколько мелких изделий.

В процессе обработки в движение приводятся как изделие, так и притир – это позволяет снизить шероховатость обработанной поверхности и получить равномерный износ всей поверхности притира.

В большинстве случаев рабочая поверхность притира полностью перекрывает поверхность изделия, что позволяет обойтись без движения подачи, в противном случае необходимо перемещение притира вдоль обрабатываемой поверхности.

При притирке мелких деталей в серийном производстве выгодно обрабатывать их по несколько штук одновременно. Для их установки на станке применяют специальные многопозиционные обоймы. Изделия определенных форм (например, шарики) можно обрабатывать между двумя притирами без крепления, что существенно повышает производительность процесса.

В зависимости от требуемых параметров обработки крепление притира и изделия на станке может быть либо жестким, либо шарнирным (плавающим). Во втором случае притир может самоустанавливаться по обрабатываемой поверхности.

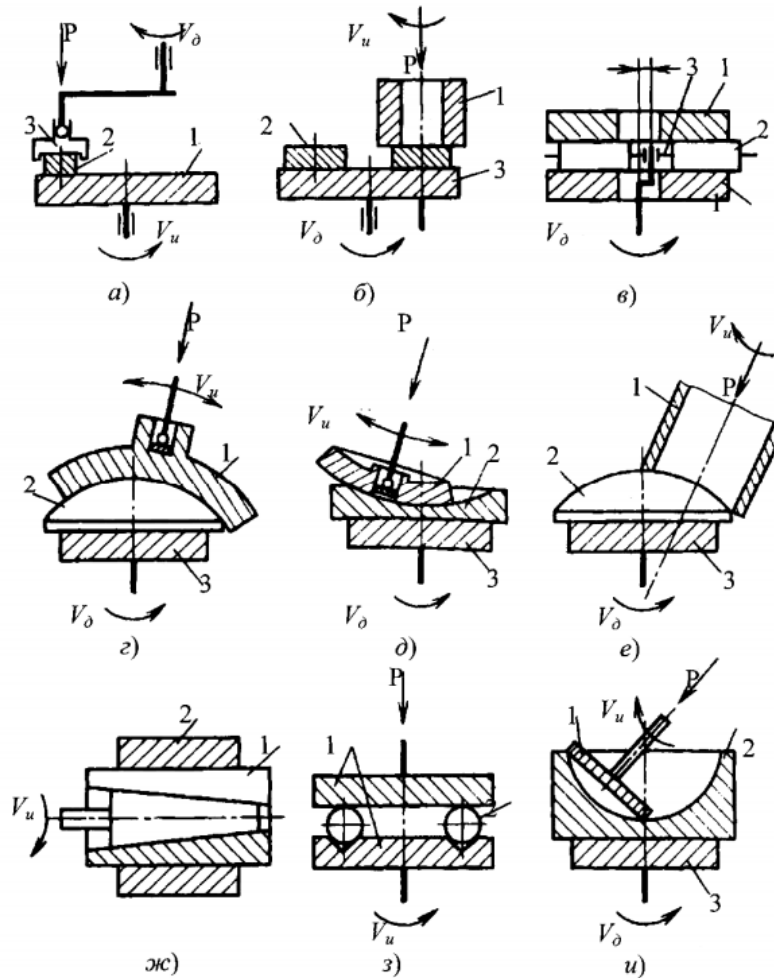


Рис. 2. Разновидности машинной притирки

### 2.2.2. Притиры

При выборе материала притира руководствуются следующими соображениями:

- материал притира (или какая-либо его структурная составляющая, как для чугуна) должен быть мягче, чем материал изделия, для обеспечения шаржирования притира абразивом;
- адгезия между материалами притира и изделия должна быть минимальной;
- притир во время работы должен подвергаться минимальному износу.

В настоящее время наиболее широко применяют притиры из серого чугуна, стали, оптического стекла, твердых пород дерева, цветных металлов и специальных пластмасс. Практически материал притира в каждом конкретном случае выбирается в зависимости от обрабатываемого материала.

На характеристики обработанной поверхности изделия существенное влияние оказывают такие параметры рабочей поверхности притира, как точность ее формы и шероховатость. Поэтому при изготовлении притиров их рабочие поверхности подвергаются точной обработке.

Машинные притиры изготавливают весьма массивными и жесткими с целью минимизации искажения формы их рабочей поверхности от сил прижима и тепловых деформаций. Чугунные притиры выполняются преимущественно цельными, притиры из прочих материалов – сборными с механическим креплением рабочих вставок. Конструкции ручных притиров значительно более разнообразны.

### 2.2.3. Притирочные пасты

Для удобства работы зерна абразива, являющиеся режущими элементами в процессе притирки, связывают в специальные субстанции – мазеобразные или твердые притирочные пасты и жидкие притирочные суспензии. Добавка в эти субстанции специальных активных веществ также позволяет интенсифицировать процесс обработки.

Абразивный материал составляет не более 40 % по массе в абразивной суспензии (пасте). Для притирки применяются мелкозернистые абразивы зернистостью от М40 и мельче. Все применяемые в данном процессе абразивные материалы можно разделить на 3 группы:

- сверхтвердые материалы (алмаз и эльбор);
- искусственные абразивные материалы (электрокорунды и др.);
- материалы для тонкой притирки с низкой абразивной способностью (окись хрома, трепел, крокус и др.).

В притирочные суспензии (пасты) также добавляются в небольшом количестве (3–5 % по массе) поверхностно-активные или химически активные вещества. Эти добавки облегчают процесс удаления припуска, повышая производительность процесса. Поверхностно-активные вещества действуют за счет адсорбционного эффекта, а химически активные – за счет перевода обрабатываемого мате-

риала в его менее прочные химические соединения. Состав добавок к рабочей субстанции определяется видом обрабатываемого материала.

Основной объем притирочной суспензии (пасты) составляет нейтральное связующее вещество. Для притирочных паст применяются связующие композиции на основе вазелина или парафина различной консистенции, для суспензий – минерального масла для обработки металлов или водно-глицериновой смеси для обработки хрупких неметаллических материалов.

#### **2.2.4. Шаржирование притиров**

Существует два подхода к шаржированию зерен абразива в притир – предварительное шаржирование или шаржирование в процессе работы.

В первом случае абразив накатывают на рабочую поверхность притира специальным инструментом (например, роликом), имеющим высокую твердость, во втором – притир шаржируется сам при работе за счет своей более высокой твердости, чем материал изделия.

При работе притира зерна абразива разрушаются и теряют режущую способность, а также расходуются активные вещества в составе пасты, что приводит к падению производительности обработки.

Поэтому необходимо периодически возобновлять рабочую субстанцию на притире. При его предварительном шаржировании пасту наносят перед самой операцией шаржирования. При шаржировании в процессе работы – пасту наносят на рабочую поверхность притира периодически, а жидкую суспензию равномерно и непрерывно подают на нее посредством специального приспособления.

#### **2.2.5. Выбор параметров процесса притирки**

Производительность процесса притирки весьма невелика, причем чем выше производительность, тем хуже получаются характеристики обработанной поверхности, и наоборот. Поэтому процесс ведут в несколько стадий, изменяя параметры притирки так, чтобы сначала получить максимальную производительность, а в конце – максимальную точность и чистоту поверхности. Для обеспечения наилучших характеристик притирку ведут в четыре стадии: предварительная, получистовая, окончательная, тонкая; но при меньших требованиях часть стадий обработки можно сократить.

Вид абразивного материала и состав пасты (суспензии) выбирают в зависимости от обрабатываемого материала и его механических характеристик. Помимо этого, для тонкой стадии может выбираться абразив с низкой абразивной способностью.

Зернистость абразива в составе пасты последовательно снижается от М40 в предварительной стадии до М1 в тонкой. Давление в контакте притира с деталью также последовательно снижается от 200 кПа в предварительной стадии до 10 кПа в тонкой. Помимо этого, на величину контактного давления влияют конфигурация изделия и его материал. Скорость главного движения принимают порядка 40 м/мин для предварительной притирки и снижают до 6 м/мин – для тонкой.

Способ предварительного шаржирования наименее производительен и используется в тонкой стадии притирки. Для прочих стадий используется шаржирование при работе, причем способ с непрерывной подачей суспензии наиболее подходит для предварительной стадии.

Доводка осуществляется исключительно машинным способом, причем для получения высокой точности доводимого размера необходимо жесткое крепление изделия и притира на станке. Собственно притирка может осуществляться любым способом, причем при машинной притирке лучше применять плавающее крепление притира (детали), чтобы не вносить дополнительных искажений формы поверхности изделия.

Начальный припуск под притирку оставляется не более 0,05 мм, и по мере прохождения стадий процесса он уменьшается до 0,002 мм для тонкой стадии. При одновременной обработке нескольких изделий необходимо следить, чтобы припуски на обработку у притираемых деталей в одной партии различались между собой не более чем на треть.

### **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

3.1. Получить у преподавателя оборудование: притир со сменными рабочими вставками, образцы с основанием, профилограф-профилометр и набор притирочных паст.

3.2. Подготовить таблицу для записи результатов измерений.

Вес притира:

Вес одного груза:

Диаметр образца:

Число оборотов шпинделя:

Состав притирочной пасты:

№	Зернистость	Контактное давление, г/мм <sup>2</sup>	Время обработки, мин	R <sub>a</sub> , мкм
1	Z <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	0	R <sub>a(нач)</sub>
...			...	...

3.3. В данной работе процесс притирки реализуется на вертикально-сверлильном станке модели 2Н135. Схема наладки оборудования показана на рис. 3. Установить основание (рис.3, поз. 8) в тиски (рис.3, поз. 9), установленные на столе станка.

3.4. Выбрать интервал замеров шероховатости  $\tau$  (рекомендуется  $\tau = 2-5$  мин). Выбрать и записать в заголовок таблицы постоянные параметры процесса.

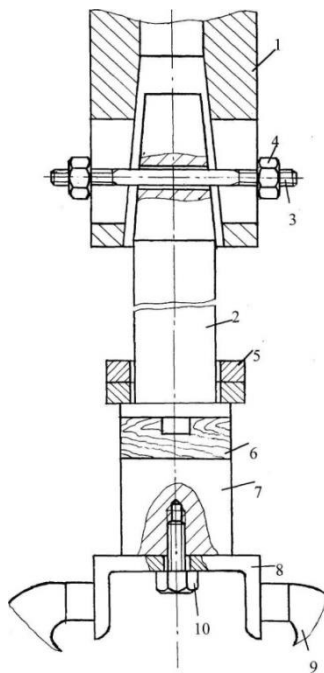


Рис. 3. Схема наладки притира

3.5. Взять образец (рис.3, поз. 7), измерить начальную шероховатость его торца R<sub>a(нач)</sub> профилометром и записать ее в таблицу. При измерении шероховатости поверхности образца для большей точности производить его 3 раза в разных местах и за результат принимать среднее арифметическое трех измерений.

3.6. Установить образец на основание, закрепив его болтом (рис.3, поз. 10). При первом закреплении образца проверить совпаде-



ние его оси с осью шпинделя станка (рис.3, поз. 1). При видимом несовпадении переустановить тиски соответствующим образом.

3.7. Закрепить на притире (рис.3, поз. 2) тремя винтами рабочую вставку (рис.3, поз. 6). Надеть на притир 2–3 сменных груза (рис.3, поз. 5) для создания контактного давления.

3.8. Рассчитать давление в контакте притира с образцом

$$P_1 = \frac{4(kp + P_{\text{пр}})}{\pi D^2}, \text{ г/мм}^2, \quad (1)$$

где  $k$  – число грузов;  $p$  – вес одного груза, г;  $P_{\text{пр}}$  – вес притира со вставкой, г;  $D$  – диаметр образца, мм.

Занести величину давления в таблицу.

3.9. Поднять шпиндель станка в крайнее верхнее положение и установить в него притир с грузами, закрепив его шпилькой (рис.3, поз. 3) и гайками (рис.3, поз. 4).

3.10. Нанести на рабочую поверхность вставки притирочную пасту, записав ее зернистость в таблицу.

3.11. Опустить притир на образец таким образом, чтобы реализовать его плавающее крепление. Шпиндель должен передавать на притир только крутящий момент посредством шпильки, не касаясь его хвостовика.

3.12. Включить вращение шпинделя и производить обработку образца в течение времени  $\tau$ .

3.13. Выключить вращение шпинделя. Поднять шпиндель с притиром. Снять образец и протереть его обработанную поверхность мягкой тканью. Измерить ее шероховатость (параметр  $R_a$ ) профилометром.

Занести в таблицу шероховатость и время, прошедшее с начала обработки.

3.14. Установить образец на основание. Добавить небольшое количество притирочной пасты на рабочую поверхность притира.

3.15. Повторять пп. 3.11–3.14 пока шероховатость образца не перестанет уменьшаться в течение 3–4 интервалов.

3.16. Повторить пп. 3.5–3.15, увеличив в 2–2,5 раза количество грузов на притире, рассчитав новое контактное давление и взяв новый образец.

3.17. Повторить пп. 3.5–3.16, взяв притирочную пасту другой зернистости и сменив рабочую вставку притира (при каждом изменении параметров брать новый образец). Все данные заносить в таблицу.

3.18. Построить в одной системе координат графики зависимости шероховатости обработанной поверхности образца для всех четырех случаев обработки.

3.19. Сделать выводы о зависимости производительности притирки и шероховатости обработанной поверхности от зернистости абразива и контактного давления.

## **4. ОБОРУДОВАНИЕ**

4.1. Притир с набором сменных вставок, грузов и крепежа.

4.2. Основание с набором образцов для обработки.

4.3. Набор притирочных паст различной зернистости.

4.4. Профилограф-профилометр осязательного типа для измерения шероховатости.

4.5. Мягкая хлопчатобумажная ткань для протирки обработанной поверхности перед измерением шероховатости.

## **5. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ**

Все измерения и расчеты произвести в соответствии с вышеприведенной методикой. Отчет выполнить на отдельных листах формата А4. Отчет проверяется и подписывается преподавателем.

## **6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

6.1. Дать определение притирки и перечислить ее особенности.

6.2. Что такое шаржирование?

6.3. Что такое доводка?

6.4. Классификация разновидностей притирки по способу приведения в движение притира и детали.

6.5. Способы шаржирования притира.

6.6. Что такое «плавающее» крепление притира?

6.7. Из каких материалов изготавливаются притиры и почему?

6.8. Притирочные пасты (суспензии) – состав, классификация, способы подачи в зону обработки и особенности применения.

6.9. Каким образом выбираются параметры процесса притирки – давление, скорость и прочие.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная литература

1. Металлорежущие станки : учебник : в 2 т. Т. 2 / В. В. Бушуев, А. В. Еремин, А. А. Какойло, В. М. Макаров. – Москва : Машиностроение, 2011. – 586 с. – ISBN 978-5-94275-595-9. – URL: <https://e.lanbook.com/book/3317> (дата обращения: 17.04.2025).

2. Металлорежущие станки : учебник : в 2 т. Т. 1 / Т. М. Аврамова, В. В. Бушуев, Л. Я. Гиловой, С. И. Досько ; под редакцией В. В. Бушуева. – Москва : Машиностроение, 2011. – 608 с. – ISBN 978-5-94275-594-2. – URL: <https://e.lanbook.com/book/3316> (дата обращения: 17.04.2025)..

3. Балла, О. М. Инструментообеспечение современных станков с ЧПУ / О. М. Балла. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2023. – 200 с. – ISBN 978-5-507-45841-7. – URL: <https://e.lanbook.com/book/288794> (дата обращения: 17.04.2025).

4. Лучкин, В. К. Проектирование и программирование обработки на токарных станках с ЧПУ : учебное пособие / В. К. Лучкин, В. А. Ванин. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2015. – 83 с. – ISBN 978-5-8265-1397-2. – URL: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=444957](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=444957) (дата обращения: 17.04.2025).

### Дополнительная литература

1. Металлорежущие станки : лабораторный практикум / В. А. Водоватов, А. И. Сидоркин, Н. П. Сютков, О. Н. Стародубцева ; Поволжский государственный технологический университет. – Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2017. – 104 с. : ил. – ISBN 978-5-8158-1837-8. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483701> (дата обращения: 17.04.2025).

2. Фельдштейн, Е. Э. Обработка деталей на станках с ЧПУ : учебное пособие для студентов машиностроительных специальностей / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – 2-е изд., испр. – Минск : Новое знание, 2006. – 287 с. – ISBN 9854741899.

## Программное обеспечение и Интернет ресурсы

1. Официальный сайт Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. Режим доступа: [www.kuzstu.ru](http://www.kuzstu.ru).

2. Электронные библиотечные системы:

– Университетская библиотека онлайн. Режим доступа: [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru);

– Лань. Режим доступа: <http://e.lanbook.com>;

– Консультант студента. Режим доступа: [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru).