



библиотека шлифовщика

*М. Г. Эфрос
В. С. Миронюк*

*Современные
абразивные
инструменты*





библиотечка шрифтовщика

Выпуск 1

М. Г. Эфрос, В. С. Миронюк

**Современные
образивные
инструменты**

*Издание 3-е,
переработанное и дополненное*

*Под редакцией
д-ра техн. наук З. И. КРЕМНЯ*



Ленинград «Машиностроение»
Ленинградское отделение 1987

ББК 34.637
Э94
УДК 621.923

Редакционная коллегия:

Ю. Н. Воробьев, А. А. Зыков, З. И. Кремень (ответственный редактор), А. А. Маталин, В. И. Муцянко, Д. Г. Письменный, Л. Н. Фильмонов

Э94 **Эфрос М. Г., Миронюк В. С.**
Современные абразивные инструменты/Под ред. З. И. Кремня. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. — 158 с., ил. — (Б-чка шлифовщика; Вып. 1).

(В обл.): 40 к.

В книге рассмотрены абразивные инструменты с различными видами связок и на гибкой основе; описаны инструменты для скоростного шлифования, из синтетических высокотвердых материалов и легированного электрокорунда, полировальные инструменты; даны технические параметры абразивных инструментов; указаны современные способы и средства контроля их качества.

В новом издании (2-е изд. 1967 г.) приведены обновленная номенклатура абразивных материалов и инструментов, а также данные о современной маркировке абразивных инструментов, точности их размеров и формы в соответствии с новыми стандартами.

Книга предназначена для рабочих-шлифовщиков, наладчиков, мастеров.

Э $\frac{2704040000-261}{038(01)-87}$ 261-87

ББК 34.637
6П4.67

Предисловие

Развитие прогрессивных методов формообразования (штамповки точного литья и т. п.), разработка и внедрение новых труднообрабатываемых конструкционных материалов, резкое повышение требований к качеству, надежности и долговечности машин и механизмов, зависящих от точности размеров и форм деталей и параметров шероховатости их поверхности, — основные предпосылки увеличения удельного веса абразивной обработки, внедрения прогрессивных технологических процессов шлифования и создания новых видов абразивного инструмента.

Современное производство абразивного инструмента на керамической связке характеризуется возрастающим выпуском шлифовальных кругов повышенного качества. Качество абразивных инструментов повышается за счет применения абразивных материалов лучших марок и наиболее эффективных связок, внедрения новых, более прогрессивных методов формования и термообработки, обеспечивающих получение инструмента с равномерными твердостью и плотностью, методов механической обработки, повышающих точность геометрической формы и размеров инструмента и класс уравнишенности.

При использовании высокоскоростного шлифования производительность труда возросла в два-три раза, удельный расход инструмента сократился в пять раз, улучшилось качество обработанной поверхности. Увеличение скоростей шлифования потребовало повышения прочности шлифовальных кругов, что обусловило создание новых марок керамических связок.

В 1970—1980 гг. была освоена технология производства абразивного инструмента для импортных и отечественных станков, установленных на Волжском и Камском автомобильных заводах и других заводах страны; было внедрено более 4000 новых видов абразивного инструмента. Особенно эффективным явилось применение абразивного инструмента из кубического нитрида бора. Его используют на различных операциях шлифования труднообрабатываемых высоколегированных закаленных сталей и сплавов.

Разработан инструмент из эльбора марки ЛКВ с повышенным содержанием монокристаллов, отличающийся высокими прочностными и режущими свойствами, который изготавливается на металлической связке, прочно удерживающей отдельные абразивные зерна и благодаря высокой теплопроводности металлов быстро отводящей тепло из зоны обработки.

Все более широко применяют инструмент на органических связках, его выпуск составляет около 40 % от объема выпуска всего абразивного инструмента. Благодаря таким достоинствам органических связок, как низкая теплостойкость, высокие пластические свойства, инструмент на их основе используют на всех операциях от обдирочного шлифования до чистой обработки.

Разработана новая оригинальная технология изготовления высококачественных скоростных обдирочных кругов диаметром 500—800 мм методом горячего пресования, обеспечивающих безопасную работу инструментом при скорости 60 и 80 м/с и усилии врезания до 10 000 Н. Новый процесс обдирочного шлифования обеспечивает повышение производительности труда при зачистке металла, значительное (в 5—8 раз) сокращение потребления абразивного инструмента, а главное, исключает потери металла при обработке.

Для автоматических линий изготовления шариковых и роликовых подшипников разработана технология производства различных типов кругов на вулканитовой связке с регулируемой структурой и пористостью. Созданы круги на вулканитовой связке и для вышлифовки стружечных канавок сверл по целым термообработанным цилиндрическим заготовкам из быстрорежущей стали.

Освоен выпуск высококачественной шлифовальной шкурки, позволяющей эффективно обрабатывать детали из жаропрочных и титановых сплавов, коррозионно-стойких и других легированных сталей, электровакуумного стекла на предприятиях электронной, энергомашиностроительной, авиационной и других отраслей промышленности.

Расширение производства новых видов инструментов должно обеспечить значительное повышение эффективности абразивной обработки и тем самым способствовать созданию новых видов и повышению технического уровня выпускаемого станочного оборудования.

Глава 1

АБРАЗИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. Общая характеристика

Для того чтобы обеспечить эффективную абразивную обработку, частицы абразивного материала должны быть прочными, твердыми и иметь острые кромки. Острые кромки при резании постепенно затупляются, поэтому для сохранения режущих свойств зёрна абразивных материалов при приложении определенных усилий должны обладать способностью скалываться, при этом образуются новые острые кромки зерен, позволяющие продолжать резание. Таким образом, абразивные материалы, наряду с высокой твердостью и прочностью, должны быть достаточно хрупкими. Сочетанием таких свойств обладают только твердые минералы, поэтому они и применяются в качестве абразивов.

Основной отличительной особенностью абразивных материалов является их высокая *твердость*. Чем выше разница в твердости абразивного и обрабатываемого материалов, тем эффективнее обработка. Оценка твердости различных минералов производят с помощью сравнительной шкалы твердости (шкалы Мооса). Наиболее высокое положение по этой шкале занимает алмаз как самый твердый в природе минерал, твердость его оценена цифрой 10. Твердость других материалов оценивается по сравнению с алмазом цифрой, которая меньше 10. Наиболее низкое место с оценкой твердости, равной 1, занимает очень мягкий минерал — тальк.

Более точно судить о твердости минералов можно по значениям *микротвердости*. Микротвердость определяется глубиной отпечатка, полученного от вдавливания острия алмазной четырехгранной пирамиды. Измерения производят с помощью оптических приборов, в частности микроскопа модели ПМТ-3. Микротвердость измеряется в мегапаскалях.

Для сравнения различных абразивных материалов введена еще одна характеристика — *абразивная способность*. Абразивная способность является безразмерной величиной и выражается как отношение массы сошлифованного материала к массе навески абразивного материала (зерна). Абразивную способность определяют при шлифовании стеклянных дисков свободно насыпанным абразивным зерном измерением количества сошли-

фованного стекла. Однако абразивная способность, характеризующая режущую способность абразивного материала в целом, в то же время является условным показателем качества материала и не может служить оценкой работоспособности абразивного инструмента в реальных условиях.

Зерна абразивных материалов, применяемых для обработки резанием, должны быть достаточно прочными, чтобы длительное время выдерживать прилагаемую нагрузку без разрушения. *Механическая прочность* абразивных материалов может быть оценена по прочности единичного зерна и по прочности множества зерен, находящихся в определенной навеске материала. Механическую прочность единичных зерен устанавливают на приборах, с помощью которых определяют разрушающую нагрузку на единичные зерна при сжатии их под действием постепенно возрастающей нагрузки. Прочность оценивается средней величиной нагрузки (в ньютонах) по результатам последовательного разрушения пятидесяти зерен. Для установления механической прочности навеска абразивных зерен одинаковой крупности в замкнутом объеме подвергается сжатию под действием стандартной нагрузки, часть зерен разрушается. Механическая прочность абразивного материала в этом случае определяется процентным отношением массы неразрушенных зерен к массе исходной навески.

В зависимости от твердости и прочности разные материалы используют для различных операций абразивной обработки: более твердые — для обработки твердых материалов, более прочные — для обработки вязких материалов и т. д.

Абразивные материалы могут быть естественного (природного) и искусственного (синтетического) происхождения. К природным материалам относятся алмаз, корунд, наждак, гранат, кремний, кварц, а также более мягкие полировальные материалы: известь, тальк и др. Искусственные абразивные материалы отличаются от природных более высоким качеством и стабильностью свойств. Поэтому большого промышленного значения природные материалы не имеют, за исключением алмазов.

Алмаз — минерал, состоящий из углерода в кристаллическом состоянии. Кристаллы алмаза имеют кубическую структуру, чем отличаются от графита, также представляющего собой углерод, но только с другой — гексагональной (шестигранной) структурой кристалли-

ческой решетки. Из-за слоистого строения графит легко расслаивается, что обуславливает его низкую твердость. Кубическая форма кристаллической решетки алмаза обеспечивает исключительно прочные связи между атомами углерода во всех направлениях. Эта связь делает алмаз самым твердым веществом на нашей планете: твердость его, как было сказано выше, равна 10 (по шкале Мооса), микротвердость — 98 000 МПа (по шкале Виккерса). Алмаз отличается и значительной хрупкостью. Кроме того, благодаря высокой твердости и низкому коэффициенту трения по металлу алмаз обладает и высокой стойкостью на истирание, поэтому его эффективно применяют в производстве абразивного режущего, бурового и правящего инструментов.

К искусственным абразивным материалам относят электрокорунды, карбид кремния, карбид бора и синтетические сверхтвердые материалы (синтетический алмаз и кубический нитрид бора).

2. Электрокорунды

Электрокорунд представляет собой кристаллический оксид алюминия $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Его получают плавкой высокоглиноземистого сырья в электрических печах при температурах около 2000 °С.

Отечественной промышленностью выпускаются электрокорунды четырех видов: нормальный электрокорунд, содержащий 93—96 % Al_2O_3 и выплавляемый восстановительной плавкой из бокситов; белый электрокорунд с содержанием более 99 % Al_2O_3 , выплавляемый из глинозема; легированный электрокорунд, получаемый плавкой либо бокситов, либо глиноземов с введением различных элементов (хрома, титана, циркония), существенно изменяющих свойства корундов; монокорунд, получаемый в результате сплавления бокситов с сернистым железом и последующего выделения монокристаллов корунда.

Электрокорунды в соответствии с ОСТ МТ71-2—78 в зависимости от вида и качества материала изготавливают разных марок: нормальный электрокорунд — марок 16А, 15А, 14А, 13А; белый электрокорунд — марок 25А, 24А; 23А; хромистый электрокорунд — марок 34А, 33А; хромотитанистый электрокорунд — марок 91А и 92А; монокорунд — марок 45А; 44А, 43А; циркониевый электрокорунд — марки 38А.

Нормальный электрокорунд. Благодаря повышенной вязкости нормальный электрокорунд используют при изготовлении абразивного инструмента для шлифования вязких материалов с большим сопротивлением разрыву, для абразивной обработки с переменными нагрузками и, главным образом, для тяжелых обдирочных работ.

Плавку этого материала производят двумя способами: периодическим — на блок и непрерывным — на выпуск. В процессе плавки оксиды металлов имеющиеся в бокситах, восстанавливаются, а выделяющийся из бокситов глинозем ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) переходит в корунд ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), образуя крупные кристаллы. Восстановленные из оксидов Fe_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 металлы образуют ферросплав сложного состава, который осаждается на подпечи. Неполностью осажденный ферросплав попадает на переработку вместе с корундом и извлекается при дроблении электрокорунда путем магнитной сепарации.

Качество выплавленного электрокорунда определяется химическим составом, а также размерами и формой кристаллов корунда. И то и другое зависит от условий кристаллизации: чем выше содержание оксидов алюминия, тем меньше примесей в корунде, тем крупнее его кристаллы. В зависимости от количества и состава примесей изменяются цвет нормального электрокорунда (от светло- до темнокоричневого), его микроструктура и физико-механические свойства. Размеры кристаллов выплавленного корунда составляют обычно 0,6—0,8 мм. Однако для изготовления инструмента специального назначения, например обдирочных кругов, используют нормальный поликристаллический электрокорунд с размерами кристаллов порядка 50 мкм.

Электрокорунд белый. В отличие от нормального белый электрокорунд имеет незначительное число примесей и более однороден по химическому и минералогическому составу. Шлифовальный материал из белого электрокорунда характеризуется высокими хрупкостью, прочностью и твердостью отдельных зерен, кромки которых из-за повышенной хрупкости материала очень острые. Вследствие этого инструмент из белого электрокорунда применяют для обработки закаленных твердых сталей.

Получают электрокорунд в электрических дуговых печах. Плавку производят непрерывно, с периодическим сливом расплава (рис. 1). При плавке происходит фазо-

вый переход одной модификации оксида алюминия $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ в другую $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунд).

Легированные электрокорунды. Такие свойства абразивных материалов, как прочность, твердость, хрупкость, термостойкость, могут регулироваться в процессе получения материала. Введением в расплав различных химических элементов, образующих с ним твердые растворы, получают абразивные материалы с заданными свойствами. Такие электрокорунды называют *легированными*. В качестве легирующих элементов используют титан, хром, цирконий и другие, вводимые чаще всего в виде оксидов.

Хромистый электрокорунд получают введением оксида хрома в расплав глинозема. Установлено, что даже незначительная добавка оксида хрома (0,3—0,5 %) существенно изменяет микроструктуру материала: увеличивается содержание монокристаллов. При введении оксида хрома до 2 % повышается абразивная способность зерна хромистого электрокорунда и его механическая прочность. Хромистый электрокорунд имеет окраску рубина. Интенсивность окраски зависит от количества оксида хрома, растворенного в корунде.

Титанистый электрокорунд выплавляют из глинозема с полуторным оксидом титана Ti_2O_3 . Окраска титанистого электрокорунда имеет серо-синий оттенок. Наличие твердого раствора титана в корунде значительно повышает абразивную способность зерна по сравнению с зерном белого электрокорунда. Абразивный материал из титанистого электрокорунда отличается высокой ударной вязкостью; инструмент из него используют для шлифования с высокими нагрузками закаленных сталей.

Хромтитанистый электрокорунд — корунд с двумя легирующими элементами: хромом и титаном. Это круп-

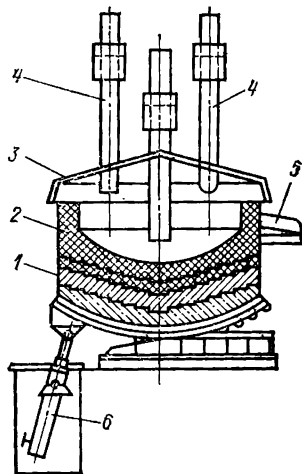


Рис. 1. Электропечь для плавки белого электрокорунда:

1 — ванна; 2 — наплавленная подкладка; 3 — свод; 4 — графитированные электроды; 5 — лоток для сбора расплава электрокорунда; 6 — гидравлический домкрат

нокристаллический материал, содержащий 95—97 % корунда. Получают хромотитанистый электрокорунд плавкой технического глинозема с добавлением оксидов хрома и титана. Одновременное введение двух элементов усиливает эффект легирования за счет более полного растворения обоих элементов в корунде. Поэтому в хромотитанистом электрокорунде содержание свободных хрома и титана, не вошедших в кристаллическую решетку корунда, по сравнению с хромистым и титанистым электрокорундами, значительно ниже. Хромотитанистый электрокорунд отличается от других легированных корундов лучшими физико-механическими свойствами:

Электрокорунд	Прочность единичного зерна, Н	Абразивная способность, %
Белый	20,5	100
Хромистый	21,0	124
Титанистый	20,4	137
Хромотитанистый	24,0	153

Высокая механическая прочность единичных зерен и повышенная абразивная способность хромотитанистого электрокорунда определили хорошие режущие свойства абразивного инструмента на его основе. Абразивный инструмент из хромотитанистого электрокорунда обладает хорошей самозатачиваемостью, что приводит к повышенной производительности процессов абразивной обработки, увеличению стойкости инструмента и улучшению качества обрабатываемой поверхности. Инструмент из хромотитанистого электрокорунда успешно применяют для обработки углеродистых и легированных конструкционных, инструментальных и быстрорежущих сталей, сырых и закаленных, а также других материалов.

Циркониевый электрокорунд получают плавкой глинозема с добавлением диоксида циркония, приводящим к образованию мелкокристаллической микроструктуры выплавляемого материала, что достигается высокой скоростью охлаждения расплава корунда.

Основные составляющие циркониевого электрокорунда: корунд и бадделент (минерал на основе диоксида циркония) с оптимальным содержанием последнего 20—25 %. Благодаря своему составу и строению зерно циркониевого электрокорунда отличается чрезвычайно высокой прочностью: 300—350 Н при зернистости 125.

Циркониевый электрокорунд используют в производстве абразивного инструмента для обдирочных работ в

основном для скоростного силового шлифования при рабочей скорости инструмента 60—80 м/с и усилии прижима выше 5000 Н.

В целом легированные электрокорундовые материалы характеризуются более высокими изометричностью абразивного зерна, однородностью химического состава и физико-механических свойств, что обеспечивает значительное повышение производительности абразивной обработки.

Монокорунд. Абразивный материал, созданный на основе корунда, состоящего из монокристаллов, назы-

Таблица 1

**Механические свойства
корундовых шлифовальных материалов**

Абразивный материал	Микротвердость, МПа	Механическая прочность, %	Абразивная способность, %
Нормальный электрокорунд	20 000—22 000	80	92
Белый электрокорунд	24 000—26 000	85	100
Монокорунд	26 000—27 800	87	139

вают монокорундом. Его получают сплавлением глиноземсодержащего сырья с сернистым железом в присутствии восстановителя. При последующем химическом разложении выделяются зерна корунда, которые затем проходят дополнительное обогащение. Таким образом, шлифзерно и шлифпорошок монокорунда получают в процессе кристаллизации отдельных зерен. Такое строение зерна обуславливает более высокие показатели твердости, механической прочности и абразивной способности по сравнению с другими электрокорундовыми материалами (сравнительные данные приведены в табл. 1).

Абразивный инструмент из монокорунда обладает повышенной режущей способностью и высокой степенью самозатачивания, что обеспечивает уменьшение расхода мощности, силы резания и, следовательно, нагрева обрабатываемой поверхности детали. Инструмент из монокорунда применяют для бесприжогового шлифования труднообрабатываемых сталей и сплавов.

Формокорунд. Особое место в производстве абразивных материалов занимают материалы на основе корунда

с заданной формой абразивного зерна; к ним относятся формокорунд и сферокорунд.

Формокорунд представляет собой материал, частицы которого имеют цилиндрическую форму, полученную путем формообразования на различных установках. Микроструктуру материала и его свойства можно задавать, вводя определенные добавки в тонкодисперсное сырье с последующей термообработкой.

Основным исходным сырьем для формокорунда служит тонко измельченный глинозем. Для придания пластических свойств используют бентонитовые глины. В качестве легирующих добавок вводят диоксид циркония, титана или оксид хрома.

Формообразование частиц производят или на шнековых экструдерах с различной конструкцией шнека, или на гидравлических прессах протяжкой через многофильную решетку. Затем на резательной установке материал нарезают на частицы длиной, равной $(2 \div 4)d$, где d — поперечный размер частицы. Полученные таким образом абразивные частицы подвергают термообработке в электрических печах при температуре 1680—1720 °С.

При таком способе производства абразивного материала существует возможность регулировать состав, микроструктуру и плотность в широких пределах, получать материал с заданным размером и формой частиц, при этом исключаются операции дробления и последующего отсева.

Формокорунд обладает высокими прочностью и вязкостью, что позволяет эффективно использовать абразивный инструмент из формокорунда при зачистке изделий из коррозионно-стойких и жаропрочных сталей и сплавов.

Сферокорунд. Абразивный материал, получаемый из глинозема в виде полых корундовых сфер, — сферокорунд. В нем содержится более 99 % Al_2O_3 и небольшое количество примесей. Получают сферокорунд различной зернистости с заданными размерами сфер. Сферическая форма абразивных частиц придает материалу повышенную хрупкость, при работе сфера разрушается и острые режущие кромки обеспечивают производительное шлифование с малым выделением теплоты.

Абразивные инструменты из сферокорунда применяют для шлифования мягких и вязких материалов: цветных металлов, пластмассы, кожи, резины и др.

3. Карбиды

Карбид кремния. К искусственным материалам относится карбид кремния SiC , в природе он не встречается. Технический карбид кремния в зависимости от содержания примесей имеет окраску от светло-зеленого до темно-синего цвета. В качестве абразивного материала выпускают карбиды кремния зеленый и черный. Микротвердость SiC — 33 400 МПа, значительно превосходящая твердость корундовых материалов; при этом карбид кремния относительно хрупкий и непрочный материал, что ограничивает его применение только в операциях шлифования материалов с низким сопротивлением разрыву, не дающих сплошной стружки при обработке.

Получают карбид кремния путем восстановления кремнезема в электрических печах сопротивления при температурах 2000—2300 °С.

В качестве сырьевых материалов при производстве карбида кремния используют кремне содержащие материалы (кварцевый песок или кварциты) и углеродистый восстановитель (антрацит или нефтяной кокс). Дополнительно вводят вспомогательные материалы: поваренную соль и древесные опилки.

Получаемые в промышленности технические зеленый и черный карбиды кремния содержат практически одинаковое количество SiC и различаются структурным составом и примесями.

Из карбида кремния изготавливают абразивный инструмент для обработки твердых сплавов, чугуна, цветных металлов, керамики, стекла, пластмасс и т. п. Благодаря высоким показателям термостойкости и теплопроводности, а также низкому коэффициенту термического расширения карбид кремния успешно применяют в производстве огнеупоров.

Карбид бора. Искусственный абразивный материал карбид бора содержит до 93 % B_4C , в виде примесей в него входят графит и др.

Карбид бора получают восстановлением борного ангидрида (B_2O_3) углеродом при температурах 2200—2500 °С в дуговой электропечи.

Карбид бора обладает высокими абразивной способностью, твердостью (микротвердость — 49 500 МПа), термо- и химической стойкостью, хрупкостью и низкой прочностью; является полупроводником. Выпускается в виде микропорошков.

Используют карбид бора в виде свободного несвязанного порошка и паст для доводки режущего инструмента из твердых сплавов на основе карбидов вольфрама и титана, для полирования и притирки твердых материалов и при изготовлении металлографических шлифов.

4. Синтетические сверхтвердые материалы

Синтетический алмаз. По химическим и физическим свойствам синтетические алмазы аналогичны природным с некоторыми различиями по форме, размеру, прочности и характеру поверхности частиц. Синтетический алмаз получают из графита при высоких температуре и давлении. Промышленный синтез осуществляется в специальных камерах при давлении 1000—5000 МПа и температуре до 2500 °С в присутствии катализаторов. Изменяя определенные параметры режима синтеза, получают алмазы с заданными свойствами.

Отечественная промышленность выпускает абразивные материалы на основе различных синтетических алмазов: шлифпорошки марок АСО, АСР, АСВ, АСК и АСС, различающиеся по прочности и хрупкости, и микропорошки марки АСМ — обычной и марки АСН — повышенной абразивной способности.

Алмазы марки АСО характеризуются повышенной хрупкостью и сравнительно низкой прочностью. Они предназначаются для абразивного инструмента, изготовляемого только на органических связках и применяемого в чистовых и доводочных операциях. Алмазы марки АСР менее хрупкие и более прочные по сравнению с алмазами марки АСО в 1,6—2 раза. Они используются для изготовления инструмента на керамических и металлических связках. Алмазы марок АСВ и АСК отличаются повышенной прочностью, их применяют для изготовления инструмента на металлических связках, работающего на повышенных нагрузках. Алмазы марки АСС по своей прочности близки к природным алмазам. Их используют для производства бурового инструмента, инструмента для правки абразивных кругов и т. п. Алмазные микропорошки марки АСМ применяют при изготовлении инструментов, паст и материалов в несвязанном виде для обработки твердых сплавов, стекла и др. Микропорошки марки АСН, обладающие повышенной абразивной способностью, рекомендуются для обработки алмазов, специальной керамики и других

сверхтвердых, хрупких и труднообрабатываемых материалов.

Кубический нитрид бора. Абразивный материал на основе нитрида бора, содержащий не менее 90 % нитрида бора кристаллической структуры β -BN,— кубический нитрид бора. Его получают из нитрида бора гексагональной структуры α -BN. Кристаллическая решетка гексагонального нитрида бора, как и графита, имеет слоистую структуру.

Кубический нитрид бора (КНБ) отличается высокими твердостью (микротвердость порядка 80 000 МПа) и абразивной способностью. В отличие от алмаза он обладает более высокой термостойкостью и не теряет режущих свойств при температуре 1000—1200 °С в зоне контакта при шлифовании.

Синтез КНБ осуществляют подобно алмазу при высоких температурах (выше 1600 °С) и давлениях (более 8 ГПа) в присутствии катализаторов. Изменяя термодинамические условия и химическую среду синтеза, можно получать кубический нитрид бора, различающийся по своим физико-механическим и эксплуатационным свойствам. Кубический нитрид бора выпускают с существенными различиями под разными торговыми марками, например, Советский Союз производит эльбор, кубонит, США — боразон и др.

Кристаллы КНБ преимущественно коричневого, почти черного цвета, реже окрашены в цвета с розоватым оттенком или совсем бесцветные.

Высокие твердость и абразивная способность, термостойкость и химическая инертность к железу предопределили широкое использование кубического нитрида бора при обработке труднообрабатываемых закаленных инструментальных сталей, легированных конструкционных сталей и сплавов, легированного чугуна и других материалов.

5. Шлифовальные материалы

Шлифовальные материалы представляют собой измельченные до порошкообразного состояния и рассеянные на определенные классы абразивные материалы. Классификация необходима потому, что после измельчения абразивные материалы имеют различные величины и форму частиц: в виде кристаллов, осколков кристаллов и агрегатов (поликристаллов).

Для получения порошка абразивный материал подвергают обработке, включающей ряд операций, основными из которых являются дробление, измельчение, обогащение и классификация. В зависимости от абразивного материала применяют разное оборудование.

Дробление кускового абразивного материала производят на шнековых дробилках до получения кусков размером 120—50 мм, затем на конусных дробилках — размером 20—10 мм. Дробление выполняют сухим способом.

Измельчение материала с крупностью кусков 20 мм и менее осуществляют в стержневых мельницах, работающих в замкнутом цикле с грохотом (виброситом). На этой операции получают требуемые размеры абразивных частиц. Измельчение производят сухим или мокрым способом. Мокрое измельчение — более эффективный процесс, его преимущество — отсутствие пыли. Материал с размером частиц 2,0—1,6 мм направляют на доизмельчение, а продукт измельчения в виде пульпы с частицами размером 80—60 мкм при помощи насосов поступает на обезвоживание и классификацию. На всех операциях для удаления продуктов, содержащих железо, измельченный материал подвергают магнитной сепарации.

Порошки классифицируют на специальных ситах (грохотах). Микropорошки классифицируют методом гидроклассификации, т. е. путем осаждения абразивного материала в жидкости под действием силы тяжести или с применением центрифугирования. Обезвоживание материала производят сначала на речных классификаторах, затем его фильтруют через керамические фильтры с помощью вакуум-насоса. После этого материал подвергают сушке при температурах 400—600 °С во вращающихся прокалочных печах.

Шлифовальные материалы условно делят на два класса. К первому относят порошки, классифицированные на ситах, ко второму — продукты гидроклассификации. В свою очередь продукты рассева делят на шлифзерно и шлифпорошки, а продукты гидроклассификации — на микropорошки и тонкие микropорошки. Получить порошок, состоящий из частиц только одного размера, практически невозможно. Поэтому порошки подразделяют на фракции. *Фракцией* называется часть абразивных зерен, размеры которых ограничены установленным интервалом, более узким, чем размеры зерен всей массы порошка. Размеры зерен порошка, класси-

фицированные на ситах, определяются размерами ячеек сита, на котором остается при рассеве основная часть порошка. Размеры зерен микропорошков измеряют под микроскопом.

Порошки абразивных материалов всегда состоят из нескольких фракций. Совокупность зерен, преобладающих по массе в порошке, называется *основной* фракцией. Зерна крупнее основной фракции на один интервал образуют *крупную* фракцию, а мельче на один интервал и более — *мелкую*. Зерновой состав абразивного материала задается содержанием основной фракции при предельных нормах крупной и мелкой. В зависимости от крупности зерен основной фракции шлифовальные материалы имеют разные номера зернистости.

Рассев шлифзерна и шлифпорошков по номерам зернистости обычных абразивных материалов производится в соответствии с требованиями ГОСТ 3647—80. В зависимости от размера зерен шлифовальные материалы подразделяют на группы:

	Размер зерен, мкм		Размер зерен, мкм
Шлифзерно . .	2000—160	Тонкие микро-	
Шлифпорошки	125—40	порошки . . .	10—3
Микропорошки	63—14		

Зернистость шлифзерна и шлифпорошков обозначают как 0,1 размера стороны ячейки сита (в мкм), на котором задерживаются зерна основной фракции. Зернистость микропорошков обозначают по верхнему пределу размера зерен основной фракции.

В зависимости от содержания основной фракции цифровое обозначение зернистости шлифовального материала дополняют буквенными индексами: В — при высоком содержании основной фракции; П — при повышенном; Н — при нормальном. Нормы содержания основной фракции представлены в табл. 2.

Выпускаемые шлифовальные материалы подвергаются контролю на соответствие химического состава и содержания магнитного материала требованиям ОСТ 2 МТ71-5—81 и ОСТ 2 МТ71-8—78.

Алмазные материалы и порошки из кубического нитрида бора в зависимости от размера частиц делят на две группы: шлифпорошки и микропорошки. Зернистость алмазных порошков определяется по ГОСТ 9206—80. Шлифпорошки выпускают двух диапазонов (широкого и узкого), микропорошки — одного.

Зернистость шлифовальных порошков из эльбора регламентируется ГОСТ 3647—80.

Зерновой состав порошков сверхтвердых материалов характеризуется совокупностью фракций: основной, преобладающей по количеству, и побочных (крупной и мелкой), выраженных в процентах для шлифпорошков

Таблица 2

**Нормы содержания основной фракции
в шлифовальных материалах**

Индекс	Минимальное содержание, %, основной фракции для зернистостей				
	200—8	6—4	M63—M28	M20—M14	M10—M5
В	—	—	60	60	55
П	55	55	50	50	45
Н	45	40	45	40	40

по массе, для микропорошков — по числу зерен. Крупность основной фракции материала после отсева определяется размерами двух смежных сеток, через одну из которых (верхнюю) все зерна основной фракции проходят, на второй (нижней) — задерживаются. Зернистость шлифпорошка определяют по основной фракции и обозначают дробью; числитель соответствует размеру стороны ячейки верхнего сита, знаменатель — размеру стороны ячейки нижнего сита.

Зерновой состав микропорошков определяется линейными размерами зерен под микроскопом. Размером зерна алмазных порошков считается половина суммы длины и ширины проекции алмазного зерна.

Глава 2

АБРАЗИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

6. Основные технические параметры абразивных инструментов

Общая характеристика. Абразивным инструментом называют режущий инструмент, предназначенный для абразивной обработки. Абразивный инструмент пред-

ставляет собой множество зерен абразивного материала, скрепленных между собой связующим веществом, называемым *связкой*.

Типовая схема производства абразивного инструмента представлена на рис. 2.

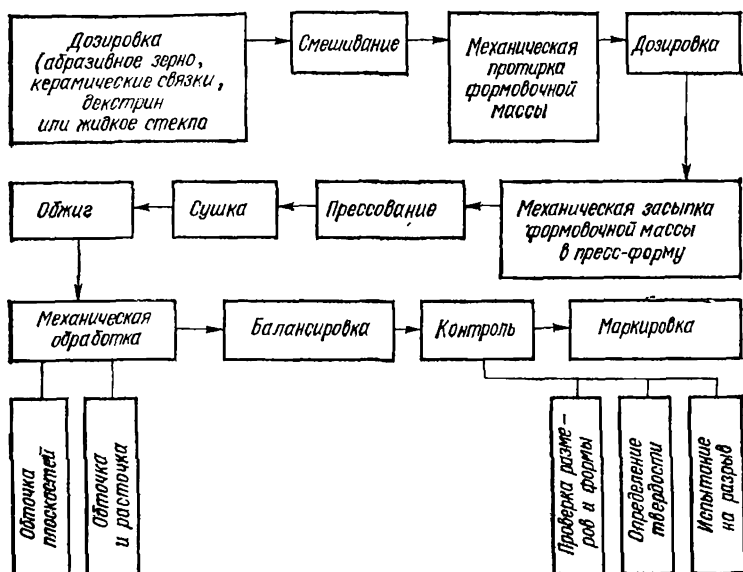


Рис. 2. Типовая схема производства абразивного инструмента

При металлообработке абразивным инструментом необходимо добиваться высоких показателей и по точности получения сложных профилей, и по качеству поверхности с одновременным снятием относительно большого количества металла в единицу времени. При этом абразивный инструмент должен иметь высокую механическую прочность, чтобы выдержать без разрушения достаточно высокие нагрузки при вращении и врезании в обрабатываемый материал.

Абразивный инструмент должен обладать рядом параметров: форма, размеры, вид, зернистость абразивного материала и др., называемых характеристикой инструмента.

Типы и размеры. Геометрические параметры абразивного инструмента задаются станком, на котором предполагается использование инструмента, формой и размерами обрабатываемых поверхностей и характером движения инструмента.

Если основное движение при обработке вращательное, то абразивный инструмент должен иметь форму тел вращения. Такой тип инструмента называется *шлифовальным кругом* (рис. 3).

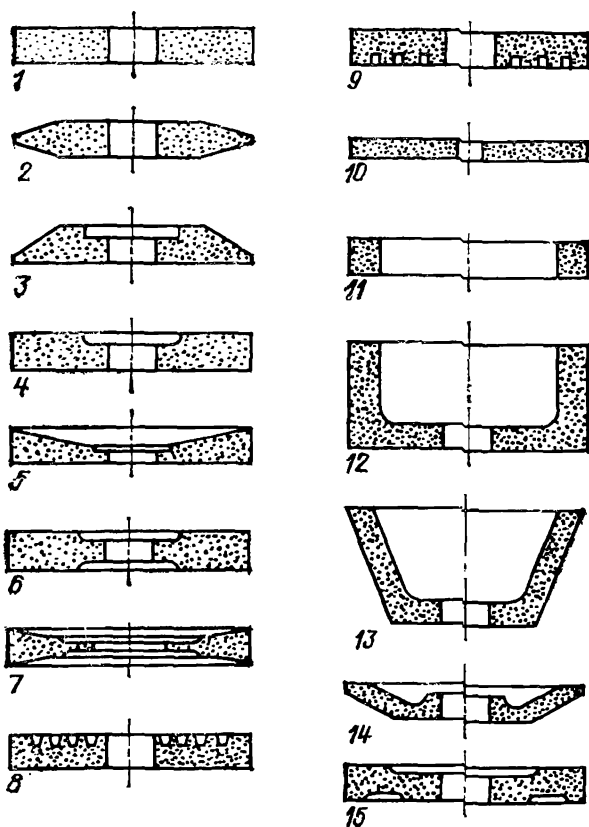


Рис. 3. Основные типы шлифовальных кругов:
 1—ПП; 2—2П; 3—ЗП; 4—ПВ; 5—ПВК; 6—ПВД; 7—ПВДК;
 8—ПР; 9—ПН; 10—Д; 11—К; 12—ЧЦ; 13—ЧК; 14—Т;
 15—ПВДС

При возвратно-поступательном рабочем движении инструментом являются *шлифовальные бруски*.

Форма центральной части кругов определяется местом установки и способом крепления инструмента на станке.

Размеры мест установки и способы крепления стандартных абразивных инструментов унифицированы и должны соответствовать ГОСТ 2270—76.

Шлифовальные круги, как правило, имеют центральное отверстие для установки на оправку или на шпиндель станка. Шлифовальные круги небольшого диаметра с глубоким центральным несквозным отверстием, посредством которого крепится круг на оправке, называют *шлифовальными головками*. Оправка для таких кругов имеет цилиндрический хвостовик для закрепления в шпинделе станка.

Конструктивно шлифовальные круги могут быть и сборными, состоящими из нескольких сегментов. В собранном виде *шлифовальные сегменты* образуют прерывистую кольцевую рабочую поверхность, производящую обработку аналогично цельным шлифовальным кругам.

Шлифовальная шкурка представляет собой абразивный инструмент, на гибкой основе которого с помощью связующего вещества закреплен слой абразивных зерен. В качестве основы для этого вида инструмента используют бумагу, ткани.

Разновидности абразивного инструмента и их размеры регламентированы нормативно-технической документацией. В настоящее время в отечественной промышленности применяют абразивные инструменты, типы и размеры которых соответствуют требованиям следующих стандартов: шлифовальные круги — ГОСТ 2424—85; шлифовальные бруски — ГОСТ 2456—82; шлифовальные головки — ГОСТ 2447—82; шлифовальные сегменты — ГОСТ 2464—82; различные виды шлифовальной шкурки — ГОСТ 10054—82, ГОСТ 5009—82, ГОСТ 344—85, ГОСТ 6456—82; изделия из шлифовальной шкурки — ГОСТ 22773—77 и ГОСТ 22776—77 и др.

Для получения необходимой точности и шероховатости обрабатываемой поверхности абразивный инструмент должен иметь минимальные отклонения формы и размеров (в первую очередь для рабочих и опорных поверхностей). Точность геометрических размеров абразивного инструмента регламентируется соответствующими стандартами. Согласно ГОСТ 2424—85 установлены предельные отклонения следующих параметров кругов: наружного диаметра D , высоты H , диаметра посадочного отверстия d , непараллельности, выпуклости, овальности наружных поверхностей, конусообразности и смещения оси отверстия. Качество абразивного инструмента определяется и наличием различных дефектов: трещин, раковин, повреждений и закруглений кромок, инородных включений.

Шлифовальные круги изготавливают трех классов точности: АА, А, Б. Наибольшая точность соответствует кругам класса АА. Допускаемые отклонения для инструментов класса Б в 1,5—2 раза превышают отклонения аналогичных параметров кругов класса А, которые в свою очередь, больше соответствующих отклонений по классу АА. В табл. 3 приведены допускаемые отклонения высоты кругов по ГОСТ 2424—85.

В зависимости от класса точности кругов устанавливается и класс неуравновешенности: для кругов класса

Таблица 3

**Допускаемые отклонения
высоты шлифовальных кругов**

Номинальная высота, мм	Классы точности, мм		
	АА	А	Б
До 3	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$
Свыше 3 до 6	$\pm 0,15$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$
» 6 » 10	—	$\pm 0,5$	$\pm 0,7$
» 10 » 16	$\pm 0,2$	$\pm 0,7$	$\pm 1,0$
» 16 » 40	—	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$
» 40 » 100	$\pm 0,25$	$\pm 1,2$	$\pm 2,0$
» 100	$\pm 0,3$	$\pm 1,5$	$\pm 3,0$

точности АА неуравновешенность должна соответствовать классу 1; для кругов класса точности А — классам 1 или 2; для кругов класса точности Б — классам 1, 2 и 3.

Связка. Требованиями, предъявляемыми к качеству обработанной поверхности, определяется выбор абразивного материала, его зернистости, вида связки.

Связка в абразивном инструменте играет основную роль в обеспечении необходимой прочности инструмента. В производстве абразивного инструмента в основном используют два вида связок: керамические и органические. Ограниченное специальное применение имеет абразивный инструмент на металлической связке.

Керамическая связка придает инструменту такие свойства, как высокие тепло-, водо- и химическая стойкость, устойчивость по отношению к смазочно-охлаждающим жидкостям. Инструмент на керамической связке обладает значительной жесткостью, имеет высокую механическую прочность, вместе с тем отличается повышенными хрупкостью и чувствительностью к ударам и

изгибающим нагрузкам. Применение керамической связки позволяет изготавливать абразивный инструмент из всех абразивных материалов с различным содержанием как самого шлифовального материала, так и связки, регулируя тем самым структуру инструмента, его пористость. Благодаря разнообразию свойств инструмент на керамической связке применяют для большинства операций шлифования.

Органические связки для абразивного инструмента основаны на использовании термореактивных синтетических смол с температурой полимеризации 180—200 °С. Органические связки широко используют в производстве как крупнозернистого абразивного инструмента, применяемого для грубого обдирочного шлифования, так и мелкозернистого инструмента, обеспечивающего высокое качество обрабатываемой поверхности.

Металлические связки изготавливают из смеси или сплавов легкоплавких металлов (меди, олова, цинка, алюминия и др.), обладающих высокой стойкостью к истиранию. Металлические связки в основном используют в производстве абразивного инструмента на основе сверхтвердых материалов — алмаза и кубического нитрида бора. Абразивный инструмент на металлической связке является незаменимым при электрохимическом и электроэрозионном шлифовании.

Ограниченное применение имеют инструменты на силикатной и магнезиальной связках.

Магнезиальная связка представляет собой магнезиальный цемент, образующийся на воздухе при смешивании каустического магнезита и раствора хлористого магния. Инструмент на магнезиальной связке имеет низкую механическую прочность; из-за высокой способности самозатачиваться шлифование кругами на магнезиальной связке проходит с малой теплоотдачей. Магнезиальная связка гигроскопична, поэтому абразивный инструмент на ее основе должен храниться в сухом помещении.

Силикатная связка основана на использовании жидкого стекла с наполнителями. При нагревании до температуры 200—300 °С происходит твердение жидкого стекла. Силикатная связка достаточно прочная, но слабо закрепляет зерна абразивного материала, что обуславливает высокую самозатачиваемость кругов.

Структура. Абразивный инструмент состоит из абразивного материала, связки и пор, объемное соотношение

между которыми выражается в процентах: $V_3 + V_c + V_n = 100$, где V_3 — объем шлифовального зерна; V_c — объем связки; V_n — объем пор.

Структура абразивного инструмента определяется отношением объема шлифовального материала к объему инструмента, по существу характеризует расстояние между зернами абразивного материала. Структура абразивного инструмента считается *закрытой*, если объемное содержание абразивного материала высокое, а расстояние между зернами небольшое; и наоборот, структура будет *открытой* при малом содержании шлифовального материала и большом расстоянии между зернами. Разработана система структур абразивного инструмента, в которой структуру обозначают порядковым номером; всего 12 номеров. Содержание зерна в инструменте структуры № 1 равно 60 %. При уменьшении содержания зерна на 2 % номер структуры изменяется на единицу. С повышением номера структуры размеры каждой отдельной поры уменьшаются, а общая пористость остается неизменной. При средней структуре объем зерна составляет 46—52 %, при открытой 44—38 %, при закрытой — более 52 %.

В зависимости от вида операции и условий шлифования используют абразивный инструмент той или иной структуры. Наиболее широко применяют шлифовальные круги структур № 5—7. Структуры больших номеров используют для повышения кромкостойкости инструмента и при изготовлении тонких кругов, работающих при высоких нагрузках с наибольшими площадями контакта абразивного инструмента с обрабатываемым изделием. При большой площади контакта, значительных условиях прижима и снятия больших припусков, что имеет место при обдирочном, черновом шлифовании, как правило, используют инструмент с малыми номерами структур.

Твердость. Одним из главных параметров характеристики абразивного инструмента является его твердость. Твердость абразивного инструмента — способность абразивного инструмента сопротивляться нарушению сцепления между зернами шлифовального материала и связкой при приложении сосредоточенной нагрузки. Показателем твердости считают глубину разрушения или силу сопротивления разрушению. Определение твердости абразивных инструментов из электрокорундовых материалов и карбида кремния зернистостью 50—12 на керамической и бакелитовой связках произ-

водят пескоструйным методом по ГОСТ 18118—79, а зернистостью 12 и менее — методом вдавливания шарика по ГОСТ 19202—80.

Пескоструйным методом твердость измеряется на приборе, действие которого основано на разрушении поверхности абразивного инструмента струей кварцевого песка. Объем рабочей порции песка определяется объемом камеры прибора, равным 28 см³. Песок подается струей воздуха под давлением 0,05 или 0,15 МПа в зависимости от предполагаемой твердости абразивного инструмента. Глубину лунки измеряют в миллиметрах.

Для измерения твердости методом вдавливания шарика применяют приборы типа ТР (Роквелл) по ГОСТ 23677—79 со стальными шариками диаметром 5 или 10 мм по ГОСТ 3722—81. Твердость инструмента на эластичной вулканитовой связке определяется на приборе типа ТКН методом вдавливания конуса по ГОСТ 21323—75. Для установления степени твердости производят не менее трех измерений в различных максимально удаленных друг от друга точках абразивного инструмента. Показатель твердости определяется среднearифметическим значением глубин лунок.

Установлена следующая шкала степеней твердости абразивного инструмента: весьма мягкий — ВМ1 и ВМ2; мягкий — М1, М2, и М3; среднемягкий — СМ1 и СМ2; средний — С1 и С2; среднетвердый — СТ1, СТ2 и СТ3; твердый — Т1 и Т2; весьма твердый — ВТ, чрезвычайно твердый — ЧТ. Цифры 1, 2 и 3 обозначают возрастание твердости абразивного инструмента внутри степени. На твердость абразивного инструмента влияют как содержание связки, вид связки, размер абразивных зерен, так и размер пор, что, в свою очередь, зависит от прилагаемого давления при формовании инструмента. При постоянных количестве связки и зернистости шлифовального материала твердость инструмента можно изменять за счет уплотнения. При одинаковой твердости можно получать круги с разной пористостью за счет изменения содержания зерна в единице объема, т. е. структуры инструмента.

Получение заданной твердости обеспечивается соответствующими технологическими параметрами абразивного инструмента. Твердость — один из основных параметров характеристики абразивного инструмента, необходимых при выборе инструмента для конкретной операции абразивной обработки. Твердость абразивного инструмента для определенной операции должна быть

оптимальной, чтобы создавалась возможность затупившимся зернам вырываться из связки и тем самым вскрывать новые абразивные зерна. Таким образом происходит самозатачивание абразивного инструмента. При высокой степени твердости затупившиеся зерна не будут своевременно вырываться, что приводит к появлению прижогов. Следовательно, от твердости абразивного инструмента зависят качество обрабатываемой

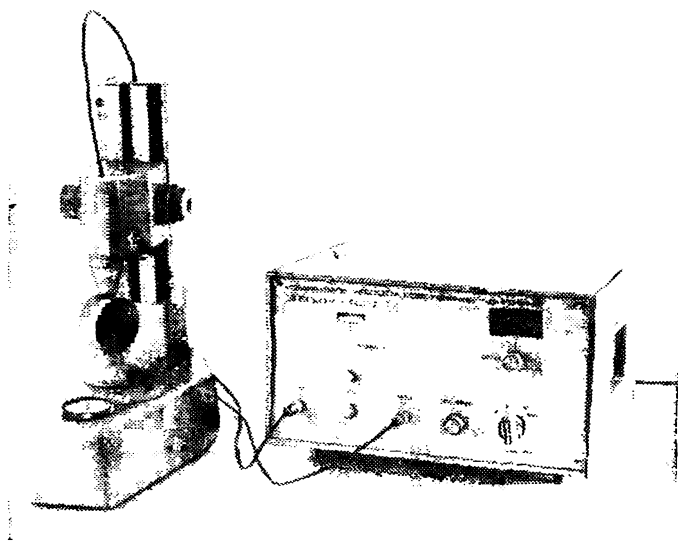


Рис. 4. Прибор «Звук-107» для определения твердости абразивных инструментов

поверхности, частота правки шлифовальных кругов, производительность обработки.

Новый косвенный способ определения твердости — неразрушающий метод акустического контроля — основан на связи между твердостью абразивных инструментов и скоростью распространения в них акустических колебаний. Измерение частот собственных колебаний абразивного инструмента производят на специальных электронных приборах «Звук-107» и «Звук-202» (рис. 4). По ГОСТ 25961—83 устанавливают порядок проведения акустического контроля. В качестве характеристики абразивного инструмента введен параметр C_t — приведенная скорость распространения акустиче-

ских волн. Для удобства этот параметр переведен в так называемые звуковые индексы (ЗИ). Так как этим методом определяют среднюю скорость распространения акустических колебаний, то измерения на приборах типа «Звук» характеризуют ориентировочную среднюю твердость инструмента в целом (табл. 4). Шкала значений

Таблица 4

Зависимость скорости распространения акустических волн в абразивном инструменте от его твердости

Степень твердости	C_p , (м/с) · 10 ² , для инструментов зернистостью			
	свыше 12	12—8	6—М40	М28 и менее
М2	37,9—41,3	38,4—41,6	36,8—39,8	35,4—38,0
М3	41,3—44,5	41,6—44,8	39,8—42,8	38,0—40,6
СМ1	44,5—47,5	44,8—47,4	42,8—45,2	40,6—42,8
СМ2	47,5—50,0	47,4—49,8	45,2—47,4	42,8—45,0
С1	50,0—52,2	49,8—52,0	47,4—49,4	45,0—46,8
С2	52,2—54,2	52,0—54,0	49,4—51,2	46,8—48,6
СТ1	54,2—56,1	54,0—55,8	51,2—52,8	48,6—50,2
СТ2	56,1—57,6	55,8—57,4	52,8—54,2	50,2—51,6
СТ3	57,6—58,7	57,4—58,8	54,2—55,6	51,6—53,0

Примечание. В таблице приведены приближенные данные.

звуковых индексов от 19 до 75 охватывает все основные виды абразивного инструмента. Ниже приведены наиболее часто встречающиеся ЗИ:

ЗИ	31	33	35	37	39	41	43
C_p , (м/с) 10 ²	30—32	32—34	34—36	36—38	38—40	40—42	42—44
ЗИ	45	47	51	53	55	57	59
C_p , (м/с) 10 ²	44—46	46—48	50—52	52—54	54—56	56—58	58—60

Абразивным инструментам на керамических связках из электрокорундовых и карбидкремниевых шлифовальных материалов, наиболее широко используемым в промышленности, соответствуют ЗИ 25—65; шлифовальным кругам на вулканитовой связке — ЗИ 19—36, инструментам на бакелитовой связке — ЗИ 31—51.

Механическая прочность. Абразивный инструмент в процессе эксплуатации испытывает значительные нагрузки, поэтому он должен обладать достаточным запасом прочности. Прочность на сжатие и растяжение всех видов абразивного инструмента различна. Предел прочности на сжатие превышает предел прочности на

растяжение у инструментов на керамической связке в 6—8 раз, на бакелитовой — в 3—4 раза.

Прочность на сжатие абразивного инструмента на керамической связке находится в пределах 50—100 МПа. Шлифовальные круги слабее сопротивляются разрывным усилиям; круги работают при скорости вращения 25—30 м/с и более, при этом развиваются большие центробежные силы и напряжения, превышающие предел прочности, что может вызвать разрыв круга. Поэтому прочность шлифовальных кругов должна обеспечивать безопасность работы. С этой целью круги подвергают испытанию на разрыв вращением на специальных испытательных станках.

Согласно требованиям ГОСТ 12.3.028—82 шлифовальные круги диаметром 150 мм и более, а также круги предназначенные для работы со скоростью вращения свыше 40 м/с диаметром 30 мм и более, должны быть испытаны на прочность при скорости вращения $v_{исп}$, превышающей рабочую скорость $v_{раб}$ в 1,5 раза. При этом прочность кругов должна соответствовать следующему условию: $v_{крит} > v_{исп} > v_{раб}$, где $v_{крит}$ — критическая скорость вращения шлифовального круга, при которой происходит его разрушение, м/с.

Прочность шлифовальных кругов зависит от вида абразивного материала, зернистости, твердости и структуры, типа и качества связки, отношения радиуса отверстия к радиусу круга. Прочность абразивного инструмента из карбида кремния значительно ниже прочности инструмента из электрокорундовых материалов. Уменьшение твердости инструмента и увеличение зернистости шлифовального материала приводят к снижению прочности инструмента. Кроме того, на прочность большое влияние оказывает качество технологии производства абразивных инструментов. В шлифовальных кругах при резких температурных перепадах во время обжига, особенно в процессе охлаждения, возникают внутренние напряжения, что также снижает их прочность.

Уравновешенность шлифовальных кругов. Если предположить, что шлифовальный круг абсолютно однороден во всех точках, то в случае абсолютной симметричности круга он может быть уравновешенным при условии, что центр массы круга находится на геометрической оси, которая совпадает с осью вращения. Но и при абсолютной симметричности относительно посадочного отверстия трудно обеспечить соосное расположе-

ние круга со шпинделем станка. Практически всегда имеются некоторые отклонения от идеальной симметричности формы и неравномерность плотности. Неуравновешенность кругов приводит к неравномерному и повышенному изнашиванию кругов, созданию дополнительной переменной нагрузки на опоры шпинделя, появлению вибрации, снижению качества обработанной поверхности. Значительная неуравновешенность может привести к разрыву круга. Поэтому при изготовлении и перед эксплуатацией шлифовальные круги должны быть уравновешены.

Неуравновешенность может быть статической и динамической. В случае *статической* неуравновешенности центр массы круга не совпадает с осью вращения, но находится с ней в одной плоскости. Такая неуравновешенность проявляется и у неподвижного круга: круг стремится повернуться в опорах до того момента, когда центр тяжести займет нижнее положение.

При *динамической* неуравновешенности две противоположные части круга имеют свои центры массы, которые расположены симметрично в одной плоскости с осью вращения. Общий центр массы установлен на оси вращения, и круг, находящийся в состоянии покоя, т. е. в статическом состоянии, уравновешен. Но при вращении образуются две центробежные силы, которые будут стремиться повернуть круг в направлении, перпендикулярном к его оси.

На практике почти всегда присутствует и статическая и динамическая неуравновешенность. Однако вследствие того, что шлифовальные круги имеют сравнительно небольшую высоту, плечо пары сил, вызывающих динамическую неуравновешенность, невелико, и сама неуравновешенность незначительна. Поэтому у шлифовальных кругов достаточно устранить статическую неуравновешенность. Цель статической балансировки — переместить центр массы круга на ось его вращения.

На заводах-потребителях перед установкой кругов на станок производят их балансировку. При обнаружении неуравновешенности после первой правки или в процессе работы балансировку повторяют. Статической балансировке согласно ГОСТ 3060—75 подвергаются шлифовальные круги на керамической, органической и специальных связках массой 0,2—300 кг и наружным диаметром 100 мм и более. В зависимости от допускаемых неуравновешенных масс установлены четыре класса

неуравновешенности шлифовальных кругов (см. табл. 5).

Контроль неуравновешенности производят на станках для статической балансировки (рис. 5), основной

Таблица 5

**Допускаемые неуравновешенные массы
шлифовальных кругов**

Масса круга, кг				Допускаемые неуравновешенные массы, г, для классов неуравновешенности			
				1	2	3	4
Свыше	0,2	до	0,25	2,5	4	6	12
»	0,25	»	0,30	2,5	4,5	7	14
»	0,30	»	0,40	3	5	7,5	15
»	0,40	»	0,50	3,5	5,5	9	17
»	0,50	»	0,63	4	6	10	20
»	0,63	»	0,80	4,5	7	11	22
»	0,80	»	1,00	5	7,5	12	25
»	1,00	»	1,25	5,5	9	14	27
»	1,25	»	1,60	6	10	15	30
»	1,60	»	2,00	7	11	17	35
»	2,00	»	2,50	7,5	12	20	40
»	2,50	»	3,00	9	14	22	45
»	3,00	»	4,00	10	15	25	50
»	4,00	»	5,00	11	17	27	55
»	5,00	»	6,00	12	20	30	60
»	6,00	»	8,00	14	22	35	70
»	8,00	»	10,00	15	25	40	75
»	10,00	»	12,50	17,5	27	45	85
»	12,50	»	16,00	20	30	50	95
»	16,00	»	20,00	22	35	55	110
»	20,00	»	25,00	25	40	60	120
»	25,00	»	30,00	27	45	65	135
»	30,00	»	40,00	30	50	75	150
»	40,00	»	50,00	35	55	85	170
»	50,00	»	63,00	40	60	95	190
»	63,00	»	80,00	45	65	110	215
»	80,00	»	100,00	50	75	120	240
»	100,00	»	125,00	55	85	135	270
»	125,00	»	160,00	60	95	150	300
»	160,00	»	200,00	70	110	170	340
»	200,00	»	250,00	75	120	190	380
»	250,00	»	300,00	85	130	210	420

частью которых являются два параллельно расположенных цилиндрических валика одинакового диаметра. Круг на стальной балансировочной оправке твердостью не ниже 51 HRC₂ устанавливают на балансировочный станок и легким толчком придают ему медленное вра-

щении. Тяжелая часть круга стремится занять крайнее нижнее положение. После остановки круга отмечают верхнюю точку его периферии и к ней крепят зажим с грузом определенной массы. Груз подбирают до тех пор, пока круг не будет находиться в безразличном состоянии равновесия. Массы груза и зажима определяют неуравновешенную массу круга. Круги с неуравновешенностью, превышающей допустимую, бракуют. При использовании шлифовальных кругов в зависимости от точности их установки во фланцы и на шпинделе станка неуравновешенность круга может измениться.

Поэтому круги подвергаются балансировке непосредственно на шлифовальных станках, для чего предусмотрены специальные фланцы и балансирующие механизмы.

7. Абразивный инструмент на керамической связке

Характеристика керамических связок. Абразивные инструменты на керамических связках являются наиболее широко распространенными. Это обусловлено в первую очередь тем, что использование керамической связки позволяет изготавливать инструменты самых различных типоразмеров (рис. 6).

На керамической связке отечественной промышленностью выпускаются инструменты из всех видов абразивного материала. Керамическая связка, как правило, представляет собой многокомпонентные смеси, находящиеся в исходном состоянии в виде порошка. Это позволяет обеспечить равномерное распределение связки между отдельными зернами шлифовального материала.

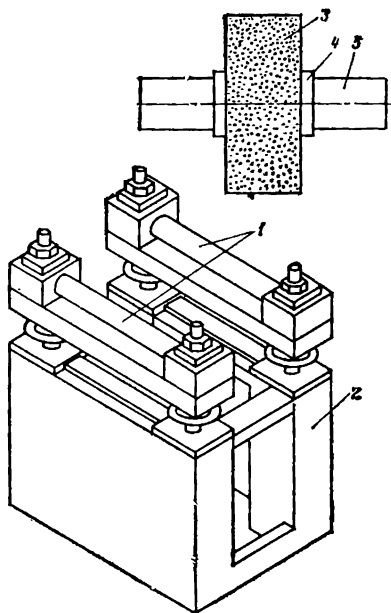


Рис. 5. Балансировочный станок моделей СБ-200, СБ-400:

1—параллельные цилиндрические валики; 2—станина; 3—шлифовальный круг; 4—посадочная втулка; 5—оправка

При высоких температурах во время обжига абразивных инструментов связка плавится и переходит полностью или частично в жидкое состояние, затем при снижении температуры, остывая, затвердевает и скрепляет абразивные зерна.

В зависимости от различного состояния во время термообработки абразивных инструментов керамические связки подразделяют на плавящиеся и спекающиеся.



Рис. 6. Шлифовальные круги на керамической связке

ся. *Плавящиеся* связки почти полностью переходят в жидкое состояние и при охлаждении превращаются в стекло, поэтому они получили и другое название — *стекловидные*. *Спекающиеся* связки частично переходят в жидкое состояние и при охлаждении приобретают фарфоровидное состояние.

Состав керамических связок определяется видом абразивного материала и назначением абразивного инструмента, а также действующим технологическим процессом производства инструмента. Так, в отечественном абразивном производстве для изготовления инструментов только из электрокорундовых материалов применяют до 10 марок керамических связок. Плавящиеся связки различных марок (К1, К2, К4, К5, К6, К8, К43) используют для изготовления инструмента из корундовых материалов. Во время обжига инструмента плавящиеся связки взаимодействуют с зерном абразивного материа-

ла, что приводит к повышению прочности самой связки и инструмента в целом. Для изготовления инструментов из карбида кремния, как правило, применяют спекающиеся связки, например, КЗ. Спекающиеся связки не взаимодействуют с абразивным материалом, и прочность удержания зерна в основном определяется механическими свойствами связки, частицы которой спекаются друг с другом.

Огнеупорность связок зависит от их состава. Плавящиеся связки характеризуются более низкой температурой плавления, чем спекающиеся. Огнеупорность плавящихся реакционноспособных и обеспечивающих высокую прочность связок может быть на 200—300 °С ниже температуры обжига, у спекающихся связок огнеупорность всегда выше максимальной температуры обжига. Химический состав и огнеупорность наиболее распространенных керамических связок приведены в табл. 6.

Для получения связок с заданными химическим составом и физико-механическими свойствами используют разные минеральные материалы: различного рода глины и каолин, полевошпатовые материалы, тальк и др. Применение глин и каолина обусловлено их высокими связующей способностью и огнеупорностью, большой пластичностью. Для снижения температуры плавления связок, состоящих из огнеупорных материалов, в состав связок вводят полевой шпат, пегматит, тальк, борное стекло и др. От равномерности распределения компонентов во всем объеме связки зависит однородность свойств абразивного инструмента. Однородность состава связки достигают путем смешивания предварительно измельченных исходных материалов.

Полевой шпат, пегматит, борное стекло и подобные материалы измельчают в шаровых мельницах с внутренней буковой футеровкой диабазовыми или уралитовыми шарами. Измельченные материалы подвергают контролю на содержание магнитного материала, гранулометрический состав и влажность. Для приготовления связки идут порошки исходных материалов с размерами частиц менее 80 мкм.

Приготовление связок может быть осуществлено тремя способами: *сухим*, заключающимся в смешивании измельченных материалов в воздушно-сухом состоянии; *мокрым*, или шликерным, основанном на смешивании компонентов связки в значительном количестве воды; *фриттования*, или сплавления исходных,

составляющих связку, материалов с последующим измельчением сплава.

Наиболее распространенным является сухой способ, как самый простой и экономичный. Для смешивания связки используют разного типа смесители. Большую

Таблица 6

Химический состав, потери при прокаливании и огнеупорность керамических связок

Марка связки	Массовая доля компонентов, %				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
			не более		
К1	61—66	14—20	5	1	3
К3	59—65	19—24	1	1	1
К4	58—64	17—21	1,5	1	2
К5	60—66	14—17	1,5	1	4
К6	60—65	16—20	1	1	2
К8	55—60	20—26	1	1	5
К43	50—56	14—17	1	1	—

Марка связки	Массовая доля компонентов, %			Потери при прокаливании, не более	Огнеупорность, °С
	Ba ₂ O ₃	BaO, не менее	K ₂ O + Na ₂ O		
К1	—	—	8—10	5	1160—1200
К3	—	—	7—8	7	1350—1450
К4	4—6	—	5—6	7	1200—1250
К5	5—7	—	5—8	7	1140—1160
К6	—	3	12—15	6,5	1200—1230
К8	—	—	4—5	7	1250—1280
К43	4—6	—	5—8	5	900—950

степень однородности связки достигают при смешивании в шаровой мельнице с шарами.

Для приготовления связок мокрым способом измельченные исходные материалы взвешивают согласно дозировке компонентов и загружают в шаровую мельницу вместе с фарфоровыми шарами, куда добавляют воду в количестве, обеспечивающем получение смеси в виде шликера. Вода обычно составляет около 60 % от общей массы. Чем больше в связке глины, тем больше требуется воды. При мокром способе употребляют материалы большей крупности. Смешивание производят

до 8 ч и более. Полученный шликер обезвоживают сухой или с помощью специальных фильтр-прессов. Обезвоженную до воздушно-сухого состояния связку измельчают в шаровой мельнице до необходимой крупности частиц. Связка, приготовленная мокрым способом, отличается более высокой степенью однородности по сравнению со связкой, полученной сухим способом. Недостатками мокрого способа являются длительность процесса и неэкономичность.

Для приготовления связки способом фриттования исходные материалы, составляющие связку, дозируют и смешивают. Полученная смесь (шихта) сплавляется при температуре 1300—1700 °С до образования стекла, называемого в этом случае фриттой. Сплавление фритты производят в специальных стекловаренных печах. Фриттование обеспечивает получение связки наиболее высокой степени однородности, что улучшает качество абразивного инструмента. Кроме того, обжиг инструмента на фриттованной связке происходит при более низкой температуре. Однако этот способ трудоемок и дорог и используется лишь для изготовления специальных и скоростных шлифовальных кругов.

Для получения качественной связки непременным условием является точность дозировки компонентов и полнота смешивания. Отклонения, допущенные при приготовлении связки, могут привести к браку инструмента.

Изготовление абразивного инструмента на керамической связке. Процесс производства абразивного инструмента на керамической связке состоит из следующих операций: приготовление формовочной смеси, формование изделия, термическая обработка, механическая обработка.

В абразивном производстве применяют два способа формования абразивных изделий: *прессование* и *шликерное литье*.

В основном формование абразивного инструмента производят способом полусухого прессования. Для прессования изделий готовят формовочные смеси путем смешивания заданных количеств шлифовального материала связки и увлажнителя. Увлажнители, играющие роль временного связующего, вводят в смеси сухих порошков для придания смеси формовочных свойств, т. е. способности сохранять форму изделия после формования. Кроме того, увлажнители препятствуют расслоению компонентов смеси при хранении и укладке

ее в пресс-формы. В качестве увлажнителя применяют жидкое стекло или декстрин; эти увлажнители обладают хорошими клеящими свойствами.

Жидкое стекло представляет собой водный раствор силиката натрия, его используют в основном для приготовления крупнозернистых смесей из шлифовальных материалов на основе корунда. Декстрин — продукт гидролиза крахмала — применяют в виде порошка или растворов для мелкозернистых формовочных смесей и

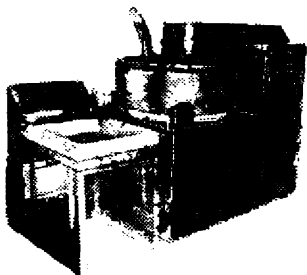


Рис. 7. Смесительная машина
СМ-200К

в первую очередь для карбидокремневых материалов. Увлажнитель вводят в количестве, необходимом для получения формовочных смесей относительной влажности 1,8—2,5 %, что обеспечивает оптимальную механическую прочность свежееформованных изделий.

Однородность физико - механических свойств по всему объему инструмента зависит прежде всего от равномерности распределения зерна и связки. Поэтому установлена определенная последовательность загрузки компонентов в смесительное оборудование. В результате смешивания получают однородную сыпучую смесь гранул, представляющих собой абразивные зерна, покрытые пленкой увлажнителя и связки. Такой способ приготовления формовочных смесей применяют для шлифовальных материалов зернистости 16 и крупнее. Для абразивных материалов зернистости 12 и мельче сначала в шаровой мельнице готовят сухую смесь из абразива, связки и декстрина, а затем при перемешивании в мешалке ее увлажняют водой.

Для приготовления формовочных смесей используют лопастные смесители (рис. 7) разных конструкций, различающихся формой лопастей и видом их движения, формой и вместимостью чаши, способом разгрузки и видом привода. В основном применяют смесители с чашами цилиндрической формы и прямыми лопастями, имеющими планетарное движение. Приготовление мел-

козернистых смесей производят чаще всего в смесителях с чашей сферической формы и криволинейными лопастями. По окончании смешивания формовочную смесь из чаши смесителя подают на протирку через сетку с крупными ячейками для разрушения образующихся комков и удаления случайно попавших инородных тел.

Приготовленную формовочную смесь в металлических закрытых емкостях подают на участок формования, где формируют заготовки, по форме и размерам близкие к готовым изделиям с прочностью, достаточной для транспортировки и дальнейшей их обработки.

В производстве абразивных инструментов на керамической связке основным видом формования является прессование полусухих смесей. Прессование осуществляют в пресс-формах (рис. 8) на гидравлических прессах, оснащенных средствами дозирования, укладки, разравнивания смеси и съема отформованной заготовки инструмента.

Дозирование смеси производят либо весовым, либо объемным способом. В качестве весовых дозаторов применяют торговые весы. Взвешенную навеску смеси укладывают в пресс-форму и разравнивают специальными механизмами или вручную с помощью специальных приспособлений. Объемное дозирование производят с помощью специальной кассеты, в основном при формировании брусков, или подачей формовочной смеси в пресс-форму посредством сжатого воздуха. Операции дозирования и укладки смеси в пресс-форму совмещают. Погрешность объемного дозирования несколько выше, чем весового, но при использовании для укладки сжатого воздуха не превышает 3%. При этом достаточно равномерное распределение смеси по всему заполняемому объему пресс-формы достигается лишь для сравнительно небольших изделий: для кругов диаметром до 400 мм и высотой не более 50 мм.

Прессование абразивных инструментов производят со скоростью движения плунжера пресса 0,3—3,0 см/с. Рекомендуется начинать прессование при больших скоростях, а заканчивать — при меньших. При прессова-

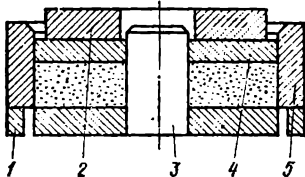


Рис. 8. Схема пресс-формы для прессования кругов прямого профиля:

1 — подкладки для подпрессовки; 2 — прижимные (добавочные) плиты; 3 — оправка; 4 — рабочие плиты; 5 — кольцо

нии заготовок из мелкозернистых материалов при достижении максимального давления дается выдержка в течение нескольких секунд. На рис. 9 показан общий вид формовочного агрегата модели АФА-16.

Формовочные смеси в зависимости от зернистости и вида шлифовального материала, от содержания связки

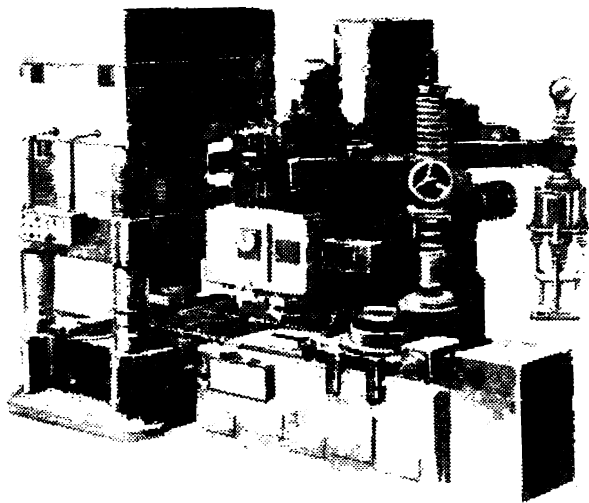


Рис. 9. Формовочный агрегат АФА-16

и увлажнителя обладают различной способностью к уплотнению. Для получения необходимой плотности давление прессования должно быть не более 30 МПа. При прессовании мелкозернистых смесей давление несколько выше, чем при прессовании крупнозернистых. Зная давление и площадь формуемого изделия, рассчитывают необходимое усилие прессования: $P = pF/1000$, где p — давление прессования, МПа; F — площадь прессования, см².

При прессовании часть прилагаемого усилия затрачивается на преодоление сил трения между формовочной смесью и стенкой пресс-формы, и на нижние слои смеси передается усилие, меньшее на величину силы трения. Это вызывает неравномерное уплотнение смеси по высоте заготовки. Так как разная плотность круга

и, соответственно, его неравномерная твердость приводит к неравномерному изнашиванию круга при шлифовании, то для изготовления абразивных инструментов следует применять двухстороннее прессование. Двухстороннее прессование осуществляют прессами с двухсторонним давлением или другими различными приспособлениями. Для повышения равномерности уплотнения (особенно для крупногабаритных кругов) применяют в качестве верхней формовочной плиты гидроплиту (рис. 10). Принцип действия гидроплиты заключается в том, что давление плунжера прессы передается не через поверхность жесткой металлической плиты, а через эластичную прокладку, представляющую собой резиновую гидроподушку, заполненную водой.

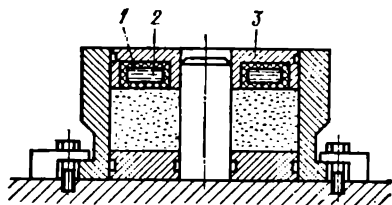


Рис. 10. Схема пресс-формы с гидроплитой:

1 — резиновая гидроподушка; 2 — вода;
3 — стальная гидрообойма

Применение гидроплиты дает возможность получения высокой равномерности плотности изделия по всей площади, что обеспечивает равномерность твердости готового инструмента. После снятия давления прессованные заготовки абразивного инструмента с помощью выталкивателя извлекаются из пресс-форм. Применяют гидравлические или пневматические выталкиватели, иногда механические. Отформованные изделия поступают на термическую обработку.

Термическая обработка — ответственный этап технологии изготовления абразивного инструмента, так как в процессе термической обработки, при обжиге, в результате физико-химических преобразований в системе абразивный материал — связка реализуются основные свойства инструмента: прочность, твердость, пористость и т. п. Основная цель термической обработки — максимально полно скрепить связкой зерна абразивного материала.

Термическая обработка включает два этапа: сушку и обжиг.

Сушка — это низкотемпературный термический процесс, при котором в результате удаления влаги изделие приобретает достаточно высокую механическую прочность и подготавливается для дальнейших операций, связанных с обжигом: транспортировки и укладки на

плиты печей. Удаление влаги необходимо, так как интенсивное испарение при нагреве во время обжига приводит к образованию брака — усадочных трещин. Наиболее распространенными способами сушки абразивных изделий являются: конвективная сушка, т. е. сушка движущимися газами, и радиационная сушка — сушка излучением нагретых элементов. В первом случае, как правило, применяют теплоноситель в виде отходящих

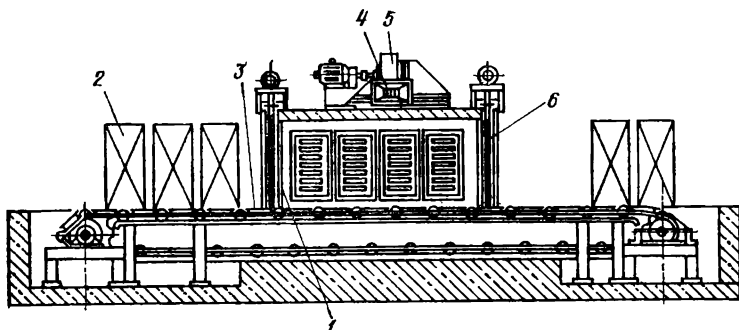


Рис. 11. Туннельное сушило:

1—камера; 2—этажерка; 3—транспортёр; 4—электрокалорифер; 5—центральный вентилятор; 6—раздвижные двери

газов и нагретого воздуха, во втором — электрические нагреватели (спирали, стержни).

Для сушки применяют сушила двух типов. Первый тип — сушила периодического действия — представляет собой камеры, в которых поставленные на этажерки сырцы сушат по программе, после чего изделия выгружают. Второй тип — сушила непрерывного действия, как правило, туннельные. Для всех участков туннеля устанавливают режимы нагрева, выдержки и охлаждения. Этажерки с сырцом плавно и непрерывно продвигаются внутри туннеля (рис. 11). Режимы сушки: максимальная температура сушки — $120^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$; относительная влажность в сушиле для крупнозернистых изделий — $40\% \pm 10\%$, для мелкозернистых (более склонных к усадке) — $60\% \pm 10\%$.

Для изделий небольших размеров, которые высыхают сравнительно быстро, как правило, применяют естественную сушку. В этом случае изделия от 4 до 24 ч в зависимости от размеров выдерживают в помещении перед печами, а затем направляют на обжиг. При естественной сушке необходимо поддерживать в производ-

ственном помещении температуру $20^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ и влажность 40—60 %.

Обжиг абразивных изделий состоит из трех этапов: нагрева, выдержки при заданной максимальной температуре и охлаждения. Максимальная температура термообработки абразивного инструмента составляет $1250^{\circ} \text{C} \pm 30^{\circ} \text{C}$. Для проведения обжига абразивных изделий применяют печи двух типов: периодического и непрерывного действия.

Печи периодического действия представляют собой камеры, в которых погруженные на огнеупорные полки изделия обжигают по программе, как правило, в автоматическом цикле. К таким печам относятся печи, работающие на газообразном и жидком топливе, а также с электрообогревом. Применяют печи камерного типа (изделия вносятся и удаляются после обжига вручную или механизмами), колокольного типа (печью накрываются изделия, погруженные на открытую площадку) и с выдвижным подом (в печь вдвигается этажерка, загруженная изделиями вне печи).

Печи непрерывного действия (газовые, на жидком топливе и электрические) различают двух типов: туннельные и щелевые. Туннельные печи — самые производительные и экономичные — применяют для обжига изделий наиболее массового ассортимента: крупнозернистых шлифовальных кругов всех размеров. Туннельную печь загружают непрерывно движущимися печными вагонами, в которых на огнеупорных плитах установлены изделия. Щелевые печи используют для обжига мелкозернистого инструмента сложного профиля и специального назначения. Щелевая печь — туннель, через который продвигаются плиты с изделиями. Щелевые печи могут иметь несколько щелей (рис. 12).

Печи непрерывного действия оснащены средствами автоматического регулирования подачи газа и воздуха в зависимости от изменения температуры; в электрических печах регулируется мощность нагревательных элементов.

После термообработки обожженные абразивные изделия (кроме некоторых видов изделий малого размера) подвергают механической обработке.

При механической обработке абразивных изделий в основном используют традиционные приемы обработки резанием с введением специфических операций, связанных с обработкой материалов высокой твердости. К таким операциям относятся подбор режимов резания и

режущего инструмента, герметизация станков и удаление абразивных отходов.

Основная схема технологии механической обработки и контроля шлифовальных кругов состоит в следующем: обработка торцовых поверхностей, отверстий, цилиндрических поверхностей (периферии) кругов прямого профиля. выточка фасонных поверхностей профиль-

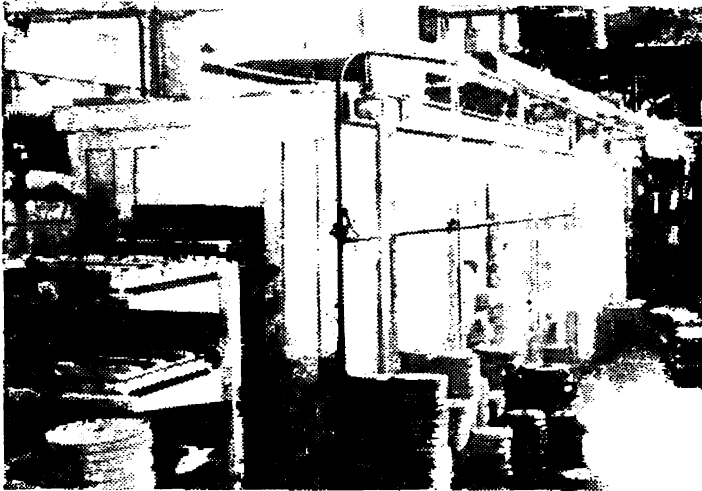


Рис. 12. Трехщелевая электрическая печь для обжига абразивного инструмента на керамической связке

ных кругов, контроль неуравновешенности кругов, твердости, прочности, маркировка и упаковка.

Обработку торцовых плоских поверхностей абразивных кругов и брусков осуществляют в основном на карусельных плоскообдирочных станках (типа КШ); иногда торцы кругов диаметром более 50 мм обрабатывают на токарно-лобовых станках (типа РТ). Для повышения точности применяют алмазную обработку плоскостей на металлообрабатывающем станке модели ЗД-756 (рис. 13) или станках модели ВСЗ-30 карбидокремниевыми сегментами.

Изделия укладывают на вращающийся в горизонтальной плоскости стол плоскообдирочного станка и прижимают вращающимися планшайбами верхних шпинделей. Обработку производят зерном из отбелен-

ного чугуна марки ДЧК по ГОСТ 11964—81, насыпаемого ровным слоем на стол. Зерно попадает под изделие и срезает (скалывает) нижний слой ее торца. В зависимости от зернистости абразивного изделия подбирается крупность чугунного зерна. Чем зерно крупнее, тем выше производительность станка, но тем грубее будет обработанная поверхность.

Обработку отверстий шлифовальных кругов осуществляют в целях создания точной базы для последующей обработки цилиндрической наружной поверхности кругов. Точность обработки посадочного отверстия — наиболее важный элемент точности шлифовального круга, влияющий на его неуравновешенность.

Для обработки отверстий применяют токарно-лобовые станки типа РТ с усиленной жесткостью суппорта, мощной вентиляцией и герметизацией вращающихся деталей. Изделие крепится за периферическую часть круга, а инструментами служат либо конусные резцы из закаленной инструментальной стали с твердостью 59—63 HRC, либо твердые (твердости Т2 и более) шлифовальные круги из карбида кремния.

Наиболее прогрессивным методом обработки отверстий кругов является расточка алмазной фрезой. В этом случае в зону резания подается охлаждение, а круг после обработки подвергают сушке. Алмазный инструмент обеспечивает получение исключительно чистой и точной поверхности отверстий, но из-за высокой стоимости применяется для обработки инструментов только высших классов.

Расточку посадочных отверстий диаметром 32—127 мм производят на внутришлифовальных станках модели ВШИ алмазными роликами типа АПР-2. В ряде случаев для улучшения качества поверхности посадочного отверстия ее подвергают калибровке путем заливки пластмассой, свинцом, серой и т. п.



Рис. 13. Металлообрабатывающий станок модели ЗД756 для алмазной обработки торцов шлифовальных кругов

Обработку цилиндрической наружной поверхности и профилирование фасонных поверхностей производят на станках токарной группы абразивными кругами на бакелитовой или керамической связках. Иногда применяют двухступенчатую обработку: предварительную — резцом, окончательную — кругом с помощью шлифовальной машинки. Обрабатываемое изделие базируют по уже обработанному отверстию, в результате чего достигается необходимая точность обработки.

В соответствии со стандартами обработанные изделия подвергают в дальнейшем контролю на неуровненность и твердость. После контроля твердости и балансировки абразивный инструмент поступает на проверку механической прочности на разрыв вращением на испытательных стендах. Испытания на механическую прочность производят в соответствии с ГОСТ 12.3.028—82 и ГОСТ 2424—85. Выдержавшие контрольные испытания изделия маркируют и упаковывают.

В ряде случаев для формирования абразивного инструмента в основном из тонких шлифпорошков используют метод шликерного литья.

Технологический процесс производства абразивных изделий методом холодного литья состоит из следующих технологических операций: изготовление гипсовых форм; приготовление шликера (текучей смеси); разливка шликера в формы; сушка на воздухе и в сушилке; обжиг заготовок; механическая обработка; контроль; маркировка и упаковка.

Особенностью процесса производства инструмента холодным литьем, в отличие от метода полусухого прессования, является приготовление жидких смесей — шликеров, содержащих до 80 % воды. Шликер готовится в шаровых фарфоровых барабанах либо в кувшинных мешалках. Готовый шликер заливают в формы, состоящие из гипсовой плиты, металлической стенки и фильтрующей ткани. Через 12—15 ч, когда сформируется сырец, металлическую стенку снимают, а заготовку устанавливают на сушильную плиту.

Сушку заготовок производят в два этапа: в помещении при температуре 20—25 °С в течение суток, в сушиле при максимальной температуре 110 °С. Время сушки в сушиле составляет 30—48 ч во избежание появления усадочных трещин. Последующие операции отличаются от аналогичных операций изготовления абразивных изделий методом полусухого прессования.

Данный технологический процесс позволяет получить высокооднородные по своему составу массы и, соответственно, изделия из тонких микропорошков зернистостью М28 и мельче.

В последние годы разработан новый способ формирования абразивных изделий с использованием метода горячего литья под давлением. Такой способ применяют для изготовления малогабаритных кругов диаметром 1—3 мм и брусков из шлифовальных материалов зернистостью 12 и мельче на керамических связках.

Горячее литье по сравнению с методом полусухого прессования и холодного литья в гипсовые формы позволяет получать абразивные инструменты более высокой степени однородности, точных геометрических размеров, высокой механической прочности свежезаформованного изделия.

Данный технологический процесс отличается тем, что для формирования изделий используют литейный шликер, представляющий собой смесь абразивного материала и керамической связки в расплавленной органической термопластичной связке. Термопластичную связку вводят временно для придания литейных свойств смеси при температуре плавления и формования изделия при охлаждении. Затем во время термообработки органическую связку удаляют. В качестве термопластичной связки применяют парафин с добавками воска и поверхностно-активных веществ.

Метод горячего литья под давлением характеризует-ся большой производительностью и обеспечивает высокую стабильность свойств инструмента.

Технологический процесс горячего литья состоит из последовательно выполняемых операций: приготовления шликера (смешивания шлифовального материала с керамической связкой, подготовки термопластичной связки и совместного смешивания); отливки изделий на специальной установке — литейной машине; обжига изделия; контроля качества; маркировки и упаковки.

Приготовление шликера производят в пропеллерных мешалках с подогревом при температурах 80—90 °С с одновременным вакуумированием для удаления воздушных включений, образующихся при интенсивном перемешивании и снижающих качество шликера и готового инструмента. В процессе литья под давлением металлическая форма заполняется горячим шликером, выдерживается под давлением в течение времени,

необходимого для отверждения шликера в форме, затем отливку извлекают из формы.

Обжиг отлитых изделий производят в минеральной засыпке, как правило, в техническом глиноземе, для обеспечения равномерного удаления органической связки и сохранения формы изделий до достижения необходимой прочности. После обжига изделия подверга-

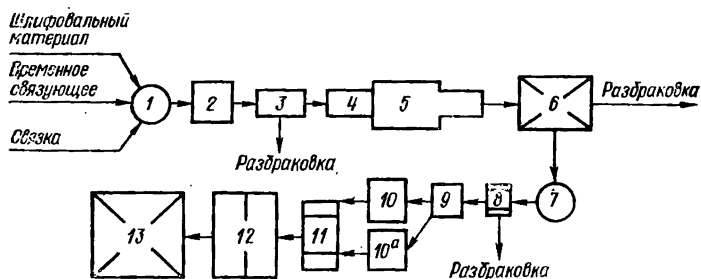


Рис. 14. Типовая технологическая схема поточно-механизированной линии для изготовления абразивного инструмента на керамической связке:

1— дозирование; 2— смешивание; 3— формование; 4— сушка; 5— обжиг (операции сушки и обжига совмещены); 6— промежуточное складирование и группирование деталей; 7— предварительная обработка торцов; 8— предварительный контроль твердости; 9— обработка отверстий; 10, 10а— обработка периферии; 11— окончательный контроль твердости; 12— балансировка и маркировка; 13— складирование и упаковка

ют дальнейшим операциям, аналогичным операциям процесса производства.

Наиболее рациональным является такой технологический процесс, при котором все операции (1—13) производства абразивного инструмента совмещены в единую поточно-механизированную линию (рис. 14). Такая линия, управляемая автоматической системой на основе ЭВМ, обеспечивает наибольшую производительность, исключает ручной труд и повышает стабильность качества выпускаемой продукции.

Возможность для реализации производства шлифовальных кругов на поточно-механизированной линии создает упрочнение свежезаформованных заготовок кругов после выталкивания из пресс-форм методом продувки углекислого газа CO_2 . Углекислый газ, взаимодействуя с жидким стеклом круга в течение 20—50 с, приводит к быстрому и значительному повышению прочности сырца, позволяющей без повреждений производить последующие операции.

8. Абразивный инструмент на бакелитовой связке

Абразивный инструмент на бакелитовой связке предназначен в основном для операций обдирочного высокопроизводительного шлифования, резки и прорезки, т. е. таких видов абразивной обработки, при которых снимается большое количество металла в единицу времени.

Сырьевые материалы. Наиболее распространенными абразивными материалами, используемыми в инструменте на бакелитовой связке, являются нормальный электрокорунд марок 13А, 14А, черный карбид кремния марок 53С, 54С и циркониевый электрокорунд марки 38А. Все эти материалы характеризуются высокими прочностью и ударной вязкостью, т. е. способны успешно противостоять большим нагрузкам при шлифовании. Особенно высокой прочностью отличается циркониевый электрокорунд, вследствие чего его применяют при изготовлении инструмента для обдирочного шлифования при скоростях более 60 м/с и усилиях прижима круга на деталь свыше 5000 Н. В качестве основы связки абразивного инструмента используют искусственную формальдегидную смолу — *бакелит*. Порошкообразный бакелит часто называют пульвербакелитом.

Порошок бакелита и жидкий бакелит поступают на абразивный завод в готовом виде, поэтому приготовление этих компонентов связки сводится только к их контролю и иногда к изменению вязкости жидкого бакелита.

Порошок бакелита имеет гранулометрический состав, близкий по размерам к керамической связке — 63—80 мкм, температуру плавления 105—115 °С, содержание свободного фенола 5,5 %. Предел прочности на разрыв образцов не менее 13 МПа.

Жидкий бакелит представляет собой вязкую жидкость плотностью 1,10—1,15 кг/м³. Он растворяется в спирте, ацетоне и фурфуроле. Вязкость применяемого в абразивном производстве жидкого бакелита составляет 5—400 с в зависимости от требований, предъявляемых к смеси. Вязкость можно изменять растворителями.

Проверенные порошок и жидкий бакелит хранят в герметически закрытых сосудах при температуре не более 20 °С.

Приготовление формовочных смесей. Составление рецептур абразивных смесей для формования необходимо

при получении заданных твердости и структуры инструмента с учетом их зависимости от зернистости абразивного материала.

На твердость оказывают влияние количество связки, режим термообработки (полимеризации или бакелизации) и другие факторы. Между твердостью и структурой инструмента имеется следующая связь: в крупнозернистых изделиях снижение пористости на каждые 3 % приводит к увеличению твердости на одну степень. Так, при 39 % пористости твердость изделия МЗ, а при 15 % — Т1.

Подготовку абразивных смесей на бакелитовой связке производят в зависимости от назначения инструмента. Для обдирочного инструмента высокой твердости часто применяют смесь зерен двух-трех смежных номеров, что повышает плотность инструмента. Для инструмента с открытой структурой, работающего в мягких шлифовальных режимах, и инструмента к ручным машинкам применяют шлифовальное зерно одной зернистости. Иногда используют смесь разных материалов, например карбида кремния и электрокорунда.

Для улучшения рабочих свойств инструмента (пористости, хрупкости и т. п.), т. е. для увеличения способности к самозатачиванию, применяют наполнители двух видов:

вещества, повышающие пористость, например поваренная соль; в готовых изделиях она растворяется, образуя поры; изредка применяют нафталин, который возгоняется в процессе термообработки;

хрупкие материалы, которые выкрашиваются, образуя поры непосредственно при шлифовании: известняк, мрамор, гипс, уголь, кварц и т. п.; особенно часто употребляют полуводный гипс, введение которого, кроме того, уменьшает количество летучих веществ при бакелизации, устраняет возможность появления так называемого вспучивания, ускоряет отверждение смолы при нагреве.

Повышению прочности изделий способствуют вводимые в состав порошкообразные асбест, каолин, глина, криолит и т. п., повышению теплопроводности — металлические композиции или пирит.

Приготовление формовочной смеси заключается в перемешивании необходимых материалов со связкой.

Для приготовления смесей на основе жидкого бакелита используют смесители, в которых смесь интенсив-

но перетирается. Длительность смешивания до образования вязкой массы составляет 15—20 мин.

Для получения смесей на основе пульвербакелита применяют методы перемешивания, аналогичные приготовлению смесей на керамической связке; в качестве временных связующих используют растворители или жидкий бакелит. В результате перемешивания добиваются получения сыпучей, но клейкой смеси, пригодной для полусухого прессования.

Формование. Существует несколько способов формования изделий на бакелитовой связке: холодное полусухое прессование; горячее прессование; раскатывание и прокатывание тонких кругов.

Холодное прессование принципиально не отличается от полусухого прессования абразивных изделий на керамической связке. Однако следует учитывать, что бакелитовая смесь (особенно на связке из жидкого бакелита) менее сыпуча и имеет большую вязкость. Поэтому, чтобы смесь не прилипла к пресс-форме, ее очищают и смазывают растворителем, а при укладке в пресс-форму смесь тщательно разравнивают. Разравнивание и укладку смеси производят, как правило, специальным валиком, а прессование в последнее время осуществляют с применением гидроплиты.

Горячее прессование, особенно кругов и сегментов, предназначенных для работы с высокими (более 60 м/с) скоростями, а также отрезных кругов, осуществляется на гидравлических прессах, снабженных нагревательными плитами. Процесс формования в этом случае совмещен с процессом термообработки при температуре $(180 \pm 10)^\circ\text{C}$. При этом формование может проходить: в одну стадию, когда термообработку и прессование в течение определенного времени (до 1 ч) производят в той же пресс-форме, и в две стадии, когда отформованный холодным способом сырец укладывают в другую форму и подвергают термообработке на другом прессе, снабженном нагревателями. Горячим способом формуют в основном изделия из смесей на основе порошка бакелита, так как большое количество летучих веществ в жидком бакелите (до 15 %) приводит к вспучиванию изделий.

Для получения максимально прочного инструмента, выдерживающего большие скорости при работе, в круги закладывают упрочняющие стальные кольца или армирующие сетки из стекловолокна. В этом случае на веску засыпают и разравнивают по частям: сначала

первую часть, затем укладывают кольцо (сетку), потом вторую часть, кольцо и т. д.

На рис. 15 показаны круги с упрочняющими элементами.

Бакелизация. Термическая обработка абразивного инструмента на бакелитовой связке называется *бакелизацией*. В процессе бакелизации изделие становится прочным и приобретает заданные свойства: твердость, структуру, водостойкость.

При бакелизации в результате снижения вязкости бакелита под действием теплоты зерна прочно обвола-

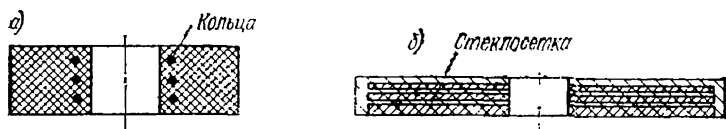


Рис. 15. Круги с упрочняющими элементами для обдирочного шлифования (а) и отрезки (б)

квиваются связкой; выделение летучих веществ (фенола, паров воды, аммиака и т. п.) способствует образованию пор, а когда вязкость бакелита повышается, происходит отверждение смеси.

Как и при термической обработке инструмента на керамической связке, инструмент на бакелитовой связке подвергают нагреву в тепловых агрегатах периодического и непрерывного действия — бакелизаторах. Наиболее распространенными и производительными являются бакелизаторы непрерывного действия туннельного типа. Заготовки нагреваются за счет образования потоков теплоты от электронагревателей в результате работы перемешивающих вентиляторов, обеспечивающих равномерность нагрева изделий и удаление вредных летучих веществ.

В зависимости от характеристик бакелизируемых изделий существует несколько способов их укладки на этажерки: 1) *открытый* способ — изделия устанавливаются по одной (для инструмента на жидком бакелите) или по несколько штук в стопку (для инструмента на порошкообразном бакелите) на ребристые плиты; 2) *в засыпке* — изделия укладывают в муфели и пересыпают кварцевым песком; в этом случае уменьшается выделение летучих веществ и испарение смолы с поверхностных слоев, что улучшает равномерность свойств инструмента; 3) *в пресс-формах* — изделия, особенно

тонкие, такие как отрезные круги, укладывают на плиты по одному; затем несколько плит собирают в пакет, который сжимается механическим креплением; такой способ обеспечивает равномерность нагрева изделий между плитами и препятствует их деформации; 4) *при высоком давлении* (бакеллизация при горячем прессовании) или в автоклавах при давлении воздуха до 1,2 МПа, куда специальные виды изделий (тонкие прорезные круги на жидком бакелите) устанавливают открытым способом либо в засыпке; этот способ обеспечивает значительное снижение деформации плотных и тонких кругов, уменьшение вспучивания и растрескивания, так как давлению газов внутри изделий препятствует давление окружающей среды.

Механическая обработка и контроль готовых инструментов. Механическую обработку инструмента на бакелитовой связке производят аналогично обработке инструментов на керамической связке. Изделия, изготавливаемые горячим прессованием, как правило, механической обработки не требуют.

Инструмент для ручных шлифовальных машинок (круги диаметром 150—230 мм) должен обладать высокой степенью уравновешенности, так как повышенная неуравновешенность ручного инструмента приводит к недопустимой вибрации при работе. Неуравновешенность должна составлять 0,4—0,5 % от массы круга (ГОСТ 23182—78).

Инструмент для работы при высоких скоростях обычно калибруют металлической втулкой, позволяющей повысить точность посадочного отверстия и прочность кругов на разрыв.

После контроля инструмента на твердость, неуравновешенность и прочность производят маркировку и упаковку. Вследствие того, что инструмент на бакелитовой связке подвержен неблагоприятному воздействию влаги, упаковка должна быть максимально герметизирована.

9. Абразивный инструмент на вулканитовой связке

Абразивный инструмент на вулканитовой связке благодаря своей эластичности выдерживает при шлифовании большие ударные нагрузки. Его применяют на операциях резьбошлифования, чистового шлифования деталей подшипников, отрезки и прорезки пазов в

стальных закаленных деталях и режущем инструменте; при обработке этим инструментом получают наименьшую шероховатость поверхности.

Сырьевые материалы. Вулканитовая связка представляет собой особый вид резины, т. е. провулканизировавшую смесь каучука с серой, ускорителями вулканизации и наполнителями, вводимыми для повышения прочности и жесткости изделий. Для регулирования формовочных свойств смеси в нее вводятся мягчители.

Комбинируя виды и число компонентов связки, можно добиваться получения эластичной или жесткой системы, что диктуется назначением инструмента: в первом случае — для полирования и отделочных операций, во втором — для резки, глубинного шлифования и т. п.

В качестве шлифовального материала, применяемого в инструменте на вулканитовой связке, используют все виды электрокорунда и карбида кремния. Так как вулканитовые круги в основном предназначены для чистовых операций, то для их изготовления употребляют мелкозернистый шлифовальный материал.

Вулканитовая связка, прочно удерживающая зерна, но в то же время очень эластичная, в процессе шлифования деформируется, и самозатачивание кругов идет неинтенсивно (зерна погружаются в связку при увеличении нагрузки). Отсюда — повышенный полирующий эффект этого вида инструмента; но производительность шлифования при этом снижается. Поэтому в отличие от инструментов на других связках инструмента на вулканитовой связке содержит на 10—20 % шлифовального материала больше, а пористость его соответственно меньше.

Ввиду дефицитности природного каучука применяют главным образом синтетические каучуки: натрий-бутадиеновый, бутадиен-нитрильный и бутадиен-стирольный. Первый применяют, как правило, для эластичных, а два других — для жестких видов инструмента. В процессе вулканизации прочность отформованного изделия увеличивается в 10 раз, достигая у жестких изделий 30 МПа. Количеством вводимой серы регулируется степень вулканизации.

Для повышения прочности и эксплуатационных свойств инструмента так же как и в инструменте на бакелитовой связке применяют наполнители. В качестве наполнителей используют мелкодисперсные порошки сажи, оксида цинка, оксида магния, криолита

и др. При оптимальном количестве наполнителя прочность связки возрастает в 10—15 раз.

Для повышения формовочных свойств смесей, регулирования твердости изделия и повышения адгезии связки к зерну в качестве мягчителей в смесь добавляют органические вещества: жирные кислоты, полидиены, идитол и дибутилфталат.

Приготовление формовочных смесей. Эта операция заключается в многократном пропускании смеси в зазор между валками резиносмесительных вальцов (каландров). Валки вращаются с различной скоростью, вследствие чего обеспечивается наиболее активное перемешивание.

Вначале перемешивают строго дозированные порошкообразные компоненты во вращающемся барабане. В валках при заданной температуре перемешивают каучук, затем вводят мягчители и порошкообразную смесь. Связку периодически снимают с вальца и повторно вводят в зазор. Затем приготовленная связка смешивается с абразивным материалом на валках того же типа.

Формование. Формование изделий на вулканитовой связке в зависимости от высоты инструмента осуществляют различными способами: для кругов высотой до 13 мм — прокаткой на вальцах по высоте с последующей вырубкой изделий из листа; для кругов высотой 32—200 мм — прокаткой тонких (до 13 мм) листов, вырубкой по диаметру, а затем спрессовыванием нескольких кругов в пакете (пресс-форме); для специальных кругов высотой до 200 мм — прессованием предварительно разрыхленных после смешивания на вальцах смесей, для головок и других изделий малого диаметра — в червячных прессах продавливанием через насадку разрыхленной смеси с последующей отрезкой изделий.

При формовании прокаткой необходимо поддерживать температуру валков до 70 °С, валки должны быть отшлифованы.

Вулканизация. В абразивном производстве применяют два способа вулканизации: при обычном давлении и повышенном давлении. В первом случае используют вулканизаторы (низкотемпературные тепловые агрегаты) камерного и туннельного типов, во втором — автоклавы и вулканизационные прессы.

Как камерные, так и туннельные вулканизаторы могут иметь газовый, паровой или электрический нагрев.

Наиболее производительными и экономичными вулканизаторами, обеспечивающими равномерное распределение тепла по рабочему сечению, являются электрические вулканизаторы туннельного типа. Для вулканизации в них изделия, пересыпанные тальком, зажатые металлическими плитами (для предупреждения деформации и возгонки серы), укладывают на полки этажерки, которую затем проталкивают через туннель.

В процессе вулканизации в результате экзотермической реакции каучука и серы изделия нагреваются, что может привести к деформации и интенсивному выделению газов, поэтому точное поддержание температуры и равномерное ее распределение должны обеспечиваться автоматически путем регулирования нагревателей и системы циркуляции газов.

В автоклавах поддерживают давление 0,4—1,0 МПа, автоклавы периодически продувают для удаления газообразных продуктов вулканизации.

Вулканизационные прессы снабжены плитами, обогреваемыми электронагревателями, в них можно одновременно вулканизировать 8—16 изделий. Температура плит контролируется смонтированными в них термометрами.

Иногда применяют комбинированную вулканизацию: предварительную — на прессах, окончательную — в вулканизаторах и автоклавах.

Механическая обработка и контроль. Как правило, точность размеров изделий на вулканитовой связке после термообработки значительно выше, чем у изделий на других видах связок, поэтому припуски на механическую обработку вулканитовых изделий меньше. Однако ввиду того, что этот инструмент в основном используют для точных чистовых работ, высокая точность его размеров должна быть обеспечена тщательной механической обработкой.

Механическую обработку осуществляют теми же методами, которые описывались выше. Однако из-за высокой механической прочности и твердости изделий на вулканитовой связке обработку отверстий в кругах, как правило, производят алмазным инструментом. Алмазный инструмент — фрезы и зенкеры на металлической связке. Обработку других поверхностей производят шлифовальными кругами на бакелитовой связке твердостью СТ. Обработку отверстий наружной цилиндрической поверхности тонких кругов производят, собрав изделия в пакет высотой до 200 мм.

Все дальнейшие операции — контроль твердости, неуравновешенности, геометрических размеров (и, если нужно, калибровку), прочности; маркировку и упаковку — осуществляют методами и средствами, описанными в предыдущих параграфах.

10. Шлифовальная шкурка

Шлифовальная шкурка представляет собой абразивный инструмент на гибкой основе (бумаге, ткани, металлической ленте, фибре) или комбинированной основе (бумага + ткань) с нанесенным на нее слоем шлифовального материала, закрепленного связкой. В общем виде конструкция шлифовальной шкурки представляет собой систему: основа — аппрет — связующее — шлифовальный материал — связующее. Качество инструмента зависит от свойств связующего, аппретирующих составов, прочности основы, состава зерна, его формы.

Шлифовальную шкурку широко применяют во многих отраслях народного хозяйства (металлургической, авиационной, электронной, деревообрабатывающей, мебельной и др.) на обдирочных, получистовых и чистовых операциях при плоском, круглом, наружном и внутреннем, бесцентровом шлифовании различных деталей из конструкционных сталей, жаропрочных и титановых сплавов, пластмасс, различных пород дерева, резины, кож, стекла, чугуна, алюминия, бронзы, мрамора и т. д. Благодаря эластичности шлифовальная шкурка эффективна при обработке сложных криволинейных поверхностей деталей (например, турбинных лопаток из жаропрочной стали), при декоративном и размерном шлифовании. Широко используют шлифовальную шкурку при шлифовании грунтованных поверхностей кузова автомобиля, при чистовой обработке древесно-стружечных плит и т. д.

Применение шлифовальных лент позволяет механизировать ручной труд и автоматизировать циклы шлифования и полирования.

Основными преимуществами обработки шлифовальной шкуркой являются высокие производительность и качество обработанной поверхности, отсутствие необходимости в балансировке и алмазной правке, возможность быстрой и легкой замены инструмента, а также возможность изменения операции обработки выбором соответствующего ролика или копира.

Исходные материалы. Для изготовления шлифовальной шкурки применяют шлифовальные материалы самого широкого ассортимента: все виды электрокорунда, карбида кремния, сверхтвердые материалы (алмаз, эльбор), естественные абразивы (стекло, кремль, гранат).

Шлифовальные шкурки изготавливают из материалов с различными формой зерен и зерновым составом. При использовании шлифовальных шкурок на операциях с большим съемом металла (обдирочных, получистовых) применяют абразивные зерна изотермичной (округлой) формы; при использовании на чистовых операциях — абразивные зерна удлиненной формы. В целях улучшения капиллярных свойств абразивных зерен, повышения их адгезионной способности к связке, а также улучшения условий нанесения абразивных зерен в электростатическом поле шлифовальный материал перед изготовлением шлифовальной шкурки подвергают термической обработке (прокалке) или подогреву до 50—70 °С.

Шлифовальные шкурки различаются структурой абразивного слоя: на обдирочных операциях используют шлифовальную шкурку с большим содержанием шлифовального материала, плотной насыпкой; на операциях, где потеря режущих свойств происходит за счет засаливания абразивного слоя, применяют шлифовальные шкурки с редкой насыпкой.

Отечественной промышленностью выпускается широкий ассортимент шлифовальных шкурок на основах, различающихся видами связующего и технологией изготовления.

Выбор основ, связок, абразивного материала обусловлен режимами шлифования, видом обрабатываемого материала, необходимой шероховатостью поверхности после обработки. В качестве основы в зависимости от назначения инструмента используют либо бумагу, либо ткань, либо комбинированную основу (бумага + ткань), либо фибру.

Шкурки для сухого шлифования изготавливают на бумажных основах по ГОСТ 18977—79. Шкурки марок О-140, О-200, О-235 применяют для обработки деталей со средними нагрузками, марок О-210, О-240 — с большими нагрузками. В настоящее время осваивается производство шлифовальной шкурки на основе высокопрочной бумаги марки БВК-225.

По ГОСТ 10127—75 выпускают влагоустойчивую бумажную основу марок ОВ-100, ОВ-110, осваивается промышленный выпуск влагоустойчивой бумаги повышенной эластичности с использованием латексных композиций. Такой вид бумаги используют при изготовлении шлифовальной шкурки для машинной обработки поверхностей кузовов автомобилей.

Для изготовления шлифовальной шкурки на тканевой основе применяют различные виды тканевых основ: саржу особо легкую, легкую, среднюю, утяжеленную по ГОСТ 3357—72, полудвунитку по ГОСТ 19196—80, шифон по ГОСТ 9310—75, миткаль по ГОСТ 9858—75 и др. Выбор тканевых основ также обусловлен нагрузками при шлифовании. Шифон предназначен для изготовления высокоэластичной шлифовальной шкурки, способной обеспечить шероховатость поверхности обрабатываемых деталей, соответствующую $R_a = 0,08 \div 0,04$ мкм.

Для обработки древесно-стружечных плит применяют комбинированную основу.

В табл. 7 приведены основные требования к некоторым основам для шлифовальных шкур.

В зависимости от назначения шлифовальной шкурки используют водостойкие и неводостойкие связки — синтетические смолы, лаки, мездровые, казеиновый клей. В качестве связки для неводостойкой шлифовальной шкурки применяют мездровый клей по ГОСТ 3252—80, казеиновый клей по ГОСТ 17626—81, фенолформальдегидные и другие смолы. Для повышения качества шлифовальной шкурки и увеличения ее стойкости, а также ввиду низкой теплостойкости (53 °С) мездрового клея, для закрепляющего слоя при изготовлении неводостойкой шкурки применяют фенолформальдегидную смолу.

Водостойкую шлифовальную шкурку изготавливают на синтетических связках — фенолформальдегидных и других смолах, масляном, эпоксидном и пентафталеовом лаках. Этот вид шлифовальной шкурки является универсальным, ее применяют как для работы с охлаждающими жидкостями, так и без охлаждения.

Выбор связующего для производства шлифовальной шкурки обусловлен назначением инструмента. Так, фенолформальдегидные смолы применяют в тканевых шлифовальных шкурках для машинной обработки на тяжелых операциях, где необходим большой сьем

металла; пентафталевый, масляный, эпоксидный лаки — в шлифовальных шкурках на бумажной основе.

Технологический процесс производства. Производство шлифовальной шкурки состоит из следующих операций: подготовки сырьевых материалов, подготовки основы, нанесении основного слоя связки, нанесении

Таблица 7

Характеристики бумажных и тканевых основ для шлифовальной шкурки

Основа	Масса 1 м ² , г	Разрушающее усилие, Н, в направлении		Удлинение, %, не менее		Соприглавление расплаиванию, г/см, не менее
		продоль- ном	попереч- ном	продоль- ное	попереч- ное	
Бумажная для сухого шлифования марок:						
О-140	140 ± 7	200	110	—	—	60
О-200	200 ± 10	250	140	—	—	60
О-210	210 ± 10	300	160	—	—	65
О-240	240 ± 18	400	100	—	—	70
БКВ-225	225 ± 5	775	310	3,2	9	160
Бумажная влагоустой- чивая марок:						
ОВ-100; ОВ-125	100 ± 5	145	65	2,0	7	—
с полимерной про- питкой	125 ± 5	87	45	4,0	13	—
Тканевая:						
саржа средняя № 2 суровая	210 ± 10	930	550	22,0	11	—
саржа средняя № 2 гладкоокрашенная	190 ± 10	990	440	13,0	22	—
саржа утяжелен- ная № 2 суровая	220 ± 11	1400	700	20,0	14	—

шлифовального материала, сушки основного слоя связки, нанесении закрепляющего слоя связки, сушки закрепляющего слоя связки.

В целях придания основе ряда ценных свойств — повышенной износостойкости, водостойкости, повышенной прочности ткани на разрыв, эластичности, упругости — основу пропитывают (аппретируют) специальным составом, например латексом на основе каучука.

Нанесение основного слоя связки производят на клеенаносящей машине при непрерывной циркуляции связки. Бумажную или тканевую основу разматывают на размоточном станке. На маркировочном станке на

основу через определенные промежутки наносят маркировку: номер ГОСТа или ТУ, номер партии, зернистость, марку шлифовального материала, название завода-изготовителя. Затем основа поступает на клеенаносящую машину, где наносится основной слой связки, толщина которого регулируется вязкостью связки, скоростью движения основы, расстоянием между валами. Для лучшего нанесения связки ее подогревают до 30—50 °С.

Нанесение шлифовального материала на основу осуществляется различными методами: электростатическим, механическим и суспензионным. Нанесение абразивного зерна на основу производят в электростатическом поле в специальной установке. Электростатическая установка состоит из высоковольтного источника питания, электростатической камеры и механизма подачи абразивного зерна. Для создания электростатического поля в рабочем пространстве камеры имеются два электрода: верхний и нижний. Расстояние между электродами регулируется в зависимости от зернистости и количества наносимого шлифовального материала. Между электродами расположена транспортерная лента, движущаяся в направлении, противоположном движению основы.

Шлифовальный материал из бункера-питателя подают в пространство между верхним и нижним электродами. При прохождении через камеру основы шлифовальной шкурки, на которую предварительно нанесена связка, абразивные зерна под действием электростатических сил поднимаются, ориентируясь своей большой осью перпендикулярно к основе, и закрепляются в связке.

Количество шлифовального материала на основе и равномерность его расположения регулируются разностью потенциалов электростатической камеры, расстоянием между электродами, количеством шлифовального материала, подаваемого в камеру, скоростью перемещения основы.

Нанесение шлифовального материала на основу механическим способом осуществляется на насыпном станке, который снабжен бункером-питателем. Избыток зерна удаляется отбойным устройством.

Микропорошки мельче М14 наносят на основу шлифовальной шкурки суспензионным способом. При суспензионном методе нанесения вначале приготавливают суспензию, состоящую из связки, растворителя,

микророшка абразивного материала. Затем суспензию наносят на основу на специальной машине с помощью вала с последующим разравниванием системой волосяных щеток.

Сушку шлифовальной шкурки производят в конвекционных сушилах гирляндного типа, где теплоносителем является пар либо нагретый газ; или в терморадикационных сушилах туннельного типа с обогревом лампы инфракрасного излучения.

В зависимости от вида клея сушку связки, нанесенной на основу шкурки, осуществляют при различных температурах. Сушку мездрового клея производят при температуре 25—45 °С, клея марок СФЖ-3038, СФИ-3039 — последовательно при температурах от 20 до 70 °С, от 70 до 100 °С и при 130 °С, формальдегидных смол — при температуре 100—120 °С, пентафталевого и масляного лаков — при температуре 120 °С, эпоксицидного лака — при температурах от 90 до 135 °С.

Операции нанесения закрепляющего слоя связки и последующей сушки закрепляющего слоя аналогичны рассмотренным.

После сушки в гирляндном или туннельном сушилах шлифовальную шкурку сматывают в рулоны на намоточном станке. Метраж рулонов шлифшкурки зависит от номера зернистости и составляет от 30 м до 100 м.

При изготовлении шлифовальной шкурки с применением фенолформальдегидных смол проводят окончательное отверждение шлифшкурки в рулонах при температуре 150 °С. Для отверждения применяют специальные термокамеры либо с продувом горячего воздуха, либо с прогревом.

Для придания неводостойкой шлифовальной шкурке определенной влажности, эластичности и ровности поверхности применяют операцию стабилизации. При стабилизации шлифовальную шкурку крупных номеров зернистости абразивного материала выдерживают в течение 24 ч при 65 % влажности в термокамере с продувом. Стабилизацию шлифовальной шкурки мелких номеров зернистости производят на специальной машине для выравнивания. При этом шкурку увлажняют нанесением слоя воды на нерабочую сторону инструмента. Последующую сушку осуществляют на сушильных барабанах при температуре 77 °С.

Эластичность шлифовальной шкурке придают на гибочной машине, состоящей из размоточно-намоточного устройства, тянущих барабанов, вращающихся валов.

Шлифовальная шкурка огибает валы по трем направлениям: под углом 90° к краю полотна основы, под углом 45° к краю полотна основы, под углом 90° к краю полотна основы.

Контроль качества шлифовальной шкурки осуществляют в соответствии с ГОСТ 10054—75, ГОСТ 13344—67, ГОСТ 5009—75, ГОСТ 6456—75. Особое внимание уделяют определению прочности на разрыв, режущей способности и износостойкости.

Метод контроля режущей способности шлифовальной шкурки на тканевой основе на приборе модели ПСШ-7 основан на определении массы снятого материала образцом шкурки за время испытания. При этом образец закрепляют на вращающемся диске и прижимают к нему шлифуемый стержень. Суммарное количество сошлифованного металла в миллиметрах принимают за меру режущей способности.

Контроль режущей способности шлифовальной шкурки на бумажной основе производят на приборе модели МИ-2. Метод основан на истирании образца из плексигласа при определенной нагрузке водостойкой шлифовальной шкуркой на бумаге; количество сошлифованного материала в граммах принимают за режущую способность. Показатель износостойкости (отношение зернистости шлифовальной шкурки к осыпаемости) определяют на приборе КЗШ-1 истиранием шлифовальной шкурки о шкурку в течение 2 мин при нагрузке 50 Н. Испытанию подвергают два образца шкурки размерами 395×50 и 520×50 мм. Осыпаемость определяется как разность масс образцов шкурки до и после испытания.

Изготовление изделий из шлифовальной шкурки. В соответствии с ГОСТ 22773—77, ГОСТ 22774—77, ГОСТ 22775—77, ГОСТ 22776—77 изготавливают на специальном оборудовании изделия из шлифовальной шкурки: бесконечные шлифовальные ленты на тканевой и комбинированных основах шириной от 10 до 2050 мм и длиной до 10 м; лепестковые круги; диски; бобины; конусы, розетки, звездочки и др.

Технологическая схема производства бесконечных лент состоит из следующих операций: раскрой шлифовальной шкурки на заготовки; зачистка верхней кромки заготовки; зачистка нижней кромки заготовки; нанесение первого слоя клея на обе кромки заготовки; выдержка заготовок на воздухе; нанесение второго слоя клея; выдержка заготовок на воздухе; предварительная

сборка заготовки в замкнутый контур; опрессовка шва; контроль и обрезка кромок: упаковка и маркировка лент.

Для изготовления бесконечных лент применяют следующее оборудование: машина для нарезки заготовок; машина для зачистки верхней и нижней кромок заготовки; пресс для склейки лент; контрольно-обрезная машина. Используют полиуретановые клеи по ТУ 38-103185—73. Для изготовления дисков, звездочек, розеток применяют специальные вырубные устройства, для изготовления бобин — бобинорезательные машины. Бобины могут изготавливаться шириной от 6 до 500 мм. Для изготовления лепестковых кругов используют специальное оборудование, состоящее из вырубного устройства, устройства для крепления лепестков (кольца, круги, зажимные диски-фланцы), цанговых зажимов.

11. Абразивные пасты

Абразивными пастами называют инструмент, состоящий из шлифовального материала и органического связующего. Абразивные пасты применяют в окончательных отделочных операциях обработки (полирование, притирка, доводка) для получения высокого качества поверхности, декоративного вида или наибольшей точности в зависимости от требований обработки.

По своему физическому состоянию абразивные пасты могут быть твердыми, мазеобразными и жидкими, что зависит от вида применяемого связующего. Наиболее широко применяют твердые пасты, где в качестве связующего использованы высшие жирные кислоты (стеариновая, олеиновая), а также парафин, озокерит, воск и др. Связующее мазеобразных паст может быть составлено из различных масел, нефтепродуктов, высших жирных кислот и других компонентов.

Жидкие пасты изготавливают двух видов: водосмываемые и маслообразные. Связующее жидких водосмываемых паст состоит из органического мыла (солей высших жирных кислот), этаноламина и других органических веществ, вступающих в реакцию с образованием органического мыла. Маслообразные жидкие пасты отличаются от мазеобразных паст более жидкой консистенцией, так как содержат органические компоненты, представляющие собой растворители нефтепродуктов: уайт-спирит, скипидар и др.

В качестве шлифовального материала в пастах применяют порошки алмаза, эльбора, карбида бора, карбида кремния, электрокорунда, глинозема, оксида хрома, крокуса, мела, наждака, доломита, маршаллита, диатомита, трепела и др.

Выбор шлифовального материала для паст зависит от обрабатываемого материала, режимов обработки и требований, предъявляемых к готовому изделию. Для обработки сталей рекомендуется применять электрокорундовые материалы и глинозем, для обработки труднообрабатываемых и закаленных сталей — пасты с использованием алмазов и эльбора, для обработки сплавов на основе меди — карбид кремния, диатомит и трепел, для получения декоративного вида изделий с высокой отражательной способностью — оксид хрома и глинозем.

Твердые полировальные пасты. Операции полирования подвергают детали различных машин и агрегатов и большую часть изделий народного потребления, например кузова автомобилей, столовые приборы, светильники, мебель и т. д. Полирование пастами осуществляется на полировальных станках, оснащенных эластичными полировальными кругами из фетра, войлока, кожи, тканевых, сизалевых и других материалов. Скорость вращения полировальных кругов обычно выбирают в диапазоне 5—30 м/с.

В большинстве случаев используют пасты, в которых связующее состоит из омыляемых продуктов (стеариновая, олеиновая и другие высшие кислоты). Пасты на основе высших кислот имеют следующее преимущество: очистку (отмывку) полированной поверхности от остатков паст можно производить водными растворами поверхностно-активных веществ. В случае использования паст со связующими на основе нефтепродуктов (парафина, озокерита, церезина и др.) очистку (отмывку) полированной поверхности производят органическими растворителями, что повышает токсичность и пожароопасность производства.

Жировые компоненты паст расплавляются в специальных емкостях, оборудованных паровыми рубашками, из которых они поступают в реактор. Здесь производят перемешивание в соответствии с принятой рецептурой пасты компонентов при температуре, равной температуре плавления наиболее высокоплавящегося компонента. После этого осуществляют равномерную загрузку абразивного материала в работающую мешалку

и перемешивание до полной гомогенизации всех введенных компонентов. Затем пасту разливают в металлические формы. После остывания пасты формы разбирают и из них извлекают бруски пасты.

Жидкие полировальные пасты. В настоящее время при производстве массовой продукции операции полирования стали осуществлять на автоматических и полуавтоматических линиях, для которых в качестве абразивного инструмента используют жидкие водосмываемые пасты. Преимуществом этого вида паст являются легкость автоматизации операции полирования, простота и эффективность подачи паст в зону обработки с помощью распылительных форсунок и возможность отмывки полированных изделий водными растворами поверхностно-активных веществ. Обычно такие линии имеют несколько полировальных валов, составленных из хлопчатобумажных или сизалевых кругов. Обрабатываемые изделия помещают в приспособления-спутники и пускают по автоматической линии под полировальными валами, на которые форсунками распыляется паста, подаваемая из бачков с помощью сжатого воздуха. Скорости перемещения изделий, вращения полировального вала, объем и частота подачи пасты легко регулируются в зависимости от вида изделий и требований, предъявляемых к нему.

В некоторых случаях по условиям полирования невозможно применять водосмывание пасты из-за наличия в их составе воды и компонентов, неблагоприятно действующих на полируемую поверхность. Характерным примером является полирование деревянных панелей, покрытых полиэфирными и другими лаками, использующимися в производстве мебели. Полирование этих панелей производят на плоскошлифовальных станках с помощью фетровых и хлопчатобумажных кругов. При этом, учитывая невысокую теплостойкость полимерных покрытий, пасты должны обладать высокой смазывающей способностью и предотвращать развитие высоких температур. Наиболее благоприятными для полирования полиэфирных покрытий оказываются пасты на основе вазелинового масла и уайт-спирита.

Пасты для притирки. Для уменьшения шероховатости и получения высокой точности размеров обработанной поверхности применяют притирочные пасты. Учитывая, что притирка предполагает определенный съем материала и обработку проводят твердыми абразивными материалами, во избежание шаржирования и появ-

ления задиров необходимо готовить пасты с высокими смазывающими свойствами. Обычно в качестве связующего используют минеральные масла с добавками олеиновой и стеариновой кислот, животных жиров, скипидара, парафина и др. Введение парафина позволяет регулировать консистенцию пасты от мазеобразной до твердой. При выборе конкретного состава пасты для обработки учитывают обрабатываемый материал, режимы обработки, шероховатость поверхности и другие факторы. Притирочные пасты изготавливают на основе твердых абразивных материалов: электрокорунда, карбида кремния, карбида бора, эльбора, алмаза.

12. Полировальные круги

Полировальные круги (полировальники), выпускаемые промышленностью, подразделяются на три основных вида: круги из натуральных материалов: войлока, кожи, бумаги, ткани и т. п., работающие в сочетании с абразивными пастами или с абразивным слоем, закрепленным с помощью клея; круги на основе синтетических материалов: поливинилформаль и вулканита, обладающие повышенной эластичностью по сравнению с обычными шлифовальными кругами на органических связках; круги из нетканых синтетических материалов, главным образом на основе полиамидов, пропитанные по всей массе абразивными порошками и скрепленные синтетическим клеем.

Полировальные круги из натуральных материалов. Для осуществления процесса полирования с применением паст необходимы круги, обладающие определенной эластичностью. Такие материалы, как кожа и войлок, применяют в ограниченном количестве и только на операциях, где пока не удалось заменить их менее дефицитными материалами. Наиболее распространены полировальники из сизаля (сизалево́й травы) и тканевых материалов типа плащевой ткани, бязи, тика, миткаля и т. п. Материал для полировальника должен обладать хорошей сцепляемостью с пастой, достаточной прочностью для безопасной работы, эластичностью и, по возможности, низкой электропроводностью. Эластические и прочностные свойства полировальников во многом зависят от способа изготовления кругов, выпускаемых трех видов: дисковые (непрошитые), секционные и наборные (прошитые).

Дисковые полировальники набирают на шпинделе станка, они хорошо уравниваются, обладают высокой эластичностью и эффективно работают на операциях отделки — полируют поверхность до зеркального блеска. Секционные круги собирают из дисков в секции по 15—20 шт. и прошивают концентрической, радиальной, спиральной или комбинированной прошивкой. По сравнению с непрошитыми прочность таких кругов увеличивается, но эластичность снижается. Наборные круги изготавливают из матерчатых дисков (сегментов), сложенных вчетверо и набранных последовательным вложением сегментов друг в друга. Такие круги хорошо удерживают пасту и легко вентилируются при работе, что снижает нагрев обрабатываемой поверхности.

Абразивной промышленностью освоен выпуск хлопчатобумажных и сизалевых полировальных кругов. Хлопчатобумажные полировальные круги выпускают двух видов: валковые и свободноскладчатые, состоящие из полирующей основы и зажимного кольца; эти круги позволяют обрабатывать детали различного типа, в том числе и фасонного профиля. Полировальные сизалевые кордовые круги по сравнению с хлопчатобумажными обладают большими жесткостью и прочностью, что обеспечивает более значительный съём обрабатываемого материала и позволяет обрабатывать детали после точного литья и для предварительного полирования всевозможных изделий.

Полировальные круги с закрепленным абразивным слоем представляют собой войлочные или хлопчатобумажные круги. Технология накатки кругов состоит из двух операций: нанесения связующего, затем ручной накатки слоя абразивного зерна. После накатки производят сушку кругов в естественных условиях. В качестве клея используют жидкое стекло, мездровый или казеиновый клей. Изменение соотношения между зерном и клеєм позволяет менять эластичность абразивного слоя полировального круга в зависимости от требований операции полирования.

Полирование кругами с закрепленным абразивным слоем дает возможность обрабатывать поверхности без предварительной подготовки. Недостатком этих кругов является низкая стойкость, так как накатанный абразивный слой быстро изнашивается и периодически требуется новая накатка.

Полировальные круги на основе синтетических материалов. Такие круги изготавливают на вулканитовой связке и на вспененном поливинилформале. Технология производства кругов на вулканитовой связке не отличается от технологии производства обычных вулканитовых кругов, но специальная рецептура кругов позволяет повысить их эластичность и гибкость. Круги применяют, например, на операции полирования винтовых канавок сверл.

Большой интерес представляют круги на вспененном поливинилформале — поропластовые круги. Процесс их изготовления заключается в механическом вспенивании в специальных смесителях композиции, состоящей из водного раствора поливинилового спирта, абразивного зерна, формалина, вспенивающих агентов и других добавок. Вспененную массу разливают в формы и подвергают термообработке при температуре 50—60 °С в течение 5—8 ч. Отвердевшие изделия отмывают от непрореагировавших продуктов реакции в специальных отжимных прессах с проточной водой, отжимают, сушат. Путем резки и механической обработки изделиям придают необходимую форму и размеры. Круги имеют низкую объемную массу 0,8—0,9 кг/см³ и содержат до 80 % пор. Круги на основе поливинилформала хорошо зарекомендовали себя на различных операциях полирования, в том числе полирования печатных плит. На многих операциях полирования они вытесняют войлочные круги с закрепленным абразивным слоем.

Полировальные круги из нетканых материалов. Этот вид полировальных кругов изготавливают из синтетических нетканых материалов, в которых волокна скреплены между собой синтетическими клеями. При производстве абразивного нетканого материала в клей замешивают абразивные порошки, и они вместе с клеем закрепляются на отдельных волокнах материала. Далее из нетканого абразивного материала вырубают диски, которые можно набирать в круги различной толщины.

Полировальные круги на основе синтетических нетканых материалов применяют на различных операциях полирования, а также для очистки изделий от ржавчины, старой окраски, для домашнего хозяйства (чистки плит, раковин и посуды).

Глава 3

АБРАЗИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

13. Общая характеристика

Разработка и освоение промышленного получения сверхтвердых материалов (СТМ) — синтетических алмазов и материалов на основе кубического нитрида бора (КНБ), характеризующихся высокими абразивными свойствами, — обусловили создание качественно новых видов абразивного инструмента.

Массовое промышленное производство абразивного инструмента из кубического нитрида бора организовано на Ленинградском абразивном заводе «Ильич» и на Ташкентском абразивном комбинате на основе порошков КНБ, получивших торговую марку «эльбор» (условное обозначение «Л»).

В связи с тем, что шлифовальные материалы из алмазов и КНБ сравнительно дороги и дефицитны, абразивный инструмент на их основе конструктивно отличается от аналогичного инструмента из обычных абразивных материалов. Он состоит из нерабочей части инструмента (корпуса) и рабочей (абразивосодержащей) части, что дает возможность использовать рабочий слой до полного износа. Рабочий слой состоит из шлифовального материала алмаза или кубического нитрида бора, закрепленного связкой. Материал корпуса и метод соединения рабочего слоя с корпусом выбирают в зависимости от вида связки, формы, размеров и назначения инструмента.

Форма и расположение абразивосодержащего слоя обусловлены условиями использования инструмента на конкретной операции шлифования. Рабочий слой характеризуется маркой связки, твердостью, размером (толщиной).

Одной из основных характеристик абразивного инструмента из сверхтвердых материалов является относительная концентрация материала, представляющая собой содержание материала в единице объема абразивосодержащего слоя, выраженное в процентах. За 100 %-ную концентрацию условно принято содержание алмаза в количестве 4,4 карата в 1 см^3 алмазоносного слоя, или $0,88 \text{ мг/мм}^3$. При плотности алмазов, равной

3,52 г/см³, находят объем V , который занимают алмазные частицы в 1 см³, $V = 0,88/3,52 \approx 0,22$ см³.

Таким образом, независимо от вида используемой связки (органической, керамической, металлической) при 100 %-ной концентрации алмазные зерна в алмазном слое занимают 25 % объема. Это соотношение верно и для шлифовальных материалов на основе кубического нитрида бора.

Выбор концентрации определяется эффективностью работы инструмента. Для большинства операций рекомендуется использовать инструмент на металлической связке с концентрацией 125—200 %, на органической — 75—150 %, на керамической — 100 %. Однако на ряде операций оптимальной концентрацией может быть и более низкая — 25—75 %.

Зернистость сверхтвердых материалов для абразивного инструмента выбирают в зависимости от требуемой шероховатости поверхности, относительного расхода алмаза или КНБ и производительности. Порошки сверхтвердых материалов разделяются в основном на две группы: шлифпорошки и микропорошки. Зернистость шлифпорошка определяют по основной фракции и обозначают дробью, числитель которой соответствует размеру стороны ячейки верхнего сита, знаменатель — размеру стороны ячейки нижнего сита. Зернистость микропорошков определяют линейными размерами проекций зерен под микроскопом и обозначают дробью, числитель которой соответствует наибольшему, знаменатель — наименьшему размерам зерен основной фракции.

Для улучшения контакта и повышения прочности удержания абразивных зерен алмаза и КНБ связкой применяют различные покрытия зерен порошков из сверхтвердых материалов. В качестве покрытий используются металлы и стекла с высокой адгезионной способностью к применяемым связкам. В состав металлопокрытий могут входить титан, хром, кобальт, железо, никель, алюминий и др. Металлизация порошков из сверхтвердых материалов может производиться методом покрытия металлами из жидкого расплава или из газовой среды.

Шлифпорошки из сверхтвердых материалов с металло- и стеклопокрытием применяют для изготовления абразивного инструмента на органических и металлических связках.

Наряду с физико-механическими свойствами применяемых сверхтвердых материалов работоспособность

абразивного инструмента зависит от свойств используемой связки. В зависимости от назначения абразивного инструмента применяют металлические, органические и керамические связки.

Органические связки рекомендуются для изготовления инструмента для чистовых операций. Инструменты на органических связках отличаются высокой производительностью, обеспечивают малую шероховатость обрабатываемой поверхности. Недостатком их является повышенный износ на единицу объема снятого металла по сравнению с инструментом на металлической и керамической связках.

Для изготовления абразивного инструмента из сверхтвердых материалов на органических связках применяют в основном синтетические алмазы марки АСО и эльбор марки ЛО сравнительно невысокой механической прочности. Зерна порошков из материалов этих марок имеют шероховатую поверхность, благодаря чему прочно удерживаются органической связкой. Металло- и стеклопокрытия шлифпорошков повышают прочность удержания и эффективность работы инструмента на органических связках.

Основой органических связок являются синтетические смолы. Для относительно жестких абразивных инструментов чаще всего используются фенолформальдегидные смолы, для эластичных — связки на основе вулканизированного каучука. Вместо фенолформальдегидных смол в последнее время начинают применять эпоксидные смолы, связующие на основе полиамидов и других видов органических веществ.

Физико-механические свойства инструмента на органической связке регулируют введением в связку наполнителей. В качестве наполнителей используют порошки карбида бора, карбида кремния, электрокорунда, железа или другого металла, стекла, резины и др. Подбирая наполнитель по виду материала, дисперсности и количеству, можно существенно изменять износостойкость, прочность и теплостойкость рабочего слоя. Вместе с тем наполнитель необходим для стабилизации рабочего слоя при уменьшении концентрации алмаза или эльбора.

Технологическая схема изготовления абразивного инструмента из сверхтвердых материалов на органических связках представлена на рис. 16.

Для изготовления металлических корпусов используют алюминиевый, реже стальной прокат. Алюминие-

вые корпуса изготавливают также и методом литья. Для некоторых типов шлифовальных кругов применяют корпуса из алюмобакелита или карболита, изготовление которых производят в одном цикле прессования и термообработки с рабочим слоем.

Изготовление инструмента на эластичных связках на основе синтетического каучука состоит из операций при-

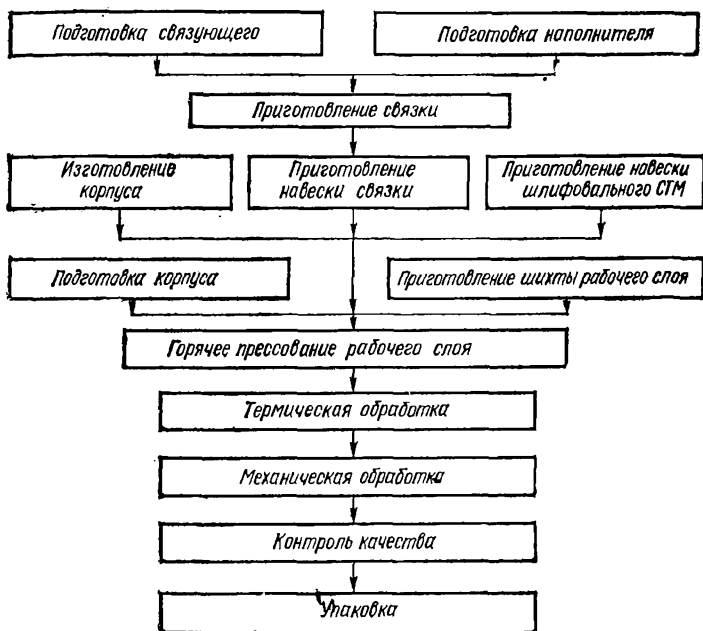


Рис. 16. Технологическая схема изготовления абразивного инструмента из СТМ на органических связках

готовления связки, смешивания шлифовальных материалов со связкой, вырезки заготовок, вулканизации их с одновременным закреплением на корпусе; вулканизацию рабочего слоя производят в пресс-форме под давлением.

На эластичных связках изготавливают инструменты в виде кругов, брусков, дисков и лент.

Металлические связки применяют в основном в алмазном инструменте, предназначенном для предварительной обработки и профильного шлифования, когда необходимо снять значительный объем обрабатываемого материала. Инструмент на металлической связке

отличается высокой прочностью и долговечностью, хорошо сохраняет форму режущей кромки, но при работе быстро засаливается.

Инструмент на металлических связках изготавливают, используя методы порошковой металлургии и гальванотехники. Некоторые виды алмазного инструмента на металлических связках изготавливают литьем из расплавов или зачеканкой и шаржированием алмазных зерен в металлический корпус.

Метод порошковой металлургии заключается в том, что смесь металлических порошков с СТМ и другими компонентами уплотняют, затем подвергают гермической обработке. Термообработка под давлением позволяет использовать несплавляемые компоненты, что дает возможность вводить различные неметаллические наполнители, например дисульфид молибдена, в качестве твердой смазки. В настоящее время методом порошковой металлургии изготавливают алмазные инструменты на металлических связках почти всех типоразмеров и некоторые виды инструментов из КНБ.

Основой большинства металлических связок являются порошки из меди и олова, а также железа, алюминия, никеля и др. Используемые в качестве основы медь и олово обеспечивают хорошую прессуемость при сравнительно низких давлениях, высокую пластичность при спекании под давлением не более 150 МПа и прочное соединение рабочего слоя с корпусом в процессе спекания за счет диффузии. Спекание производят в защитной среде или в вакууме. Защитную среду и вакуум применяют для защиты от окисления и графитизации алмаза и разложения КНБ, а также от окисления используемых порошков из металлов. В качестве защитно-восстановительной среды используют водород или смесь азота с водородом.

Спекание рабочего слоя на металлической связке производят в пресс-формах в камерных электрических печах. Температура спекания в зависимости от состава связок равна 500—850 °С. Время выдержки при максимальной температуре для равномерного прогрева и полного спекания составляет 1—3 ч. После выдержки пресс-форму вынимают из печи и, установив на прессе, проводят уплотнение рабочего слоя. При повышенных температурах получают практически беспористый абразивосодержащий слой, отличающийся высокими прочностью и износостойкостью.

В ряде случаев для производства тонких, толщиной менее 1,2 мм, отрезных кругов, инструментов сложных форм и малых размеров используют электрохимические методы скрепления зерен сверхтвердых материалов. В электролит помещают анод (как правило, из никеля) и катод (в качестве которого используется корпус изготавливаемого инструмента), подключенный к источнику постоянного тока. На корпус наносят слой шлифовального материала. При пропускании через электролит электрического тока ионы никеля перемещаются к катоду и образуют слой никеля, закрепляющий зерна из СТВ на металлическом корпусе. Таким образом получают однослойное или многослойное абразивосодержащее покрытие. Слоем гальванически осажденного никеля закреплены алмазные зерна на металлическом корпусе. Большинство зерен выступает над поверхностью покрытия, некоторые находятся под слоем никеля.

Работоспособность инструмента, изготовленного гальваническим методом, зависит от прочности сцепления абразивосодержащего покрытия с корпусом, прочности удержания отдельных зерен связкой, равномерности распределения шлифовального материала и толщины никелевого покрытия.

Керамические связки для абразивных инструментов из алмазов и эльбора представляют собой порошки специально сваренных стекол. Производство инструмента из сверхтвердых материалов на керамических связках в целом соответствует аналогичному производству инструмента из обычных абразивных материалов. Отличием является применение более низкоплавких связок, так как температура термообработки инструмента на керамической связке ограничивается термостойкостью алмаза и КНБ.

Инструмент как на керамических, так и на металлических связках используют в основном при шлифовании с применением смазочно-охлаждающей жидкости.

14. Алмазный абразивный инструмент

Абразивный алмазный инструмент выпускают широкой номенклатуры, разных форм и размеров, на различных связках. Формы и размеры инструмента стандартизированы. Шлифовальные круги выпускают по ГОСТ 16167—80, ГОСТ 16181—82, отрезные алмазные круги — по ГОСТ 10110—78, алмазные бруски хонинговальные — по СТ СЭВ 204—75 и др. Для абразивной

обработки производят алмазные пасты, алмазную шлифовальную шкурку и специальный алмазный инструмент (надфили, сверла, пилы и др.).

Алмазный абразивный инструмент предназначен для обработки твердых сплавов, полупроводниковых материалов, керамики, природного камня, реже быстрорежущих и закаленных сталей. Применение алмазного абразивного инструмента обеспечивает высокую точность и малую шероховатость обрабатываемых поверхностей, которые не могут быть получены обычными абразивными инструментами.

Использование алмазных отрезных кругов при резке полупроводников и других твердых материалов позволяет повысить производительность труда и сократить отходы обрабатываемых материалов.

Алмазный абразивный инструмент изготавливают на металлических, органических и керамических связках.

Алмазный инструмент на органических связках. Органические связки разработаны на основе использования в качестве связующего материала синтетических смол. Применяя разные модификации смол и вводя различные наполнители, регулируют физико-механические свойства рабочего алмазоносного слоя. Практически широко применяют алмазный инструмент на органических связках марок Б1, Б2, Б3, Б156, реже используют инструмент на связках марок Б4, Б8, БП1, БП2, Б11, и др. При производстве кругов для заточки и шлифования твердого сплава применяют связку марок Б1, для изготовления инструмента фасонного профиля используют связки марок Б2 или Б156, в состав которых входят порошки из металлов, повышающие прочность и теплопроводность алмазоносного слоя, обеспечивающие быстрый отвод теплоты из зоны резания.

Алмазный инструмент на металлических связках. Металлические связки используют при изготовлении инструмента для работы с большими нагрузками на зерно, поэтому здесь применяют алмазы марок АСР, АСВ и АСК. Алмазы марок АСР и АСВ в два раза прочнее алмазов марки АСО, менее хрупкие; алмазы АСК по прочностным характеристикам аналогичны природным алмазам, их применяют для инструмента на металлических связках, используемого в особо тяжелых условиях, например при резке и обработке природного камня, железобетона и др. Алмазный инструмент на металлических связках изготавливают в основном методами порошковой металлургии.

Практическое применение имеют металлические связки марок М1, М5, МВ1, МС3, М013, реже используют связки марок М15, МС1, МС2, М04, М016. Наиболее распространенная связка марки М1 состоит из 80 % меди и 20 % олова (по массе). Инструмент на связке марки М1 и на других связках на основе меди применяют для обработки твердого сплава и неметаллических материалов.

Алмазный инструмент на керамической связке. Керамические связки для алмазного инструмента исполь-

Таблица 8

Содержание алмазных порошков в пастах

Зернистость алмазного порошка	Массовая доля алмазов в пасте, %			Цвет пасты
	Н	П	В	
125/100; 100/80; 80/63	40	60	—	Сиреневый
63/50; 50/40	20	40	—	»
60/40; 40/28	8	20	40	Красный
28/20; 20/14; 14/10	6	15	30	Голубой
10/7; 7/5; 5/3	4	10	20	Зеленый
3/2; 2/1; 1/0	2	5	10	Желтый
0,7/0,3; 0,5/0,1; 0,3/0; 0,1/0	2	5	10	Не окрашивается

Примечание. Н—нормальная, П—повышенная, В—высокая концентрация алмазного порошка.

зуют редко, как правило связки марок К1, К19. Алмазные шлифовальные круги на связке марки К1 эффективно используют при заточке твердосплавного режущего инструмента совместно со стальной державкой, при шлифовании чугуна и стали.

Алмазные пасты. Одной из разновидностей абразивного алмазного инструмента являются алмазные пасты, выпускаемые в соответствии с ГОСТ 25593—83. Алмазные пасты применяют на притирочных и полировальных операциях.

Пасты производят из порошков природных и синтетических алмазов. В зависимости от зернистости пасты условно подразделяют на группы, которые имеют различную окраску (табл. 8); для окраски применяют синтетические красители, растворимые в воде и органических растворителях.

Выпускают алмазные пасты: смываемые водой, с маркировкой В; смываемые органическими растворите-

лями (керосин, бензин и др.) с маркировкой О; смываемые водой с органическими растворителями с маркировкой ВО; универсальные. По вязкости пасты подразделяют на мазеобразные (М) и твердые (Т). В состав основы паст входят связующие и поверхностно-активные вещества. Пасты не должны быть токсичными. В качестве наполнителей могут быть использованы микропорошки традиционных абразивных материалов.

Алмазные мазеобразные пасты выпускают различной расфасовки в тубах или шприцах по 5, 10, 20, 40, 80, 200, 500, 1000 г. Твердые пасты упаковывают в пластмассовые или металлические футляры с выдвижным дном. Алмазные пасты из алмазных порошков марок А2, А3, АС2 зернистостью от 125/100 до 50/40 рекомендуются при грубой доводке различных материалов.

При полировании и тонкой доводке различных металлов и неметаллических материалов используют пасты из алмазов марок АМ, АСМ, АН, АСН зернистостью от 60/40 до 7/5. Наиболее тонкие операции полирования и доводки требуют применения алмазных паст на основе сверхтонких микропорошков.

15. Абразивный инструмент из кубического нитрида бора

Новые материалы — высоколегированные, конструкционные и инструментальные, — легированные ванадием, кобальтом, молибденом, коррозионно-стойкие и жаропрочные стали и сплавы — плохо поддаются обработке обычными, абразивными инструментами из корундовых и карбидокремниевых материалов. Алмазный инструмент вследствие склонности к химическому взаимодействию с железом и недостаточной теплостойкости также мало эффективен при обработке подобных материалов. Оптимальные результаты при шлифовании труднообрабатываемых сталей и сплавов получают, применяя абразивный инструмент на основе кубического нитрида бора — эльбора.

Эльборный инструмент отличают высокие режущие свойства, размерная стойкость, малый износ, высокая производительность. Преимущества этого инструмента наиболее полно проявляются при шлифовании высоколегированных закаленных труднообрабатываемых сталей и сплавов на операциях заточки металлорежущего инструмента, чистового плоского, круглого и внутренне-

го шлифования высокоточных деталей машин и механизмов, в том числе при шлифовании и доводке высокоточных и специальных подшипников, на различных операциях профильного шлифования.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускается абразивный инструмент из эльбора более 1000 типоразмеров, что с учетом различных характеристик составляет более 3500 разновидностей инструмента. В целом номенклатура абразивного инструмента из эльбора соответствует абразивному инструменту из традиционных абразивных материалов (рис. 17).

Отечественной промышленностью изготавливаются из эльбора шлифовальные круги различных типов с наружным диаметром от 1 мм до 500 мм, высотой до 100 мм; абразивные бруски для операций хонингования и суперфиниширования; шлифовальные шкурки и пасты.

Шлифовальные круги из эльбора на керамических и органических связках выпускают в соответствии с ГОСТ 17123—81 и ГОСТ 24106—80Е. В общем объеме выпуска эльборового инструмента более 60 % составляет инструмент на керамических связках. Шлифовальные круги для операций заточки режущего инструмента в основном производят на органических связках. Для доводочных операций и полирования выпускают эльборовые пасты и шлифовальные шкурки.

Абразивный инструмент из эльбора на керамической связке. Промышленный выпуск абразивного инструмента из эльбора на керамических связках марок С10 и К27 организован на Ленинградском абразивном заводе «Ильич». Использование керамической связки позволило разработать технологический процесс производства инструмента из эльбора методом полусухого прессования: приготовление формовочных смесей, прессование полуфабриката, сушка, обжиг и механическая обработка изделий.

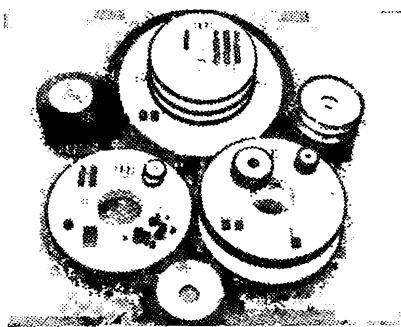


Рис. 17. Абразивные инструменты из эльбора

Качество абразивного инструмента из эльбора на керамической связке характеризуется теми же показателями, что и традиционного абразивного инструмента на керамической связке: зернистостью шлифовального материала (эльбора), твердостью, структурой, маркой связки, концентрацией эльбора. В основном инструмент на керамической связке изготавливают с концентрацией 100 %.

Абразивный эльборный инструмент на керамической связке выпускают из эльбора зернистости от Л20 до ЛМ10/7, твердости от М2 до Т2. Рабочий эльборосодержащий слой в качестве наполнителя содержит шлифпорошки электрокорунда марки 24А (25А), а для некоторых типоразмеров — карбид кремния марки 63С или смесь порошков электрокорунда и карбида кремния.

Конструктивным отличием инструмента из эльбора на керамической связке является наличие нерабочей части — корпуса, представляющего собой тот же состав, что и у рабочей части круга, но без эльбора. Одновременное прессование корпуса и рабочей части с последующей совместной термообработкой позволяет получать инструмент с прочно закрепленным рабочим слоем.

Типовая схема производства эльборного абразивного инструмента на керамической связке представлена на рис. 18. В качестве временного связующего используют жидкий бакелит, который обеспечивает необходимую механическую прочность отформованному изделию.

Термообработку инструмента производят в две стадии: сушка при 160—180 °С и обжиг при 1000 °С. При изготовлении эльборных кругов фасонного профиля сушку в ряде случаев производят на прессах с нагревом. Обжиг осуществляют в щелевых электрических печах непрерывного действия или в камерных печах с вращающимся подом.

Механическую обработку производят в основном алмазным инструментом. Контроль, маркировка и упаковка выполняются согласно требованиям ГОСТ 24106—80Е.

Абразивный инструмент из эльбора на керамической связке обеспечивает высокую интенсивность шлифования, обладает высокой стойкостью профиля режущей поверхности, практически не требует правки. Наиболее эффективно эльборные шлифовальные круги используют на операциях внутреннего и профильного шлифования, резьбо- и зубошлифования; бруски из эльбора на

керамической связке — на операции суперфиниширования.

Абразивный инструмент из эльбора на органических связках. Абразивный инструмент из эльбора на органи-

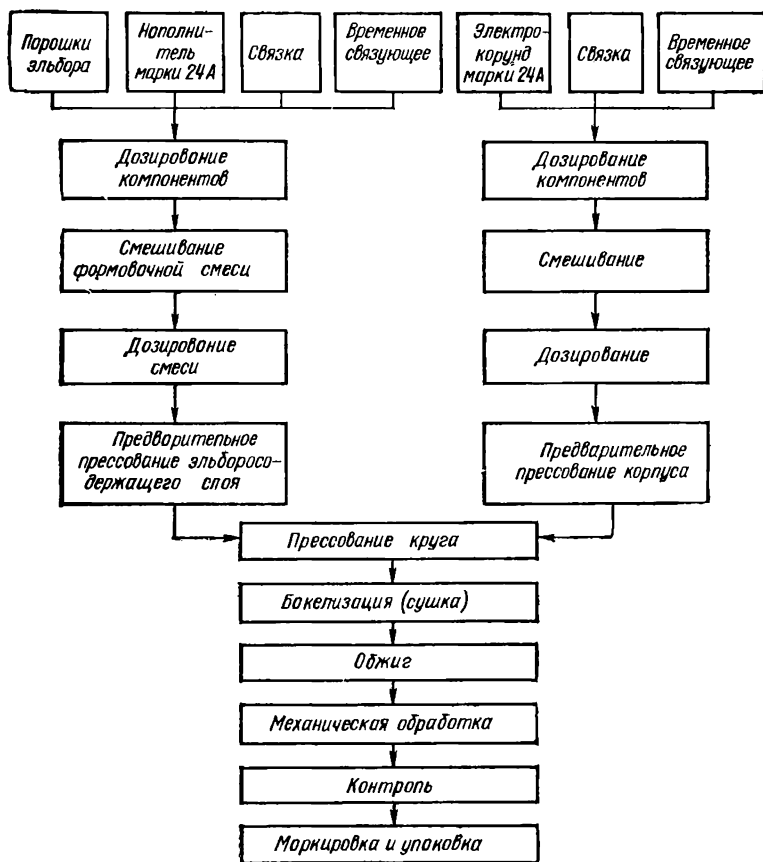


Рис. 18. Типовая технологическая схема производства абразивного инструмента из эльбора на керамической связке

ческих связках выпускают типов и размеров, соответствующих ГОСТ 17123—79 и отвечающих техническим требованиям ГОСТ 24106—80Е. Серийно изготавливают шлифовальные круги на связках марок Б1, КБ, Б-156, ПФ. Концентрация эльбора в инструменте может быть 25, 50, 75, 100 %.

Порошки эльбора для инструмента на органических связках зернистостей 160/125—63/50 могут быть использованы с металло- и стеклопокрытием.

Изготовление инструмента производят, как правило, методом горячего прессования. Рабочий слой инструмента либо напрессовывают на алюминиевый корпус, предварительно подготовленный, либо осуществляют одновременное прессование рабочего слоя и корпуса из алюмобакелита, карболита и других пресс-порошков из полимерных материалов.

Термообработку инструмента на связках марок Б1, КБ, ПФ производят при температуре плит пресса 180 °С с выдержкой 20 мин при удельном давлении 30—50 МПа. Инструмент на связке марки Б156 изготавливают методом горячего прессования при температуре 180—190 °С. Круги после охлаждения извлекают из пресс-формы и подвергают вторичной термообработке в свободном виде при температуре 215—230 °С в специальных электропечах.

Горячее прессование в пресс-форме обеспечивает высокую плотность рабочего слоя; эльборосодержащий слой получают практически беспористым, что способствует более прочному удержанию зерен эльбора связкой. Вскрытие рабочего слоя шлифовальных кругов из эльбора на органической связке производят шлифованием абразивным кругом из зеленого карбида кремния на керамической связке.

Шлифовальные круги на органических связках обладают достаточно высокими прочностными показателями, высокой упругостью, просты в изготовлении. Физико-механические свойства инструмента регулируют с помощью различных наполнителей. В качестве наполнителей используют для связки марки Б1 порошки карбида бора, для связки марки ПФ — дисульфид молибдена, для связки марки Б156 — карбид бора, медный порошок марки ПМС-2 и оловянный порошок марки ПО.

Круги из эльбора на органических связках не засаливаются и работают в режиме самозатачивания без правки до полного износа. Недостатком кругов на органических связках являются малая теплостойкость и низкая устойчивость к действию охлаждающих жидкостей, особенно содержащих щелочи.

Для экономии металла, из которого изготавливают корпуса эльборных кругов, разработана прогрессивная конструкция сборного круга (рис. 19). Такие круги состоят из трех элементов: нижнего и верхнего корпусов

и рабочего эльбороносного слоя. При достижении в процессе эксплуатации допустимого износа рабочего слоя круг разбирается и изношенный рабочий слой заменяется новым.

Эльборная шлифовальная шкурка. Шлифовальная шкурка из эльбора предназначена для абразивной обработки различных материалов машинным или ручным

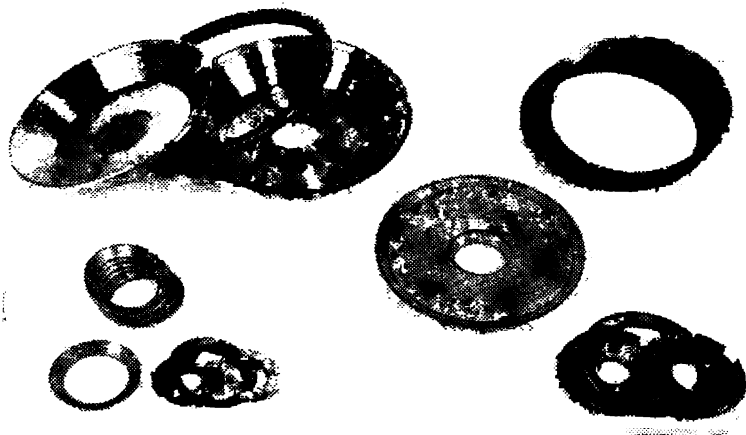


Рис. 19. Сборный инструмент из СТМ прогрессивной конструкции

способом; ее выпускают на тканевой основе в виде бобин или листов. Качество шлифовальной эльборовой шкурки должно отвечать требованиям ОСТ 2И74-6—83Е. В качестве основы используют: хлопчатобумажный шифон, капрон, хлопколавсановую ткань. Ткань предварительно подвергают обработке — аппретированию; обработку ткани производят аппретом на основе латекса или полиамидных клеев с наполнителями. Закрепленные зерна эльбора на поверхности аппретированной ткани осуществляют с помощью масляного лака марки ЯК-153 или других синтетических смол. Для производства шлифовальной шкурки используют шлифпорошки и микропорошки эльбора зернистостей 16—М28 по ОСТ 2 МТ79-2—82.

Схема производства эльборной шлифовальной шкурки представлена на рис. 20.

Качество шлифовальной шкурки зависит от равномерности распределения порошка эльбора, от прочности закрепления его по всей поверхности шкурки. Для

обеспечения равномерности насыпки и ориентации зерен таким образом, чтобы их режущие кромки выступали над уровнем слоя лака, нанесение порошков эльбора производят в электростатическом поле.

Шлифовальную шкурку из эльбора применяют для обработки с охлаждением и без охлаждения желобов

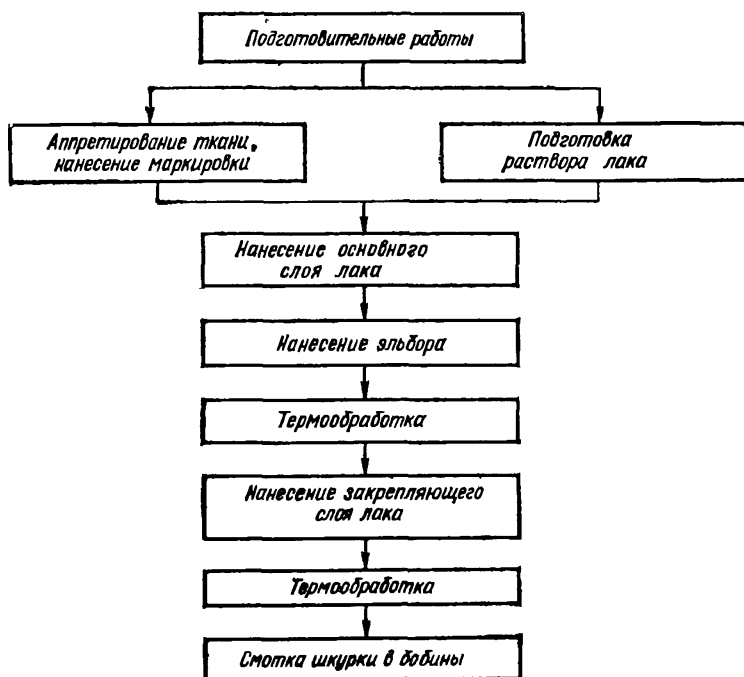


Рис. 20. Технологическая схема производства шлифовальной шкурки из эльбора

колец подшипников, деталей штампов и пресс-форм, мерительного инструмента и других деталей из коррозионно-стойких, жаропрочных, быстрорежущих труднообрабатываемых сталей и сплавов. Шкурки хранят в закрытом помещении при температуре не ниже 5 °С.

Эльборные пасты. Пасты из эльбора изготавливают из порошков эльбора крупностью от 50 до 3 мкм, зернистостью от 63/40 до 3/2. Эльборную пасту выпускают нормальной (Н), повышенной (П) и высокой (В) концентраций эльбора. Выбор концентрации зависит от зернистости используемого эльбора и твердости обрабатываемой детали. По смываемости пасты производят: смываемая водой — В, смываемая органическими рас-

творителями — О, смываемая органическими растворителями и водой — ВО. Эльборную пасту выпускают расфасованной в тубы вместимостью 25, 50, 100 г.

Качество паст из эльбора должно соответствовать требованиям ТУ 2-036-778—78. Пасты хранят в сухом помещении при температуре не более 30 °С. Срок хранения пасты — 1 год.

Высокие режущие свойства эльбора позволяют использовать пасты для доводки изделий из труднообрабатываемых сталей и сплавов, обработка которых абразивными пастами не обеспечивает требуемой производительности и шероховатости поверхности.

Глава 4

НОВЫЕ ВИДЫ СПЕЦИАЛЬНОГО АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

16. Высокопористый абразивный инструмент

Одним из наиболее эффективных видов абразивного инструмента являются *крупнопористые, высокопористые* и *высокоструктурные* шлифовальные круги. Применение высокопористых, крупнопористых инструментов наиболее эффективно при обработке вязких сталей и сплавов, поскольку обеспечивается шлифование без прижогов и трещин.

Пористые круги изготавливают на керамической связке. Причем высокопористое строение абразивного инструмента создается либо за счет газообразования при химической реакции, протекающей в круге во время его изготовления, либо за счет введения выгорающих добавок в состав круга. Чаще всего в качестве порообразователей используют порошки синтетических смол, искусственных и природных материалов, нафталин, полистирол, кокс, торф, опилки, перлит и др. Введение выгорающих добавок определенной крупности приводит как к образованию в процессе термообработки инструмента большей объемной пористости до (70 %), так и к увеличению размеров отдельных пор.

Условное обозначение высокопористых кругов содержит дополнительные сведения о марке порообразователя, его фракции и массовом содержании. Так, при использовании в качестве порообразователя полистирола марки ПСС зернистости 40 в количестве 15 % в

маркировку инструмента к общей характеристике добавляя ПСС 40 15. Иногда характеристику высокопористых кругов записывают в виде дроби, в числителе которой указывается обычная характеристика круга, а в знаменателе — марка порообразователя, например 24A10BM212K5

ПСС4015

В случае использования в качестве порообразующего материала перлита повышенная пористость создается за счет увеличения объема, занимаемого перлитом, и его вспучивания при термообработке. Тем самым изменяется структура инструмента — она становится более открытой, что соответствует высоким номерам структур. Такие круги называют еще и высокоструктурными. В маркировке наличие перлита обозначают буквой «П».

Известно, что для обеспечения бесприжогового шлифования применяют абразивный инструмент более открытых структур. При этом уменьшается количество зерен на поверхности круга и увеличивается расстояние между ними. В кругах обычных структур расстояние между зернами регулируется за счет увеличения количества связки. Получать инструмент структур высоких номеров и сравнительно низких твердостей, т. е. с малым содержанием связки, по обычной технологии практически невозможно ввиду низкой механической прочности свежезаформованного круга. Использование наполнителя — перлита — дало возможность увеличить пористость инструмента и номер структуры и тем самым снизить температуру шлифования.

Высокопористый абразивный инструмент на керамической связке применяют для шлифования шестерен, лопаток турбин (замков), корпусных деталей и на операциях круглого наружного, внутреннего шлифования, зубо- и шлицешлифования, плоского шлифования различных сталей и материалов.

17. Скоростные шлифовальные круги

Одним из наиболее эффективных способов повышения производительности абразивной обработки является увеличение скорости шлифовального круга. Увеличение скорости резания до 60—80 м/с позволяет повысить стойкость шлифовального круга в 1,5—3 раза, уменьшить расход круга и шероховатость обрабатываемой поверхности детали. Уменьшение сил резания при скоростном шлифовании приводит к повышению интенсивности съема металла за счет увеличения подачи.

При высоких скоростях вращения в шлифовальных кругах возникают большие напряжения, вызываемые центробежной силой. Причем наибольшие напряжения наблюдаются на внутренней поверхности отверстия круга. Обеспечение безопасных условий эксплуатации абразивного инструмента требует создания достаточного запаса прочности шлифовальных кругов. В соответствии с ГОСТ 12.3.028—82 круги перед установкой на станок должны быть испытаны с полуторным запасом от их рабочей скорости.

Повышение рабочей скорости круга вызвало значительный рост напряжений в круге, что потребовало повысить прочность абразивного инструмента. Упрочнение шлифовальных кругов проводят в следующих направлениях: совершенствование технологического процесса производства кругов с разработкой новых связей, позволяющих повысить их прочность; упрочнение кругов в нерабочей части у отверстия путем применения абразивных смесей, отличающихся более высокой плотностью и прочностью, использования различных втулок из металла или других материалов, пропиткой упрочняющим составом; разработка специальной конструкции шлифовальных кругов с утолщенной ступицей у отверстия; изготовление кругов без отверстия.

Для скоростного инструмента с рабочей скоростью 50 м/с были разработаны керамические связи марки К5 (для инструмента из электрокорунда марок 24А, 25А) и связка марки К6 (для инструмента из хромитанистого электрокорунда). Механизация укладки формовочных смесей в пресс-форму, использование при прессовании гидролит и совершенствование режимов термообработки позволили повысить прочность кругов, обеспечить использование их при работе со скоростью 60 м/с. Для работы круга со скоростью 80 м/с и более для него разработана специальная керамическая связка марки К43.

В табл. 9 приведена механическая прочность образцов и кругов типа ПП250 × 20 × 76 из различных шлифовальных материалов. Рабочую скорость рассчитывают по разрывной скорости кругов с учетом коэффициента запаса прочности, равного трем, т. е. $v_{\text{раб}} = v_{\text{разр}}/1,71$.

Для обеспечения высокой прочности круги должны отвечать более жестким требованиям к точности формы и размеров, неуравновешенности и равномерности твердости и соответствовать классу А или АА (ГОСТ

2424—83) с неуравновешенностью не ниже 2-го класса для кругов с рабочей скоростью до 60 м/с и не ниже 1-го класса — для кругов, работающих со скоростью 80 м/с.

Абразивной промышленностью освоено производство скоростных шлифовальных кругов на керамических

Таблица 9

**Прочностные характеристики скоростных
шлифовальных кругов типа ПП 250×20×76
из различных материалов**

Марка шлифовального материала	Марка керамической связки	Степень твердости	Предел прочности брусков, МПа		Разрывная скорость $v_{\text{разр}}$, м/с	Рабочая скорость (расчетная) $v_{\text{раб}}$, м/с
			при изгибе $\sigma_{\text{изг}}$	на разрыв $\sigma_{\text{разр}}$		
24A40	K5	C1	28,0	16,1	95	50
	K6	CM2	24,0	13,7	88	50
	K43	C1	40,0	26,2	120	60
91A40	K5	C1	26,5	14,5	90	50
	K6	C1	32,0	15,4	93	50
	K43	C2	38,0	25,0	118	60
14A40	K5	C2	24,0	15,4	93	50
	K6	C1	23,5	14,5	90	50
	K43	C2	27,0	16,1	95	50
24A25	K5	C1	35,3	20,0	110	60
	K6	CM2	33,5	19,0	110	60
	K43	C1	42,0	28,2	137	80
91A25	K5	C1	32,7	21,2	115	60
	K6	C1	30,6	20,0	114	60
	K43	C1	41,7	27,0	136	80

связках из электрокорундов (белого и хромотитанистого), а также из карбида кремния. Круги из корундовых материалов для шлифования со скоростью 50 м/с выпускают в широком ассортименте на связках марок K5 и K6, а для работы со скоростью 60 м/с — на связках марок K5 и K6 с некоторым ограничением по зернистости и твердости. Все виды кругов для работы со скоростью 60 м/с могут быть изготовлены на связке марки K43. Круги из карбида кремния зернистостью от 16 до M40 на связке марки K10 выпускают для работы со скоростью 50—60 м/с. Круги из карбида кремния других характеристик могут быть изготовлены лишь с упрочнением центральной части круга. Для шлифования со скоростью 80 м/с освоено производство кругов из

электрокорунда марки 25А зернистостью 25—12 и из хромотитанистого электрокорунда зернистостью 25—8 на связках марок К43 и К43Л. Круги для работы со скоростью 80 м/с выпускают по специальным техническим условиям. Скорость на кругах маркируют в виде числового обозначения.

При выборе характеристики абразивного инструмента для скоростного шлифования необходимо учитывать, что при увеличении окружной скорости шлифовального круга круг работает как более твердый.

Рекомендуется круги из электрокорунда марок 24А и 25А использовать для чистового скоростного шлифования, а круги из легированных электрокорундов — для силового скоростного шлифования при съеме увеличенных припусков.

18. Специальный абразивный инструмент

В настоящее время все большее применение находят специальные полуавтоматические и автоматические станки для одновременного шлифования нескольких поверхностей деталей. В случае многокруговой наладки используют комплекты шлифовальных кругов (от 2 до 5 кругов). Шлифовальные круги, работающие в комплекте, изготавливаются в прецизионном исполнении. Основные требования к кругам заключаются в следующем: наружные диаметры кругов, входящих в один комплект, не должны отличаться более чем на 1 мм; предельные отклонения высоты кругов для шлифования методом вращения не должны превышать $\pm 0,1$ мм; предельные отклонения диаметра посадочного отверстия кругов должны быть не более $\pm 0,3$ мм; предельные отклонения размеров цилиндрических поверхностей (овальность и конусообразность наружного диаметра) должны быть не более 0,3 мм; непараллельность и выпуклость (вогнутость) торцовых поверхностей для кругов диаметром 400 мм и выше должны быть не более 0,2 мм; предельное отклонение от перпендикулярности торцов к оси посадочного отверстия кругов — 0,2 мм, а линейных размеров профиля угловых кругов $\pm 0,3$ мм. Отклонение от твердости кругов в комплекте не допускается. Неуравновешенность кругов не должна превышать предельной класса 1 неуравновешенности по ГОСТ 3060—75. Уравновешивание комплектов кругов многокруговых наладок осуществляют вне станков.

Оснащение станочного парка отечественного машиностроения оборудованием зарубежных фирм потребовало

создания специального абразивного инструмента. Специальный инструмент может не соответствовать требованиям ГОСТа по типам и размерам. Освоены и внедрены в промышленность специальные шлифовальные круги различного профиля: круги фасонные плоские (тип ФП), круги угловые плоские (тип УП) и специального профиля (тип СП) (рис. 21).

Круги типа УП предназначены для круглого врезного шлифования; разнообразные рабочие профили кругов

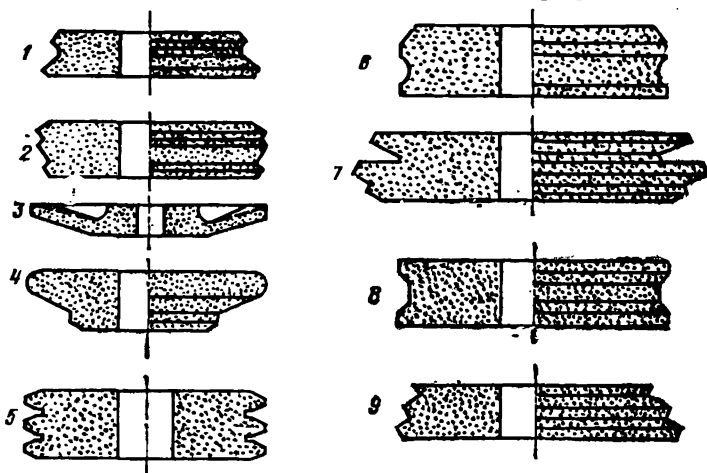


Рис. 21. Типы шлифовальных специальных кругов на керамической связке:

1—УП600×20×305; 2—УП900×60×305; 3—СПТ300×19×101,6, Т762×32×406,4;
4—УП694×55×305; 5—ПС350×85×160, ПС400×80×203; 6—ФП750×35×305;
7—ФП750×43×305; 8—ФП750×25×305; 9—УП900×45×305; УП400×15×127

определяются соответствующими профилями шлифуемых деталей. Круги изготавливают на керамической связке следующих размеров: наружный диаметр от 400 до 974 мм, высота от 15 до 125 мм, диаметр отверстия 127 и 305 мм.

Круги типа ФП предназначены для фасонного врезного шлифования и выпускаются следующих размеров: наружный диаметр от 335 до 750 мм, высота от 19 до 33 мм, диаметр отверстия от 127 до 305 мм.

Допускаемые предельные отклонения и характеристики специальных кругов должны соответствовать чертежам, согласованным с потребителем.

Круги фасонного и углового профиля работают и как единичный инструмент, и в комплектах из двух и более кругов.

Специальные абразивные инструменты прямого, углового и фасонного профиля, работающие в комплекте, предназначены для одновременного шлифования нескольких поверхностей деталей, например на следующих операциях: одновременное черновое и чистовое шлифование пяти коренных шеек коленчатого вала и места под сальник типов ПП1060 \times 29 \times 305, ПП1060 \times 25 \times 305 (три круга), типов ПП1060 \times 26 \times 305, 1060 \times 27 \times 305 24А32С16К5; окончательное круглое наружное шлифование пяти опорных шеек распределительного вала типа ПП1060 \times 25 \times 305 (комплект из пяти кругов) 24А25СМ27К5; полная фасонная обработка тарелки клапана, канавки и снятие фаски с конца стержня клапана; круги типов ФП600 \times 44 \times 305 и ФП600 \times 19 \times 305 14А20Т26К; круглое угловое наружное шлифование посадочных мест на ведомом валу коробки передач (комплект из двух кругов) типов СП200 \times 55 \times 305 и УП756 \times 25 \times 305 24А25СМ28К5; окончательное шлифование с двух сторон одновременно шейки и торцов цапф и фланцев картера заднего моста, круги типов УП918 \times 45 \times 508, УП1035 \times 508 и УП1060 \times 70 \times 508 24А32СМ16К5.

В ряде случаев применяют специальные абразивные инструменты, выполненные в виде круга, набранного из отдельных сегментов или отдельных кругов, а также круги, имеющие различные прорези для обеспечения прерывистого шлифования.

Новым видом абразивного инструмента являются круги для электрохимического шлифования. Круги изготавливают на металлической связке, основой которой является алюминий, методом центробежного литья.

По эксплуатационным свойствам специальный абразивный инструмент должен соответствовать показателям работоспособности, полученным и зафиксированным в картах технического уровня для утвержденного образца.

Глава 5

ВЫБОР ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ

Расширение областей применения абразивной обработки за счет замены ряда операций шлифованием, повышение производительности обработки за счет

Рекомендации по выбору абразивных инструментов для различных операций абразивной обработки

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Арматура	Сталь конструкционная незакаленная	Круглое наружное шлифование	13А, 14А, 15А	63—25	С1—С2	К
		Внутреннее шлифование	23А	32—16	СМ1—СМ2	
Корпусные детали металлорежущих станков	Чугун	Круглое наружное обдирочное шлифование	53С, 54С	125—80	СТ1—СТ2	Б
Плоское обдирочное шлифование						
Барабаны текстильной машины		Плоское обдирочное шлифование, зачистка		125—63		К
		Круглое наружное шлифование		40—25		

Блоки зубчатых колес коробок передач	Сталь легированная закаленная	Плоское предварительное шлифование	13А, 14А	63—40		Б
		Окончательное шлифование: круглое наружное	14А, 24А, 25А	40—25	С1—С2	К
		внутреннее	25А, 24А	32—16	С2—СТ1	
Блок цилиндров	Чугун серый	Хонингование: предварительное	53С	10—8	С1—С2	М
		окончательное	63С	М40—М28	М3—СМ1	
			АСМ	28/20	100 %	
Бойки для молотков	Сталь инструментальная углеродистая закаленная	Плоское обдирочное шлифование периферией круга	13А, 14А	80—50	СТ2—СТ3	Б
		Окончательное шлифование: плоское	15А, 24А, 25А	63—40	СМ2—СМ1	К
		круглое наружное		50—40	С1—С2	
	Сталь легированная и быстрорежущая незакаленная	Обдирочное шлифование: на подвесных станках	13А, 14А	160—80	СТ1—Т1	Б
		на переносных станках		80—50		

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связки **
Прокат	Сталь коррозионно-стойкая незакаленная	Обдирочное шлифование: на подвесных станках	14А, 15А	125—50	С2—СТ1	Б
		на переносных станках		80—50		
Болты для авто-тракторных шатунов	Сталь конструкционная незакаленная	Круглое наружное предварительное шлифование	14А, 15А, 24А	63—40	С1—С2	К
		Бесцентровое окончательное шлифование		40—25	С2—СТ1	
	Сталь конструкционная закаленная	Круглое наружное и бесцентровое шлифование			СМ2—С1	
Борштанги	Сталь конструкционная закаленная	Круглое наружное шлифование: предварительное	15А, 24А		С1—С2	
		окончательное	24А, 25А	25—16	СМ2—С1	

Бритвы безопасные	Сталь легированная закаленная	Доводка: 1-я операция	24A, 25A	6—5	M3	Б
		2-я »		5—4	CM1	
		3-я »	63C	M10—M28	CT1	
Бритвы опасные	Сталь легированная не-закаленная	Плоское шлифование хвоста, снятие заусенцев, поднутрение боков и подрезка спинки	14A	40—25	CT1	К
		Сталь легированная закаленная	Профилирование: конца спинки	15A 25A	40—25 12—10	
	Заточка: предварительная		24A	25—16	CM1—CM2	
		окончательная	25A	8—6		
Валки прокатные для бумагоделательных машин	Латунь, медь	Круглое наружное шлифование: предварительное	53C	40—25	CM1—CM2	Б
		окончательное	63C	12—8	M3—CM1	К

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Валки для горячей прокатки	Чугун отбеленный	Круглое наружное шлифование: предварительное	53С 54С	63—40	СТ1—СТ2	Б
		окончательное		40—25	С1—С2	
Валки для холодной прокатки	Сталь хромистая незакаленная	Круглое наружное шлифование: предварительное	53С	50—40	С1—СТ1	Б К
		окончательное	63С	6—5	СМ1—СМ2	
	Сталь хромистая закаленная	Круглое наружное шлифование	13А, 14А	50—40	С1—СТ1	Б К
		Круглое наружное шлифование: предварительное	14А, 15А	50—40	С1—С2	
окончательное	24А, 25А, 92А	12—10	СМ1—СМ2			
доводочное	63С	М28—М14				

Валки смесительные и прокатные	Чугун отбеленный	Круглое наружное шлифование: предварительное	54С	40—25	С2—СТ1	Б
		окончательное		25—16	СМ1—СМ2	К
					С1—С2	Б
Валы вентиляторов	Сталь конструкционная незакаленная	Круглое наружное шлифование	15А, 16А, 23А	40—25	С2—СТ1	К
Валы коленчатые	Сталь конструкционная легированная незакаленная	Круглое обдирочное шлифование шеек и мест для балансировки	14А, 15А	125—80	СТ2—СТ3	
		Круглое наружное предварительное шлифование шатунных шеек		50—40		
	Сталь конструкционная легированная закаленная	Круглое наружное шлифование шатунных шеек: предварительное	92А, 24А		СТ1—СТ2	
окончательное		92А, 24А, 25А	40—25			

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов					
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **		
Валы коленчатые	Сталь конструкционная легированная закаленная	Круглое наружное шлифование коренных шеек:				К		
							предварительное	92А, 24А
			43А	25—16	СТ2—СТ3			
		окончательное	92А, 24А, 25А	40—25	СТ1—СТ2			
		Круглое наружное шлифование коренных шеек:						
			43А	25—16	СТ2—СТ3			
		окончательное						
			43А	25—16	СТ1—СТ2			
Суперфиниширование			24А, 25А	М28	М3—СМ1			

Валы распределительные для автомобилей и тракторов	Сталь конструкционная легированная незакаленная	Круглое наружное шлифование	14А, 15А	80—50	СТ1—СТ2	Б	
			13А, 14А, 15А	63—40			
			14А, 15А		С1—С2	К	
	Сталь конструкционная легированная закаленная	Круглое наружное шлифование кулачков:	предварительное	14А	63—40	С1—С2	Б
				14А, 15А			
			окончательное	15А, 24А, 92А	32—16	СМ2—С1	К
		13А, 14А		16—12	СТ	В	
		43А		25	С1—С1	К	
		Круглое наружное шлифование торцов кулачков	14А, 15А	63—40			
		Круглое наружное шлифование шеек:	предварительное	14А			63—40
				окончательное	15А, 24А, 25А, 92А	40—25	СМ2—С1

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связки **
Валы рулевого управления автомобиля	Сталь конструкционная	Бесцентровое шлифование	15А, 24А, 25А, 92А	25—16	С1—С2	К
Валики шлицевые	Сталь конструкционная легированная незакаленная	Круглое наружное шлифование	25А, 24А, 92А	50—40	С2—СТ1	
				63—25	СМ2—С1	
	Сталь конструкционная легированная закаленная	Бесцентровое шлифование	14А, 15А, 92А	40—25	С1—С2	
		Шлифование шлицев	43А	63—32	М3—СМ1	
			25А, 24А, 92А	63—25	СМ2—С1	
			ЛО	Л16—Л8	СМ2—С2	

Веретена текстильных машин	Сталь конструкционная незакаленная	Круглое наружное шлифование	15А, 23А	40—25	C2—CT2	
	Сталь конструкционная закаленная	Бесцентровое шлифование	14А, 15А		C1—C2	
Вилки велосипедные	Сталь конструкционная незакаленная	Зачистка мест сварки	13А, 14А	125—80	CT2—CT3	Б
Винты микрометров	Сталь инструментальная углеродистая незакаленная	Плоское предварительное шлифование	14А, 15А	40—25	C1—C2	К
		Плоское окончательное шлифование	25А, 24А, 92А	25—16	CM1—CM2	
	Сталь инструментальная углеродистая закаленная	Круглое наружное шлифование: предварительное	14А, 15А	40—25	CM2—C1	
			25А, 24А, 92А	25—16		
		окончательное	43А	16—12		
Винты ходовые длиной до 1 м	Сталь хромистая закаленная	Шлифование резьбы: предварительное	43А	16	M1—M2	
		окончательное	43А	12—8	M1—BM2	
			ЛО	Л10—Л12	M3—CM2, 100 %	

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связки **
Винты ходовые длиной более 1 м	Сталь хромистая закаленная	Шлифование резьбы: предварительное	43А	16	М2—М3	К
		окончательное	43А	12—10	ВМ1—ВМ2	
			ЛО	Л10—Л12	М3—СМ2, 100 %	
Вкладыши для подшипников	Сталь конструкционная незакаленная	Обдирочное шлифование плоскостей	13А, 14А	80—50	С2—СТ1	Б
	Бронза	Круглое наружное шлифование	53С, 54С	50—40	СМ2—С1	К
		Внутреннее шлифование		40—25	СМ1—СМ2	
Вставки для микрометра	Сталь высококачественная инструментальная углеродистая	Круглое наружное шлифование: предварительное	24А			
		окончательное	24А, 25А, 92А			

		Бесцентровое шлифование	14А, 15А	40—25	C1—C2	К	
		Плоское шлифование торцов			CM2—C1		
Втулки плунжеров	Сталь конструкционная незакаленная	Плоское шлифование	24А, 25А, 92А	25—16	C1—C2		
Втулки ступицы колеса автомобиля	Сталь конструкционная незакаленная	Внутреннее шлифование	14А, 15А	40—25	CM2—C1		
Гильзы цилиндров автотракторного двигателя	Чугун серый	Плоское шлифование	53С	50—40			
		Круглое наружное шлифование					
		Внутреннее шлифование		40—25			CM1—CM2
		Бесцентровое шлифование					
Отрезка	13А, 53С	80—50	СТ	В			
Детали бронзовые	Бронза мягкая	Круглое наружное шлифование	53С, 54С	50—40	CM1—CM2		К
		Бесцентровое шлифование			C1—C2		
		Внутреннее шлифование		40—25	CM1—CM2		

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Детали бронзовые	Бронза мягкая	Плоское шлифование: торцом круга	53С, 54С	125—80	СМ1—СМ2	Б
		периферней круга		80—50		
	Бронза твердая	Круглое наружное шлифование	24А	40—25	СМ2—С1	К
		Бесцентровое шлифование		25—16		
		Внутреннее шлифование	25А, 24А	СМ1—СМ2		
		Плоское шлифование	54С	80—50	С1—С2	
Отрезка	13А, 14А	50—40	СТ2—СТ3			
Диски сцепления	Чугун	Плоское шлифование	53С, 54С	25—16	С1—С2	К

Долбяки зуборезные	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Плоское шлифование: торцом круга	24А	50—40	МЗ—СМ1	К
			ЛО	40—25	СМ1—СМ2	Б
			ЛО	Л16—Л8	100 %	
		периферией круга	24А, 25А	25—16	СМ1—СМ2	К
			Шлифование зубьев: $m \leq 1$	10—8		
		$m = 2$		16—12	СМ2—МЗ	
		$m = 3 \div 4$		25—16	М2—МЗ	
		$m = 5 \div 6$		40—25	МЗ—СМ1	
		Заточка	ЛО	Л16—Л8	СМ2, 100 %	
			24А, 92А	40—25	МЗ—СМ1	
Доводка	ЛО	Л12—Л8	100 %	Б		
		Л6—Л5				

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Долота, стамески	Сталь инструментальная углеродистая и быстрорежущая закаленная	Плоское шлифование	15А	80—50	СМ2—С1	К
				50—40	С2—СТ1	Б
		Заточка	14А	40—25	СМ2—С1	К
		Хонингование: предварительное	63С	10—8	С1—СТ1	
				12—10	СТ3—Т1	
			АСР	160/125	50 %	М
		окончательное	63С, 64С	М28—М20	М3—СМ1	К
			63С	4—3	СМ2—С1	Б
			АСМ	14/10	100 %	М

Гильзы цилиндров дизельного двига- теля	Сталь азотированная	Внутреннее шлифование:		50—40	C2—CT1	Б	
		предварительное	23A	40—25	C1—C2		
		окончательное	63C	10—6	CM1—CM2		
		Хонингование		M28—M20	M3—CM1		
Гнезда клапанов	Сталь легированная	Внутреннее шлифование: предварительное окончательное	24A, 92A 24A, 25A, 92A	32—16 8—6	C2—CT1 CM1—CM2	К	
Гребенки зуборез- ные	Сталь инструментальная быстрорежущая закален- ная	Обработка рабочей части зубьев:	24A, 25A, 92A	25—16	CM1—CM2		
		фасонное шлифование	ЛО	Л16—Л8	CM1—C1, 100 %		
		заточка	24A, 25A, 92A	25—16	M3—CM1		
			63C	6—5			Б
		доводка	ЛЮ	Л16—Л5	CM2—C2, 100 %		К
				ЛМ14—ЛМ40	100 %		Б
заточка выемки	24A, 25A, 92A	16—12	CM2—C1	К			

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов				
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связки **	
Гребенки резьбовые круглые	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Круглое наружное шлифование	24А, 25А, 92А	25—16	СМ2—С1	К	
		Шлифование резьбы с шагом, мм: до 1	24А, 25А		М40—М28		С1—С2
				1—1,5	5—М40		СМ2—С1
				1,5—2,5	6—5		СМ1—СМ2
				до 4	10—6		М3—СМ1
Детали алюминиевые	Алюминий и его сплавы	Круглое наружное шлифование: предварительное	53С, 54С	50—40	СМ2—С1		
		окончательное		25—16			

		Плоское шлифование: периферией круга	53С, 54С	50—40	СМ1—СМ2	
		торцом круга		80—50		
Звенья цепей	Чугун серый	Обдирочное шлифование	52С, 53С	125—80	СМ2—СМ3	Б
	Чугун ковкий отожженный		13А		СТ1—СТ2	
	Сталь марганцовистая отожженная		13А, 14А		СТ2—СТ3	
Зенкеры конические	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Круглое наружное шлифование	24А, 92А	40—25	СМ2—С1	К
		Заточка: предварительная		25—16	СМ2	
		окончательная	ЛО	Л6—Л5	100 %	Б
	Твердые сплавы	Доводка	63С	6—4	СМ—С2	
		Заточка		25—16	СМ1	
Зенкеры насадные	Твердые сплавы	Доводка	АСР	125/100, 100/80	100 %	Б
		Заточка	63С	25—16	СМ2—С1	К

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Зубила	Сталь инструментальная углеродистая закаленная	Обдирочное шлифование	13А, 14А	80—50	СТ1—СТ2	Б
		Заточка	24А	40—25	С2—СТ1	
Иглы распылителей	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Плоское шлифование: предварительное	24А, 92А	32—16	СМ2—С1	К
			43А	40—16	М3—СМ2	
		окончательное	ЛО	Л16—Л10, Л8—Л5	100 %	Б
		Доводка		ЛМ20—ЛМ14		
Иголки швейные	Сталь углеродистая закаленная	Заточка				
		Предварительное внутреннее шлифование кругами диаметром, мм:		25—16	СТ1—СТ2	К

Калибры-кольца гладкие	Сталь инструментальная углеродистая закаленная	3—15	24A			К
		16—40		40—25	C1—C2	
		45—120				
		Окончательное внутреннее шлифование кругами диа- метром, мм: 3—15	24A, 25A	12—10	C1—C2	
		16—40		25—16	CM1—CM2	
45—120	ЛО	Л110—Л16	C2—CT1, 100 %			
	24A, 25A	40—25	CM1—CM2			
Калибры-кольца резьбовые	Сталь инструментальная углеродистая и легиро- ванная закаленная	Плоское шлифование	14A, 15A	50—40	C1—C2	Б
		Внутреннее шлифование	24A	25—16	CM1—CM2	К
		Шлифование резьбы: предварительное	24A, 25A	10—8	C2—CT1	
окончательное	8—6	CM1—C1				

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Калибры-пробки гладкие	Сталь инструментальная углеродистая и легированная закаленная	Круглое наружное шлифование: предварительное	24А, 92А	40—25	С1—С2	К
		окончательное	24А, 25А, 92А	16—12	СМ1—С1	
			ЛО	Л16—Л6	СМ2—С2, 100 %	Б
		Л16—ЛМ5		100 %		
Калибры-пробки резьбовые		Плоское шлифование	24А, 92А	25—16	С1—С2	К
		Круглое наружное шлифование мерительной поверхности	24А, 25А, 92А	16—12	С2—СТ1	
		Шлифование по целому резьбы с шагом, мм:				

Калибры-пробки
резьбовые

Сталь инструментальная
углеродистая и легиро-
ванная закаленная

до 0,75	24А, 25А	M28		
		M40	Т	В
0,8—1,0	ЛО	ЛМ28—ЛМ20	СТ3—Т1, 100 %	К
		Л4—ЛМ40		
1—1,5	24А, 25А	M40	C2—СТ1	Б
		4—3	Т1—Т2	
	ЛО	Л6—Л4	СТ3—Т1, 100 %	
1,75	24А, 25А	4—3	C1—C2	К
		5—4	СТ3—Т1	Б
	ЛО	Л8—Л6	СТ3—Т1, 100 %	К
Шлифование по предвари- тельно нарезанному профи- лю резьбы с шагом, мм:				
до 2	24А, 25А	4—3	C1—C2	

Изделе	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Калибры-пробки резьбовые	Сталь инструментальная углеродистая и леги- рованная закаленная	Шлифование по предвари- тельно нарезанному про- филю резьбы с шагом, мм: 2,5—4 <hr/> 4,5—5 <hr/> 5,5—6	24А, 25А	5—4	СТ3—Т1 СМ2—С1	Б
				6—5	СТ2—СТ3	
				5—4	СМ1—СМ2	Б
				8—6	СТ2—СТ3	
				6—5	СМ1—СМ2	Б
				10—8	СТ1—СТ2	
		Плоское шлифование	24А, 92А	40—25	СМ2—С1	К
		Круглое наружное шлифо- вание хвостовиков		25—16		

Калибры-скобы	Сталь углеродистая цементированная	Плоское обдирочное шлифование: торцом круга	24А	50—40	С2—СТ1	Б
			13А	80—50	СТ1—СТ2	
		Плоское шлифование торцов: предварительное	24А	40—25	СМ2—С1	К
				25—16		
окончательное	24А, 25А	10—8	СМ1—СМ2			
Клапаны авто-тракторных двигателей	Чугун серый	Плоское шлифование торцов стержня	53С	50—40	СМ2—С1	Б
				С1—С2		
	Сталь конструкционная закаленная	Плоское шлифование торцов стержня: предварительное	13А, 14А	80—50	СМ2—С1	
				окончательное	14А, 15А	40—25
	Круглое наружное шлифование фаски стержня	23А	25—16	С1—С2	К	

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Клапаны авто-тракторных двигателей	Сталь конструкционная закаленная	Бесцентровое шлифование стержня:	14А, 15А	40—25	C2—CT1	К
		предварительное		25—16	C1—C2	
		окончательное				
		по радиусу и конусу	16—12	BT1—T2		
		Круглое наружное шлифование фаски клапана	24А	12—10	CT2—CT3	
Ключи гаечные	Сталь	Обдирочное шлифование: плоскостей	13А, 14А	125—63	CT1—CT2	Б
		контурных поверхностей		80—50		
	Чугун ковкий	Обдирочное шлифование		125—80		
	Сталь конструкционная незакаленная	Плоское шлифование		80—50	C2—CT1	
		Внутреннее шлифование		40—25	CM2—C1	

Колеса зубчатые	Сталь конструкционная цементруемая закаленная	Плоское шлифование: периферией круга	14А, 15А	63—40	СМ1—СМ2	К
		торцом круга		80—50	СМ2—СМ1	Б
		Внутреннее шлифование	24А, 25А	40—25	СМ1—СМ2	К
		Шлифование зубьев	24А, 25А, 92А			
	Сталь легированная закаленная	Шлифование профиля зубьев: методом копирования	43А, 44А	16, 20, 25	М3—СМ2	
		методом огибания: $m \leq 2,5$		25—20	С1—С2	
$m = 2,5 \div 6$		32—16		М3—СМ1		
$m = 6 \div 10$		40—20		М2—М3		
Колеса и бадажи железнодорожные	Сталь марганцовистая закаленная	Круглое обдирочное шлифование	13А, 14А	125—80	СТ2—Т1	
Колонны для радиально-сверлильных станков	Чугун серый	Круглое наружное шлифование	53С	40—25	С1—С2	

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов				
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **	
Сталь шарикоподшипниковая закаленная		Бесцентровое шлифование: предварительное	14А, 15А	40—25	МЗ—СМ2	К	
			13А, 14А		С1—С2	Б	
		окончательное	14А, 15А	25—16	СТ	В	
		Бесцентровое шлифование	24А, 25А, 92А				
		Внутреннее шлифование от- верстий паружных колец кругами диаметром, мм:	до 10	24А	16—12	СТ1—СТ2	
				ЛО	Л6—Л5	С2—Т1, 100 %	
			12—30	24А	25—16	С2—СТ1	
				ЛО	Л8—Л6	СТ1—СТ2, 100 %	

Кольца подшипниковые	30—60	24А	25—16	СМ2—С1	К
	св. 65			М3—СМ1	
	Предварительное шлифованье роликовых дорожек наружных колец кругами диаметром, мм: до 60			СМ2—С1	
	св. 65			СМ1—СМ2	
		ЛО	Л12—Л10	СТ3—Т1, 100 %	
Сталь теплостойкая	Предварительное шлифованье желобов наружных колец кругами диаметром, мм: до 45	63С	10—8	СТ	В
	50—100	24А, 25А	16—12		
	Окончательное шлифованье желобов наружных колец кругами диаметром, мм: до 45	63С	5—4		
	50—100	24А, 25А	10—8	СМ—С	
	Шлифованье желоба внутренних колец			СТ	

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов				
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **	
Кольца подшипниковые	Сталь теплостойкая	Шлифование роликовых дорожек внутренних колец: предварительное	24А, 25А, 92А	25—16	СМ2—С1	К	
		окончательное		16—12	СМ1—СМ2		
		Шлифование бортиков: внутренних колец	25А, 24А		25—16	СМ2—С1	В
		наружных колец		25А, 24А		40—25	
		Шлифование торцов колец: предварительное	ЛО		Л16—Л5		М3—СМ1
		окончательное				ЛО	ЛМ40—ЛМ7
						СМ2—С2, 100 %	
				С1—СТ3, 100 %			

Кольца поршневые	Чугун серый	Бесцентровое внутреннее и наружное обдирочное шлифование	53С	80—50	СТ1—СТ2	К
		Круглое наружное шлифование		50—40	СМ2—С1	
		Плоское шлифование: предварительное		40—25	С1—С2	Б
				окончательное	16—10	
Коробки золотниковые	Сталь конструкционная легированная закаленная	Плоское шлифование	24А, 25А, 92А	40—25	СМ2—С1	К
Корпуса и втулки поворотного кулака	Сталь	Круглое наружное шлифование	14А, 15А	63—40	СТ1—СТ2	
		Плоское шлифование		63—25	СМ2—С1	
Корпуса плугов	Сталь конструкционная незакаленная	Плоское обдирочное шлифование	13А, 14А	125—80	СТ1—СТ3	Б
Корпуса коробок передач	Чугун серый	Плоское шлифование	53С	80—50	С1—С2	
Крышки картеров автомобилей и тракторов				40—25		
Кронштейны авто-тракторные		Плоское обдирочное шлифование		125—80	СТ1—СТ2	

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Кулачки поворотные автотракторные	Сталь хромистая закаленная	Бесцентровое шлифование: предварительное	14А, 15А	40—25	СТ2—СТ3	К
		окончательное	25А	25—16	СТ1—СТ2	
Кулисы железнодорожные	Сталь	Обдирочное шлифование	13А, 14А	80—50	СТ2—СТ3	Б
Лемехи для плугов	Сталь незакаленная		14А	125—80		
Линейки измерительные	Сталь хромоалюминиевая закаленная	Плоское шлифование	24А, 25А, 92А	50—40	СМ1—СМ2	К
Лопатки турбинные	Сталь жаропрочная	Фасонное шлифование замка	43А, 44А, 92А	10—8	М3—СМ1	
Магниты	Магнитный сплав	Плоское шлифование: торцом круга	14А, 15А	40—25	СМ1—СМ2	Б
		периферией круга	43А, 44А		СМ1—С1	К

Матрицы чильные	воло- Твердые сплавы	Внутреннее шлифование: предварительное	63С		СМ1—СМ2	
		окончательное	АСР	160/125	100 %	М
Матрицы штампов	Сталь инструментальная: легированная	Плоское шлифование	15А, 23А	50—40	СМ1—СМ2	К
	закаленная				СМ2—С1	
Метчики	Сталь инструментальная углеродистая и быстро- режущая незакаленная	Круглое обдирочное шлифо- вание	14А, 15А		СТ2—СТ3	Б
	Сталь инструментальная углеродистая и быстро- режущая закаленная	Плоское шлифование квад- рата	15А, 25А	40—25	С1—С2	К
		Круглое наружное шлифо- вание: режущей части	24А, 25А, 92А		СМ2—С2	
		хвостовика		16—12	С1—С2	
		Шлифование канавок	15А, 23А	40—25	С—СТ	В
Шлифование резьбы с ша- гом, мм: до 1		24А, 25А	М28	СТ1—СТ2	К	
				СТ—Т	В	

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Метчики	Сталь инструментальная углеродистая и быстрорежущая закаленная	Шлифование резьбы с шагом, мм: до 1	ЛО	Л4—ЛМ40	СТ3—Т1, 100 %	К
		1,1—1,5	24А, 25А	М40	С2—СТ1	
			ЛО	Л6—Л4	СТ3—Т1, 100 %	
		1,6—2,5	24А, 25А	40—5	СМ2—С1	
			ЛО	Л8—Л6	СТ3—Т1, 100 %	
		2,6—4	24А, 25А	10—6	СМ1—СМ2	
Заточка	43А, 44А	40—25	С1—С2			

Наковальни	Сталь	Плоское шлифование	13А, 14А	80—50	СМ2—С1	
					С2—СТ1	
Напильники	Сталь инструментальная углеродистая закаленная	Плоское обдирочное шлифование	24А	50—40	СТ1—СТ4	Б
		Бесцентровое шлифование			14А, 15А	40—25
Направляющие станков	Чугун серый и модифицированный	Плоское шлифование: предварительное	53С, 54С	80—50	СМ1—СМ2	Б
			24А	50	М3—СМ1	К
		окончательное	53С, 24А	40—25	СМ1—СМ2	
	Сталь конструкционная углеродистая и легированная закаленная		Плоское шлифование	ЛО	Л16—Л12	100 %
Л10—Л8						
Ножи вставные для разверток	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Плоское шлифование: предварительное	24А, 25А, 92А	40—25	М3—СМ1	К
			окончательное	14А, 15А	50—40	СМ2—С1
					ЛО	Л16—Л5

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Ножи вставные для разверток	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Заточка	24А, 25А, 92А	25—16	СМ1—СМ2	К
		Доводка	63С	6—5	С1—С2	Б
	Твердый сплав	Заточка	63С, 54С	25—16	СМ1—СМ2	К
		Доводка	АСР	80/63	100 %	Б
Ножи вставные для фрез	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Плоское шлифование	24А, 25А, 92А	40—25	С1—С2	К
				16—12		
		40—25		СТ1—СТ2		
	Заточка	63С, 64С	25—16	СМ1—СМ2		
Твердые сплавы	Доводка	АСР	80/63	100 %		

Ножи для косилок и комбайнов	Сталь углеродистая незакаленная	Плоское шлифование	13А, 14А	80—50	СМ2—С1	Б
	Сталь углеродистая закаленная	Заточка: автоматическая ручная	13А, 14А	50—40	СМ2—С1 СТ1—СТ2	
Ножи опорные для бесцентровых шлифовальных станков	Сталь инструментальная углеродистая и быстрорежущая закаленная	Плоское шлифование	24А, 25А, 92А	40—25	СМ1—СМ2	К
Ножи столовые	Сталь инструментальная углеродистая и коррозионно-стойкая незакаленная и закаленная	Заточка: предварительная	13А, 14А		С2—СТ1	Б
		окончательная	15А, 24А 24А, 25А, 92А	СМ2—С1 СМ1—СМ2		
Нониусы барабана микрометров	Сталь качественная конструкционная незакаленная	Круглое наружное шлифование	24А, 25А	25—16	СМ2—С1	К
Нониусы и штапиги к штангенциркулям	Сталь высококачественная инструментальная углеродистая закаленная	Плоское шлифование	24А, 25А, 92А		СМ1—С1	

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Оси автотракторные	Сталь качественная конструкционная закаленная	Круглое наружное шлифование: предварительное окончательное	24А, 92А 24А, 25А, 92А	50—25 25—16	СМ2—С1 СМ1—СМ2	К
		Бесцентровое шлифование	14А, 15А	40—25	СМ2—С1	
Оси вагонные	Сталь	Круглое наружное шлифование	24А, 25А	63—25	СМ1—С1	
Отвертки слесарные	Сталь инструментальная закаленная			Заточка	50—40	
Пальцы поршневые автотракторные	Сталь закаленная	Бесцентровое шлифование: предварительное	14А, 15А	40—16	СМ2—С1	
		комбинированное		32—16		
		окончательное	24А, 25А, 92А	12—10	С1—С2	

		Доводка: 1-я операция	63С	5—4	СТ1—СТ2	
		2-я операция		М20		
Пилы круглые для металла	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Плоское шлифование	13А, 14А	80—50	СМ1—С1	Б
		Заточка	14А, 15А			
			25А, 24А	СМ1—СМ2		
Пластини якорные	Сталь трансформаторная	Круглое наружное шлифование	14А, 15А			63—40
		Внутреннее шлифование	24А, 25А			
Плашки	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Плоское шлифование: периферией круга	14А, 15А	40—25	СМ1—СМ2	
		торцом круга		50—40		
		Внутреннее шлифование	24А	20—12	СТ1—СТ2	К
		Заточка	24А, 25А			
			ЛО	Л12—Л8	С1, 100 %	

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Плиты угловые и концевые	Сталь инструментальная высококачественная углеродистая закаленная	Предварительное плоское шлифование: периферией круга	24А, 25А, 92А	63—40	СМ1—СМ2	К
		торцом круга	14А, 15А		СМ2—С1	
		Окончательное плоское шлифование	24А, 25А	М1	Свободные микропорошки	Б
		Доводка		М0,5		
Подшипники роликовые — наруж-		Круглое наружное шлифование: предварительное	14А, 15А	40—25	СМ2—С1	К
			15А, 24А	25—16		
		окончательное	43А	16	М3—С1	

ные кольца	Сталь подшипниковая закаленная	Бесцентровое шлифование	14А, 15А	40—25	СМ1—С1	Б
					С2—С1	
		Внутреннее шлифование	24А	25—16	СМ2—С1	К
43А, 44А	25—12		М3—С1			
ЛО, ЛП	Л6—Л5		С2—Т1, 100 %			
Подшипники роликовые—внутренние кольца						
Полотна ножовочные	Сталь инструментальная углеродистая закаленная	Заточка: крупный шаг	14А, 15А	40—25	С2—СТ1	Б
		мелкий шаг	23А, 24А	25—16	СМ2—С1	К
Поршни двигателей автомобилей и тракторов	Чугун серый	Бесцентровое шлифование	53С	50—40		
				Бесцентровое шлифование: предварительное	40—25	
		окончательное	24А		12—10	
Призмы инструментальные	Сталь инструментальная углеродистая закаленная	Плоское шлифование	24А, 25А	40—25	СМ1—СМ2	
			Чугун серый	53С	50—40	СМ2—С1

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Пробойники и пуансоны	Сталь инструментальная углеродистая и быстрорежущая закаленная	Круглое наружное шлифование	24А, 25А	40—25	СМ1—СМ2	К
		Внутреннее шлифование			СМ2—С1	
Протяжки круглые	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Круглое наружное шлифование	24А, 25А, 92А	25—16	СМ1—СМ2	
			ЛО	Л16—Л5	СМ2, 100 %	
		Шлифование шлицев	43А, 44А	25—16	М3—СМ2	
			ЛО	Л12—Л8	СМ2—С2, 100 %	
		Обработка передней поверхности зубьев:	24А, 25А, 92А	25—16	СМ2—С1	
			43А, 44А		С1—С2	

		заточка		ЛО	Л8—Л5	100 %	Б	
					Л12—Л6	СМ1—С1, 100 %	К	
		доводка		63С	6—5	СМ2—С1	Б	
Протяжки плоские	Сталь инструментальная быстрорежущая закален- ная	Плоское шлифование	24А, 25А, 92А	40—25			К	
			43А, 44А	40—16		М3—СМ2		
			ЛО	Л16—Л5		СМ2—С2, 100 %		
		Заточка передней и шлифо- вание задней поверхностей зубьев	24А, 25А, 92А	25—16		СМ2—С1		К
			ЛО	Л12—Л8		100 %		
			Доводка передней поверхно- сти	63С	6—5		С1—С2	
ЛО	Л6—Л5			100 %				
Пружины спираль- ные	Сталь пружинная	Плоское обдирочное шлифо- вание	13А, 14А	125—80	СТ2—СТ3			

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Пружины спиральные	Сталь пружинная	Бесцентровое шлифование проволоки диаметром: малым	24А, 25А	25—16	С1—С2	К
		средним		50—40	СТ1—СТ2	
		большим		80—50	СТ2—СТ3	
Пятки измерительных приборов	Сталь инструментальная углеродистая и легированная закаленная	Плоское шлифование	43А	16—12	СМ1—СМ2	
			25—16	СМ2—С1		
		Круглое наружное шлифование: предварительное	24А, 25А, 92А	40—25	С1—С2	
				25—16	СМ2—С1	
			43А, 44А	25—20	С1—С2	

Развертки	Сталь инструментальная быстрорежущая и легированная закаленная	Плоское шлифование задних граней	24А, 25А, 92А	40—25	СМ1—СМ2	Б
		Обработка передних граней: заточка	13А, 24А	25—16		
			43А	40—25	М3—СМ1	
			ЛО	Л12—Л8	100 %	
		доводка	63С	6—5	С1—С2	
	ЛО		Л6—Л5	100 %		
Твердые сплавы	Обработка передних граней: заточка	63С	25—16	М3—СМ1	К	
	доводка	АСР	80/63	100 %	Б	
Резцы	Сталь конструкционная незакаленная	Заточка державки	14А, 15А	50—40	С1—С2	К
		Сталь инструментальная углеродистая и быстрорежущая закаленная	Заточка рабочей части: предварительная	24А, 25А, 92А	40—25	
	16			СМ1—СМ2		
	окончательная		ЛО	Л12—Л8	100 %	
Доводка рабочей части	63С	6—5	СМ2—С1	Б		

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	** вид связи
Резцы	Твердый сплав	Заточка рабочей части: предварительная	63С	40—25	СМ1—СМ2	К
					С1—С2	Б
		окончательная	63С, 64С	25—16	М3—СМ1	К
					СМ1—СМ2	Б
		Доводка рабочей части	АСР	125/100	10С %	М
100/80						
Рельсы	Сталь	Обдирочное шлифование	13А, 14А	125—80	СТ3—Т2	Б
Рессоры полосовые	Сталь рессорно-пружинная холоднокатаная закаленная	Обдирочное шлифование: плоскостей ушек			СТ2—СТ3	
					80—50	

Ролики бочкообразные	Сталь подшипниковая не-закаленная	Бесцентровое предварительное шлифование	14А, 15А	16—12	СТ1	К			
		Бесцентровое окончательное шлифование		10—8	СТ—Т	В			
Ролики подшипниковые конические		Бесцентровое предварительное шлифование	24А, 25А, 92А	40—25	СТ1—СТ2	К			
				24А, 25А	25—16				
Ролики подшипниковые цилиндрические	Сталь подшипниковая закаленная	Бесцентровое окончательное шлифование	14А, 15А	12—10	СТ—Т	В			
		Бесцентровое шлифование: предварительное	24А, 25А, 92А	40—25	С1—С2	К			
окончательное	24А, 25А						25—16	С—СТ	В
	14А, 15А						12—10		
Сверла	Сталь инструментальная быстрорежущая закаленная	Бесцентровое шлифование	24А, 25А, 92А	40—25	СМ2—С2	К			
				25—16	СМ1—СМ2				
		Заточка	43А	20—25	М3—СМ1				
	63С		25—16						
	Твердый сплав	Доводка	АСР	160/125	100 %	М, В			

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов				
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **	
Стволы отбойных молотков	Сталь незакаленная	Внутреннее шлифование	24А, 25А	40—25	С1—С2	К	
Толкатели клапанов	Сталь закаленная	Плоское шлифование: предварительное	13А, 14А	80—50	СМ2—С1	Б	
		окончательное	14А, 15А				
		Шлифование стержня: круглое наружное	24А, 25А, 92А	40—25	СМ1—СМ2	К	
		бесцентровое	14А, 15А				
	Чугун ковкий	Плоское шлифование: предварительное	окончательное	14А	80—50	С2—СТ1	Б
					25—16		

Трубы	Сталь конструкционная	Бесцентровое шлифование	14А, 15А	40—25	С1—С2	К	
		Отрезка		50—40	СТ2—СТ3		
	Сталь, футерованная стеклом		63С	12—10	Т1—Т2	Б	
				Шлифование торпов	16—12		СМ2—С1
	Сталь коррозионно-стойкая	Отрезка	14А, 15А	25—16	СТ—Т	В	
	Алюминий, латунь			63С			80—50
	Медь	Круглое наружное шлифование	50—40		СМ1—СМ2	К	
					СТ1—СТ2		
	Угольники измерительные	Сталь закаленная	Плоское шлифование: торцом круга	13А, 14А	80—50	СМ2—С2	Б
			периферией круга				
Фланцы автотракторные	Сталь незакаленная	Плоское шлифование	14А	63—40	СМ2—С1	К	
	Сталь закаленная	Круглое наружное шлифование	14А, 15А	63—25			
	Чугун	Плоское шлифование	53С, 54С	80—50	СТ1—СТ2	Б	

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связки **
Фрезы угловые	Сталь быстрорежущая закаленная	Заточка: передней грани	24А, 25А, 92А	40—25	СМ1—СМ2	К
				25—16	СМ2—С1	
			43А	20—25		
		Доводка	63С	6—5	С2—СТ1	Б
			ЛО	Л5—Л6	100 %	
Фрезы дисковые двух- и трехсторонние	Сталь быстрорежущая закаленная	Заточка	24А, 25А, 92А	25—16	СМ2—С1	К
			43А	40—25		
		Доводка	63С	6—5	С2—СТ1	Б
			ЛО	Л5—Л6	100 %	

Фрезы дисковые модульные		Заточка	24А, 25А	25—16	СМ2—С1	К	
			ЛО	Л8—Л12	100 %		
		Доводка	63С	6—5	С2—СТ1	Б	
			ЛО	Л5—Л6	100 %		
Фрезы торцовые со вставными ножка- ми	Твердый сплав	Заточка	63С, 64С	25—16	М3—СМ1	К	
		Доводка	АСР	125/100— 100/80	100 %	Б	
	Сталь инструментальная быстрорежущая закален- ная	Плоское шлифование: торцом круга	24А, 25А, 92А	50—40	М3—СМ1	К	
					периферией круга		40—25
		Внутреннее шлифование		ЛО			Л8—Л12
		Заточка			63С		
		Доводка		ЛО			Л5—Л6

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Фрезы червячные		Плоское шлифование	14А, 15А	40—25	СМ1—СМ2	К
		Внутреннее шлифование	24А, 25А, 92А			
		Шлифование профиля зуба		25—16	СМ2—С1	
					СМ1—СМ2	
		Заточка	43А	40—25	М3—СМ1	
	ЛО	Л8—Л12	100 %	Б		
Фрезы шлицевые	Сталь быстрорежущая закаленная	Шлифование профиля	24А, 25А, 92А	16—12	СМ2—С1	К
			43А	25—16	М3—С1	
			24А, 25А, 92А	40—25	С1—С2	

		Заточка	43A		МЗ—СМ1	
			ЛО	Л8—Л5	100 %	Б
				Л12—Л6	СМ1—С1, 100 %	
Цаиги	Сталь инструментальная закаленная	Внутреннее шлифование	24А, 25А, 92А	40—25	СМ2—С1	К
			43А	25—16	С1—С2	
		Отрезка	14А, 15А	40—25	СТ—Т	В
Центры токарных станков	Сталь быстрорежущая закаленная	Круглое наружное шлифование	24А, 25А, 92А	25—16	СМ2—С1	К
			43А	40—25	С2—СТ1	
	Твердый сплав			16—12	МЗ—СМ1	
Цилиндры мотоциклетных моторов	Алюминевый сплав	Хонингование	63С	М14	СМ2—С	Б (с графитом)
			24А, 25А	5—4	СТ—Т	В

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости. концентрация абразивных материалов *	** вид связки
Шаблоны профильные	Сталь инструментальная углеродистая и быстрорежущая закаленная	Фасонное шлифование: предварительное	14А, 15А	40—25	С1—С2	К
		окончательное	24А, 92А	16—12	СМ2—С1	
			43А		С1—С2	
	Сталь инструментальная	Плоское шлифование: предварительное	24А, 92А	40—25	СМ2—С1	
		окончательное	24А, 25А, 92А	25—16	СМ1—СМ2	
			43А	40—25		
Сталь конструкционная	Плоское шлифование торцом круга: предварительное	14А, 15А	50—40	СМ2—С1	Б	
	окончательное	24А, 25А, 92А	40—25	СМ1—СМ2		

Шайбы упорные	Сталь закаленная	Плоское шлифование периферий круга: предварительное	25А, 92А	50—40	М3—СМ1	К
		окончательное	24А, 25А, 92А	25—16	М2—М3	
			43А	40—25	СМ2—С1	
Шарики подшипниковые	Сталь хромистая незакаленная	Плоское шлифование предварительное	14А, 15А		40—25	ВТ1—ЧТ1
		окончательное	23А/53С	5—4		ВТ2—ЧТ2
Шатуны	Сталь	Плоское шлифование	13А, 14А	80—50	СМ2—С1	Б
		Внутреннее шлифование: предварительное	24А, 92А	40—25		К
			окончательное	24А, 25А, 92А	25—16	СМ1—СМ2
Швы сварочные	Сталь конструкционная	Зачистка мест сварки	13А, 14А	125—80	СТ1—СТ2	Б
Шкивы	Чугун серый	Круглое обдирочное шлифование	53С	80—50	СТ2—СТ3	Б
		Круглое наружное шлифование		40—25	М3—СМ1	К
		Внутреннее шлифование		50—40	СМ1—СМ2	

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика абразивных инструментов			
			материал	зернистость	степень твердости, концентрация абразивных материалов *	вид связи **
Шпиндели станков	Сталь конструкционная легированная закаленная	Круглое наружное шлифование: предварительное	24А, 92А	25—16	С1—С2	К
			24А, 25А, 92А	16—12	СМ1—СМ2	
		окончательное	43А	25—16	С1—С2	
Штампы	Сталь инструментальная легированная закаленная	Плоское шлифование: периферией круга	24А, 25А, 92А	50—40	СМ1—СМ2	Б
		торцом круга	14А, 15А	80—50	С1—С2	
	Твердые сплавы	Плоское шлифование	63С	40—25	М3—СМ1	К
		Доводка	АСР	160/125— 125/100	100 %	М

* Для инструмента из эльбора и алмаза. ** К—керамическая, Б—бакелитовая, В—вулканитовая и М—металлическая связи.

Таблица 11

Рекомендации по выбору шлифовальных кругов для обработки неметаллических материалов

Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика шлифовальных кругов			
		материал	зернистость	степень твердости	вид связи
Агат	Плоское шлифование: предварительное	53С	32—16	СМ1—СМ2	К
	окончательное	63С	8—5		
Асбест	Отрезка	53С, 54С	20—12	С1—С2	Б
			125—80	С2—СТ1	
Плоское шлифование	80—50			СМ2—С1	
	Отрезка		125—80	С2—СТ1	
Бетон		80—50	СТ1—СТ2		
			Гипс	С1—С2	

Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика шлифовальных кругов			
		материал	зернистость	степень твердости	вид связки
Гранит	Плоское шлифование: торцом круга	53С, 54С	125—80	М3—СМ1	К
	периферией круга		50—40	СМ1—СМ2	
	Плоское фасонное шлифование			С1—С2	
	Отрезка		80—50	СТ2—СТ3	Б
Дерево (твердые породы)	Бесцентровое шлифование			СМ1—СМ2	К
Камни жерновые	Нарезание канавок: широких		40—25	С1—С2	
	узких			СТ2—СТ3	Б
Известняк	Плоское шлифование		63—40	СМ2—С1	К
	Отрезка	80—50	СТ1—СТ2	Б	
	Плоское шлифование	50—25	СМ2—С1		

Изоляторы	Круглое наружное шлифование	54С	40—25	СМ1—СМ2	К	
	Отрезка	53С, 54С	50—40	СМ1—СТ2	Б	
Камень	Плоское шлифование: торцом круга		125—80	СМ1—СМ2		
	периферией круга		50—40	СМ2—С1	К	
	Отрезка		125—80	СТ1—СТ2	Б	
Кварц плавленный	Круглое наружное шлифование		АСВ	50—40	СМ2—С1	К
	Плоское шлифование					СТ1—СТ2
	Отрезка				125—80	
Керамика	Плоское шлифование		АСВ	100/60	100 %	Б, М
	Круглое наружное шлифование					
	Внутреннее шлифование					
	Отрезка	53С, 54С	125—80	СМ1—СТ2	Б	
Кирпич подсушенный	СТ2—СТ3					
Кирпич обожженный	Плоское шлифование		80—50	СМ2—С1		
	Отрезка	125—80	СТ1—СТ2			

Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика шлифовальных кругов			
		материал	зернистость	степень твердости	вид связи
Минералокерамика	Заточка	63С	16—12	М3—СМ1	К
			8—6	СМ1—СМ2	
Минералы драгоценные	Плоское шлифование: предварительное		25—16	СМ2—С1	
	окончательное		6—5	СМ1—СМ2	
	Отрезка	АСР	160/125—125/100	100 %	М
Мрамор	Плоское шлифование: предварительное	53С, 54С	125—80	СМ1—СМ2	Б
	окончательное: 1-я операция		40—25	СМ2—С1	
			2-я операция	12—10	
	3-я операция	13А, 14А	6—5		
			АСВ	200/160	50 %

	Круглое наружное шлифование	53С, 54С	50—40	СМ2—С1	К
	Отрезка		80—50	СТ2—СТ3	Б
Огнеупоры	Плоское шлифование			СМ2—С1	
	Отрезка			СТ1—СТ2	
Пластмасса	Круглое наружное шлифование		63—40	СМ2—С1	
	Плоское шлифование		80—50		
	Отрезка		125—80	СТ1—СТ2	
Резина	Круглое наружное шлифование: предварительное		80—50	СМ1—СМ2	В
	окончательное		25—16		
Стекло автомобильное	Скашивание краев: предварительное		24А	16—12	С2—СТ1
	окончательное	8—6		С1—С2	
	Отрезка	63С	12—10	СМ1—СМ2	Б
Стекло витринное	24А	10—8	СМ2—С1		
Стекло зеркальное		АСВ	100/80	100 %	М

Обрабатываемый материал	Операция	Характеристика шлифовальных кругов			
		материал	зернистость	степень твердости	вид связи
Стекло оптическое	Скашивание краев	24А, 25А	10—6	С1—С2	Б
	Шлифование граней		5—4	СТ1—СТ2	К
		АСВ	100/60	100 %	Б, М
		Отрезка	63С	10—8	СМ1—СМ2
АСВ, АСМ	125/100—100/80		50 %	М	
Стекло техническое	Плоское шлифование: предварительное	53С, 54С	63—40	СТ1—СТ2	Б
	окончательное		32—16		
	Круглое наружное шлифование		50—40	СМ1—СМ2	К
	Внутреннее шлифование		25—16		
Стекло (стаканы)	Шлифование граней	24А, 25А	8—6	СТ1—СТ2	
		63С	10—8	СТ2—СТ3	
		АСВ	100/60	100 %	М

Стекло (трубки)	Круглое наружное шлифование	53С, 54С	40—25	СМ2—С1	К
	Внутреннее шлифование		16—12	К3—СМ1	
	Отрезка		25—16	СМ1—С1	Б
Фарфор	Плоское шлифование: предварительное	63С	80—50	СМ1—СМ2	К
	окончательное				Б
	Бесцентровое шлифование		40—25		К
	Круглое наружное шлифование				
	Отрезка	53С, 54С	50—40	СТ1—СТ2	Б
Фибра	Плоское шлифование		125—80	СМ1—С1	
	Круглое наружное шлифование		50—40	СМ1—СМ2	К
Черепица	Отрезка		80—50	СТ1—СТ2	Б
Шифер	Плоское шлифование		50—40	СМ1—СМ2	
	Отрезка	80—50	СТ2—СТ3		
Эбонит	Круглое наружное шлифование	40—25	СМ2—С1		
	Отрезка	50—40	СТ1—СТ2		
Электроды	Плоское шлифование		СМ1—СМ2		
	Отрезка	80—50	СТ1—СТ2		

Рекомендации по выбору

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция
Бамперы автомобилей	Сталь конструкционная	Наружное шлифование
Детали мебельные	Дерево	Плоское и круглое шлифование
Изделия из кожи	Кожа	Плоское шлифование
Кольца подшипников	Сталь конструкционная легированная	Предварительное и окончательное полирование
Кузова автомобилей	Эпоксидные и алкидные грунтовки и эмали	
	Сталь конструкционная	Зачистка заусенцев
Лекала, мерительные инструменты	Сталь коррозионно-стойкая, стекло	Доводка
Лопатки турбинные	Сплавы жаропрочные титановые	Фасонное шлифование и полирование пера лопаток
Ручки ножей	Сталь углеродистая и коррозионно-стойкая	Фасонное шлифование
Рычаги клапанов автомобилей	Сталь легированная	Полирование паза рычага

шлифовальной шкурки

Характеристика шлифовальной шкурки			
материал	зернистость	основа	вид связки
15А, 14А	16—10	Саржа утяжеленная	Формальдегидные смолы ЛАРС
15А, 13А	10—5	Саржа средняя	
15А, 63С, кремь, гранат	40—12	Саржа средняя утяжеленная, бумага О-200, О-140, О-240	Мездровый клей, фенолформальдегидные смолы
15А, 25А	8—4	Бумага О-200, О-140, О-240	Мездровый клей
24А	М40	Шифон	Лак марки ЯК-1
ЛО, АСО	8—М7	Шифон, капрон, лавсан	
63С	М28—М20, 4—6	Меламиновая бумага, латексная бумага	Лаки марок ЯК-1, ПФ-587
15А, 25А, 24А	80—50	Фибра	Бакелит, силикат натрия
63С	М10—М3	Меламиновая бумага	Лак марки ЯК-1
15А, 24А, 43А	40—25	Саржа утяжеленная	Мездровый клей
64С			Фенолформальдегидные смолы
25А, 24А		Саржа	Мездровый клей, фенолформальдегидные смолы
14А, 15А	12	Саржа средняя	Мездровый клей
	16	Саржа утяжеленная	
	24А, 25А		

Изделие	Обрабатываемый материал	Операция
Фланцы и соединительные пластины нажимного диска на шасси автомобилей	Сталь конструкционная	Зачистка заусенцев, шлифование плоское
Шатунные шейки коленчатого вала автомобилей	Чугун	Фасонное шлифование
Экраны кинескопов	Стекло	

внедрения скоростного, силового, врезного, глубинного шлифования и появление новых труднообрабатываемых, жаропрочных, быстрорежущих и других материалов обуславливают рост требований как к традиционному абразивному инструменту, так и к новому специальному инструменту.

Экспериментальное изучение эксплуатационных показателей абразивных инструментов различных видов и характеристик, а также обобщение опыта их практического применения позволяют достаточно точно производить выбор абразивного инструмента для той или другой операции абразивной обработки.

Выбор абразивного инструмента для конкретной операции абразивной обработки зависит от ряда факторов: характера операции шлифования; типа станка с учетом степени его автоматизации; характеристики обрабатываемого материала; заданных требований к обрабатываемой детали (шероховатости поверхности, точности формы, размеров и т. п.) требуемой производительности шлифования, снимаемого припуска (обдирка, чистовое шлифование, полирование и т. п.); применяемой СОЖ и др.

Так, инструмент из нормального электрокорунда применяют для обработки сравнительно мягких сталей ($\leq 51 \text{ HRC}_3$); из белого электрокорунда для обработки сталей средней твердости (52—60 HRC₃); из монокорунда — для обработки легированных труднообрабатываемых сталей твердых ($> 61 \text{ HRC}_3$); из эльбора — для

Продолжение табл. 12

Характеристика шлифовальной шкурки			
материал	зернистость	основа	вид связки
15А	40	Саржа средняя	Фенолформальдегидные смолы ЛАРС
13А	5		Мездровый клей
54С	М40	Ткань — подудвунитка	Фенолформальдегидные смолы

чистовых операций обработки труднообрабатываемых сталей; из легированных электрокорундов — для обработки закаленных твердых сталей; из карбида кремния — для обработки чугуна, твердых сплавов, неметаллов.

Крупнозернистый инструмент зернистости 50 и крупнее из нормального электрокорунда и черного карбида кремния применяют для обдирочных работ, инструмент средней зернистости (40—16) из белого и легированного электрокорунда — для производственного (получистового, чистового) шлифования, мелкозернистый — для тонкого шлифования, полирования, доводки, суперфиниширования.

Соответственно выбирают абразивный инструмент и по используемой связке: для тяжелых обдирочных работ — инструмент на бакелитовой связке, для точного шлифования — на керамической связке, для тонкого шлифования и полирования — на вулканитовой связке, инструмент на гибкой основе и пасты.

В качестве примеров приводятся обобщенные рекомендации по применению различных видов абразивного инструмента для операций абразивной обработки (табл. 10—13).

Список литературы

1. **Абразивные материалы и инструменты.** Каталог-справочник/ Под ред. В. А. Рыбакова. М.: НИИмаш, 1976. 385 с.
2. **Инструмент из сверхтвердых материалов на керамической связке.** Киев: Наукова думка, 1980. 144 с.
3. **Любомудров В. Н., Васильев Н. Н., Фальковский Б. И.** Абразивные инструменты и их изготовление. М.; Л.: Машгиз, 1953 376 с.
4. **Оборудование и оснастка предприятий абразивной и алмазной промышленности: Учеб. пособие/**Под ред. В. А. Рыбакова Л.: Машиностроение, 1984. 271 с.
5. **Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента/**Под ред. В. Н. Бакуля М.: Машиностроение, 1975. 296 с.
6. **Попов С. А., Ананьян Р. В.** Шлифование высокопористыми кругами. М.: Машиностроение, 1980. 79 с.
7. **Производство абразивных материалов/**А. С. Полубелова, В. Н. Крылов, В. В. Карлин и др. Л.: Машиностроение, 1968. 180 с.
8. **Эльбор в машиностроении/**Под ред. В. С. Лысанова. Л.: Машиностроение, 1978. 280 с.
9. **Эфрос М. Г., Миронюк В. С., Бряицев Б. А.** Керамическая связка для инструмента из эльбора//Химия и технология силикатных материалов. Л.: Наука, 1971. С. 17 — 23.

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1. Абразивные материалы	5
1. Общая характеристика	5
2. Электрокорунды	7
3. Карбиды	13
4. Синтетические сверхтвердые материалы	14
5. Шлифовальные материалы	15
Глава 2. Абразивные инструменты	18
6. Основные технические параметры абразивных инструментов	18
7. Абразивный инструмент на керамической связке	31
8. Абразивный инструмент на бакелитовой связке	47
9. Абразивный инструмент на вулканитовой связке	51
10. Шлифовальная шкурка	55
11. Абразивные пасты	62
12. Полировальные круги	65
Глава 3. Абразивные инструменты из сверхтвердых материалов	68
13. Общая характеристика	68
14. Алмазный абразивный инструмент	73
15. Абразивный инструмент из кубического нитрида бора	76
Глава 4. Новые виды специального абразивного инструмента	83
16. Высокопористый абразивный инструмент	83
17. Скоростные шлифовальные круги	84
18. Специальный абразивный инструмент	87
Глава 5. Выбор инструмента для различных операций абразивной обработки	89
Список литературы	156

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

*Эфрос Михаил Григорьевич
Миронюк Валентина Сергеевна*

Современные абразивные инструменты
(Б-чка шлифовщика, выпуск 1)

Редактор *М. И. Козицкая*
Художественный редактор *Н. В. Зимаков*
Технические редакторы *А. И. Козаков, П. В. Шиканова*
Корректор *А. А. Румянцева*
Обложка художника *В. Э. Нефедовича*

ИБ № 4067

Сдано в набор 21.05.87. Подписано в печать 30.09.87. М-18504. Формат 84×108/32.
Бумага ки.-журн. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 8,4.
Усл. кр.-отт. 8,82. Уч.-изд. л. 8,36. Тираж 15 000 экз. Заказ 585. Цена 40 коп

Ленинградское отделение ордена Трудового Красного Знамени издательства
«Машностроение» 191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10.

Ленинградская типография № 2 головное предприятие ордена Трудового Красного Знамени объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29